В книге представлена система NX CAM, предназначенная для создания управляющих программ для станков с ЧПУ. NX CAM позволяет осуществить разработку управляющих программ на детали любой сложности, в том числе призматических деталей, сложной профильной оснастки, а также деталей типа турбинных лопаток и моноколес.
В книге рассмотрены токарная и токарно-фрезерная обработка, а также затронуты темы, связанные с операциями измерения на станке.
Подробно представлено использование встроенного модуля симуляции станка для проверки управляющих программ вне станка, что позволяет исключить стадию отладки программ на станке и в целом повышает производительность оборудования.
В книге сделан акцент на совместном использовании NX CAM с системой управления инженерными данными Teamcenter. Такая интеграция открывает перед предприятиями широкие перспективы построения единого информационного пространства предприятия.
Все модели, рассмотренные в книге, можно найти на корпоративном сайте Siemens PLM Software по следующей ссылке www.siemens.com/plm/ru/cam_models

ISBN 978-5-97060-143-3

Программирование обработки в NX CAM

SIEMENS

SIEMENS

Ведмидь П.А., Сулинов А.В.

Программирование обработки в NX CAM

Ведмидь П.А., Сулинов А.В.

Программирование обработки в NX CAM

ДМК Пресс
издательство

Москва, 2014

УДК 621.9-114:004.9NX CAM
ББК 34.63-5с515
В26

Ведмидь П.А., Сулинов А.В.

В26 Программирование обработки в NX CAM. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 304 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-143-3

В книге рассмотрена система NX CAM, предназначенная для создания управляющих программ для станков с ЧПУ. NX CAM реализует широкий набор функций, в том числе обработку призматических деталей, сложной профильной оснастки, а также деталей типа турбинных лопаток и моноколес. Отдельные главы книги посвящены токарной, токарно-фрезерной обработке и операциям измерения на станке.

Подробно рассмотрено использование встроенного модуля симуляции станка для проверки управляющих программ вне станка, что позволяет исключить стадию отладки программ на станке и в целом повышает производительность оборудования.

В книге затронута тема совместного использования NX CAM с системой управления инженерными данными Teamcenter, что открывает перед предприятиями широкие перспективы построения единого информационного пространства предприятия.

Все модели, рассмотренные в книге, можно найти на корпоративном сайте Siemens PLM Software по следующей ссылке www.siemens.com/plm/ru/cam_models.

Главы 1–21 написаны Ведмидем П. А., главы 22–23 – Сулиновым А. В.

УДК 621.9-114:004.9NX CAM
ББК 34.63-5с515

Все права защищены © 2014 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved. Siemens и логотип Siemens являются товарными знаками Siemens AG. D-Cubed, Femap, Geolus, GO PLM, I-deas, Insight, JT, NX, Parasolid, Solid Edge, Teamcenter, Tecnomatix и Velocity Series являются товарными знаками Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. или ее филиалов в США и других странах. Все прочие упомянутые логотипы и товарные знаки являются собственностью их владельцев.

Издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

© Общество с ограниченной ответственностью «Сименс Индастри Софтвер», 2014
© Оформление, Общество с ограниченной ответственностью «Сименс Индастри Софтвер», 2014
© Издание, ДМК Пресс, 2014

ISBN 978-5-97060-143-3

Введение

Современное производство в значительной степени опирается на использование станков с ЧПУ. Сами станки усложняются, становятся более интеллектуальными. Вместе с тем их эффективная эксплуатация требует эффективного управления. Усиление конкуренции и потребность рынка в сложных изделиях заставляют предприятия задумываться о комплексной автоматизации подготовки производства и самого производства. В такой постановке стадия разработки управляющих программ уже не воспринимается как автономная задача, а должна быть связана с другими этапами конструкторско-технологической подготовки производства.

Сокращение серийности, а также увеличение вариантности выпуска продукции, ведет к необходимости гибкого изменения управляющих программ в соответствии с изменениями. Разработка новой управляющей программы с «нуля» – самый неэффективный путь. Необходимо максимально использовать предыдущие наработки.

От CAM-системы требуется наличие инструментов проверки программ на зарезы и столкновения. Это позволяет существенно сократить процесс внедрения УП на станке, так как станок должен в максимальной степени использоваться для выпуска продукции. Время его наладки, а тем более время простоя в результате поломки, дорого обходится предприятию. Необходима проверка управляющих программ вне станка на основе G-/M-кодов с учетом всей технологической системы (Станок–Приспособление–Инструмент–Деталь).

Появление современных токарно-фрезерных многофункциональных станков существенно меняет саму технологию производства, увеличивается концентрация операций, значительно уменьшается количество установов. Программирование таких станков должно в максимальной степени учитывать текущее состояние заготовки, в том числе при передаче между токарными и фрезерными операциями. Наличие нескольких рабочих органов (например, фрезерный шпиндель и револьверная головка) позволяет выполнять обработку параллельно для получения максимальной производительности. Такая работа еще в большей степени требует проверки УП в контексте всего станка, включая технологическую оснастку.

Одним из наиболее популярных решений в области CAM (Computer Aided manufacturing) является система NX от компании Siemens PLM Software – комплексное CAD/CAM/CAE-решение для конструкторско-технологической подготовки производства. Система успешно применяется на предприятиях авиакосмической отрасли и автомобилестроения, в судостроении и энергетике, в производстве медицинского оборудования, в сфере станкостроения и машиностроения и др.

В книге «Программирование обработки в NX CAM» речь пойдет о модуле CAM – системе для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Внедрение системы позволяет предприятию повысить производительность и эффективность оборудования, сократить его простои, устранить ошибки в УП, повысить качество обработки. В книге особое внимание уделено способам достижения конкретных результатов с использованием этой флагманской системы. Она сопровождается большим количеством примеров. Все модели, рассмотренные в книге, можно найти на корпоративном сайте Siemens PLM Software по следующей ссылке www.siemens.com/plm/ru/cam_models. Лицензии NX можно приобрести в офисах компании Siemens PLM Software.

Желаем Вам интересных открытий и успешной работы!

Глава 1

Первые шаги

Содержание главы

- Запуск NX CAM и главное окно
- Этапы разработки управляющих программ
- Наследование параметров в навигаторе операций
- Создание нового проекта
  - Принцип мастер-модели
  - Инициализация
  - Подготовка модели к обработке
  - Анализ геометрии
  - Создание/Редактирование родительских групп
  - Создание операции
  - Проверка программ
  - Постпроцессирование
- Контекстное меню

Первые шаги

Программирование обработки на станках с ЧПУ начнем с 3-осевого фрезерования. Другие виды обработки рассмотрим, опираясь на полученные здесь знания.

Запуск NX CAM и главное окно

В книге будем рассматривать работу NX™ под управлением ОС Windows. Как и большинство программ, запуск NX осуществляется из меню **Пуск**: **Все программы** – **Siemens NX 9.0** – **NX 9.0**.

- Для знакомства с интерфейсом откроем уже готовый проект.
- Откройте файл game_remote_cam_final.prt.
- Файлы обработки имеют такое же расширение, как и другие файлы NX, – prt.

Интерфейс в NX построен на основе **Ролей**: в зависимости от задачи вы выбираете ту или иную роль, в NX будет загружен интерфейс для выбранной роли. Вы можете создать свою роль и настроить интерфейс для себя. В книге используется **Роль** – **Расширенная**.
Окно NX после открытия модели будет выглядеть как на рис. 1.1. Полагая, что читатель уже знаком с интерфейсом NX по изучению модуля CAD, опишем только те элементы, которые относятся к обработке.

1. В заголовке, помимо названия системы, отображаются название модуля (в данном случае **Обработка**) и имя рабочей детали.
2. Главное меню. Меню значительно переработано в версии NX 9.0.
3. Главное меню – вторая часть (команды справки и поиска).
4. Ленточная панель модуля обработки (ее содержание меняется в зависимости от выполняемой задачи). Она оптимизирована в NX 9.0, также имеется возможность ее настройки.
5. Команда вызова **Навигатора операций** в Панели ресурсов. Так как данная модель сохранена при активном модуле обработки, этот модуль уже является выбранным при открытии модели. Данная команда не видна, пока вы не вошли в модуль обработки.
6. Окно для отображения информации текущего навигатора, в данном случае навигатора операций. Окно является основным средством отображения информации, связанной с операциями обработки (будет подробно рассмотрено позже).

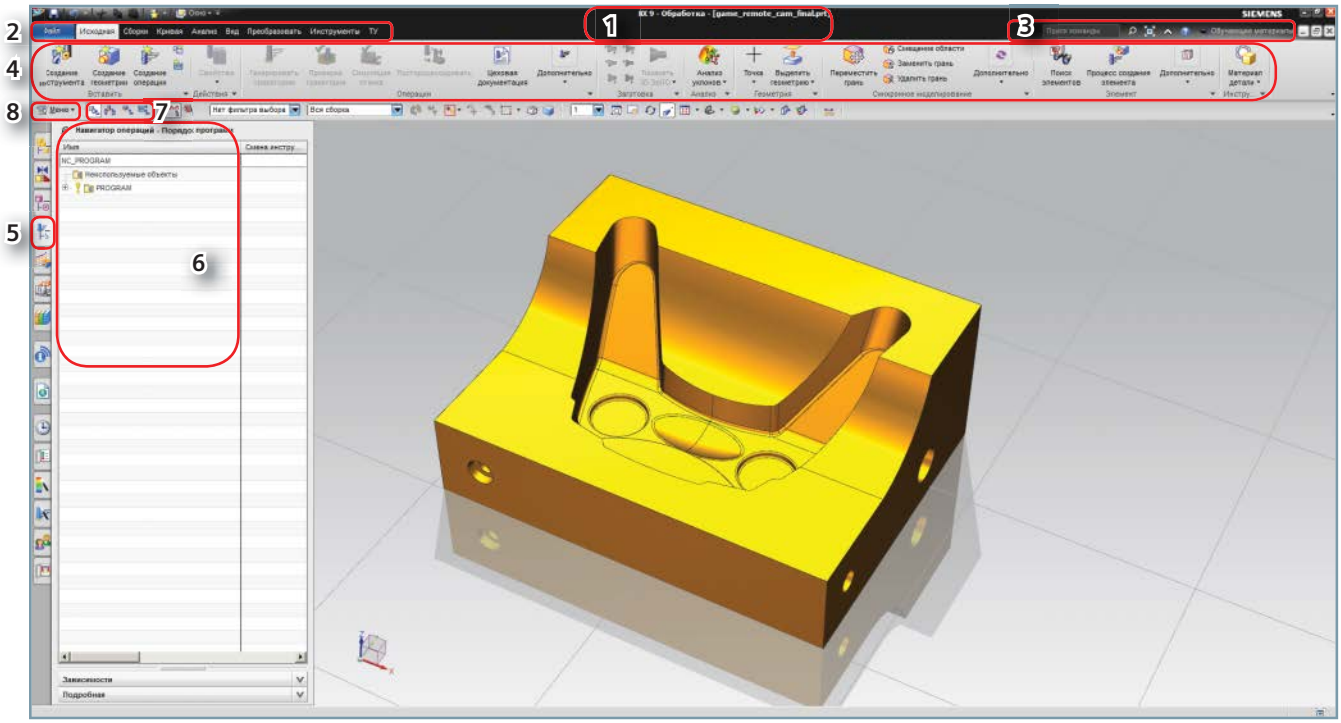


Рис. 1.1. Интерфейс модуля обработки NX

7. Панель переключения видов навигатора операций.
8. Команда доступа в старое меню (версий до NX 9.0). Эта команда сохранена для некоторой преемственности версий и может быть удалена в более поздних версиях.

Панель выбора, строка статуса и подсказки также доступны и активно используются.

Этапы разработки управляющих программ

Разработка управляющих программ в NX CAM производится в несколько этапов. Последовательность работы показана на рис. 1.2. Не все этапы являются обязательными.

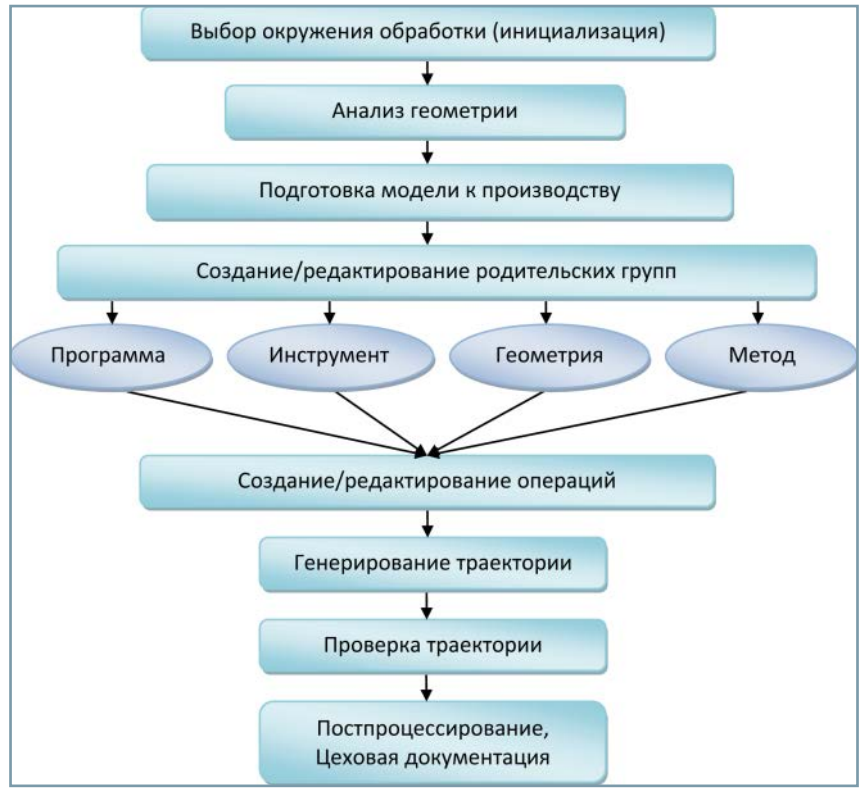


Рис. 1.2. Этапы разработки управляющих программ в NX CAM

Работа начинается с **Выбора окружения обработки (инициализации)**. Для разных видов обработки используются разные шаблоны для инициализации. На этом этапе создаются те объекты, которые необходимы для данного вида обработки.

Следующий этап – **Анализ геометрии**. Этап необходим, если технолог модели не создавал, а получил ее от конструктора или стороннего заказчика. На этом этапе анализируются габаритные размеры детали, размеры элементов (ширина паза, диаметр отверстия и др.), радиус скругления элементов модели, наличие и величина уклонов (для оснастки).

Подготовка модели к обработке иногда необходима, на этом этапе можно убрать элементы, которые будут получены на других операциях (например, электроэрозионной обработкой), добавить уклоны, припуски, модифицировать элементы модели с учетом полей допусков размеров и т. д. Фактически это CAD-операции для задач CAM, они также будут рассмотрены далее. Правильный подход – модифицировать не саму конструкторскую модель, а ее ассоциативную копию.

Важный этап – **Создание или редактирование родительских групп**. Это отличительная особенность NX CAM; объекты, заданные в родительских группах, наследуются связанными с ними операциями. Такой подход позволяет управлять сразу всеми операциями, использующими конкретную родительскую группу, путем модификации объектов этой группы. Родительские группы определяются для 4 категорий: **Программа**, **Инструмент**, **Геометрия**, **Метод**. Подробно это рассмотрено в следующем параграфе.

Далее идет этап **Создания или редактирования операций обработки**. Операции бывают разного типа и используют разные родительские группы. На это обратим внимание при рассмотрении конкретных операций. Операции с конкретными параметрами можно сохранить в проекте, не генерируя их. Это полезно, если процесс генерации операций занимает значительное время.

Генерирование траекторий вынесено в отдельный этап, причем оно может осуществляться сразу для группы операций.

Проверка траекторий необходима для того, чтобы выявить возможные проблемы, например зарезы или столкновения инструмента с оснасткой. В NX CAM имеется несколько инструментов проверки траекторий, в том числе и симуляция работы станка, осуществляемая в кодах управляющей программы.

До этапа постпроцессирования траектории не зависят от конкретного станка. Для того чтобы траектория была отработана станком, она должна быть **Постпроцессирована** (или преобразована в формат конкретного станка). Именно на этом этапе получается управляющая программа (УП), причем одна УП может включать несколько траекторий, созданных различными операциями. Однако постпроцессор неправильно рассматривать как простой конвертор, он может выполнять дополнительные проверки, вычисления, может анализировать некоторые условия и в зависимости от этого модифицировать выводимую информацию.

Вместе с управляющей программой в цех обычно передается **Цеховая документация**. Обычно это карта наладки с указанием нулевой точки программы, порядка операций и различной атрибутивной информации (разработчик, дата, код детали, время обработки и т. д.), она также может включать список инструментов с указанием номеров ячеек магазина, что необходимо для правильной наладки станка.
Для работы с объектами обработки в NX служит специальный навигатор – **Навигатор операций**. Его и рассмотрим в следующем параграфе.

Наследование параметров в навигаторе операций

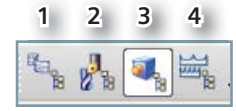


Рис. 1.3. Панель переключения видов Навигатора операций

Навигатор операций играет очень важную роль, поэтому подробное знакомство с модулем обработки начнем с него. Одна из функций навигатора операций – отображать связи между объектами обработки. Важную роль при этом играет понятие родительских и дочерних объектов. Дочерние объекты наследуют информацию родительских объектов. Такой подход позволяет легко модифицировать один из параметров (например, припуск на обработку) сразу для нескольких дочерних объектов (операций), изменив его в родительском объекте. Активное использование родительских объектов позволит в дальнейшем более эффективно использовать модуль NX CAM.
Навигатор имеет 4 вида: вид программ, вид инструментов, вид геометрии и вид методов. Панель переключения видов показана цифрой 7 на рис. 1.1. Подробнее эта панель изображена на рис. 1.3, цифрами обозначены команды переключения видов: 1 – вид программ, 2 – вид инструментов, 3 – вид геометрии, 4 – вид методов обработки.

- Переключите навигатор операций на **Вид геометрии**.

На рис. 1.4 представлен вид геометрии навигатора операций. Нам на данном этапе важно, что в нем отображаются объекты с учетом их родительских связей. Если у вас вид не такой, разверните вложенные объекты.
На рисунке видно, что операция ROUGH_FOLLOW_PART наследует параметры от объекта WORKPIECE (который, в свою очередь, наследует параметры от объекта MCS_MILL). Как будет показано далее, в объекте (или родительской группе) MCS_MILL обычно задаются система координат станка и плоскость безопасности. Родительская группа WORKPIECE чаще всего описывает обрабатываемую геометрию, геометрию заготовки и некоторые другие геометрические объекты. Таким образом, сразу видно, что все операции этого проекта используют одну и ту же обрабатываемую геометрию и систему координат.
Почему же имеются 4 вида навигатора операций? Потому что у операции 4 типа родителей (см. рис. 1.2), и каждый вид навигатора отображает одни и те же операции с зависимостями от этих родителей.

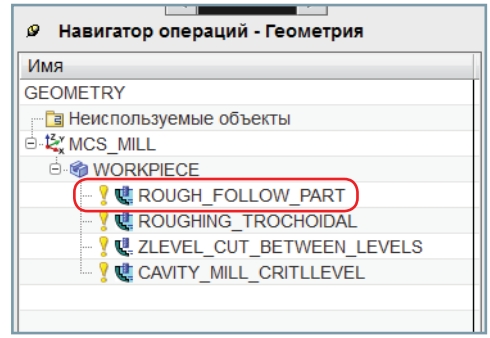


Рис. 1.4. Вид геометрии Навигатора операций

- Переключите навигатор операций на **Вид инструментов**.

Навигатор операций примет вид как на рис. 1.5, объект верхнего уровня – это станок (если станок не задан, то указано GENERIC_MACHINE – абстрактный станок). Этот станок имеет магазин инструментов CARRIER с 20 ячейками для инструментов (POCKET_X).
Ячейки 2–4 содержат инструменты. Инструменты являются родительскими объектами для операций.
На рисунке видно, что операция ROUGH_FOLLOW_PART использует инструмент BULLMILL_52D_6R_60L, который находится в ячейке POCKET_02 магазина инструментов. При выводе управляющей программы номер инструмента в этой операции будет соответствовать номеру ячейки POCKET_02.
Менять инструмент в операции можно простым перетаскиванием операции на другой инструмент. Также можно перетаскивать инструмент (вместе с операциями) в другую ячейку магазина.

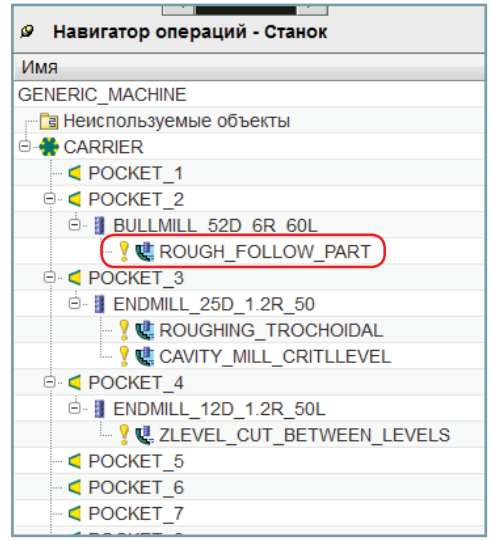


Рис. 1.5. Вид станка Навигатора операций

- Переключите навигатор операций по очереди на **Вид методов обработки** и **Вид программ** (команды 4 и 1 на рис. 1.3).
- Вид навигатора показан на рис. 1.6 и 1.7 соответственно.

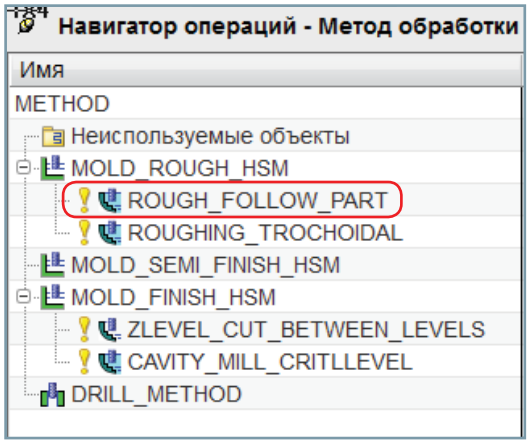


Рис. 1.6. Вид методов обработки Навигатора операций

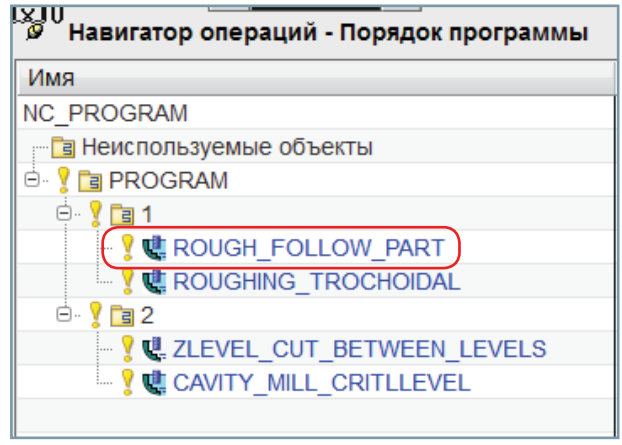


Рис. 1.7. Вид программ Навигатора операций

Вид методов показывает, что наша операция ROUGH_FOLLOW_PART использует метод MOLD_ROUGH_HSM. Метод задает разные параметры, наиболее важные – это допуск и припуск. В данном случае метод MOLD_ROUGH_HSM содержит черновые настройки этих параметров, а MOLD_FINISH_HSM – чистовые.
И наконец, **Вид программ** показывает порядок вывода операций в управляющую программу и группировку операций. Вы можете генерировать операции в любом порядке, а затем их упорядочить, используя вид программ навигатора операций (заметим, что результат некоторых операций зависит от предыдущих операций, поэтому после такого переупорядочивания может потребоваться повторная генерация траекторий). Для иллюстрации группировки в данном случае операции объединены в группы по две. Если вы отправите на постпроцессор группу 1, то в одну УП будут выведены две операции, а если группу PROGRAM – то все четыре операции будут выведены в одну УП.
Траекторию движения инструмента в каждой операции можно увидеть, просто выбрав операции в навигаторе операций (по умолчанию обычно активна опция автоотрисовки).
В следующем параграфе создадим новый CAM-проект с чистого листа, используя описанные выше принципы.

Создание нового проекта

Принцип мастер-модели

Прежде чем рассматривать этап инициализации, поговорим о принципе мастер-модели. Он играет важную роль при работе не только в NX CAM, но и в NX в целом. Заключается он в том, что любая модель детали или сборки, созданная однажды, используется в последующих приложениях в качестве исходных данных. Исходная модель при этом не изменяется, а используется ссылка или ассоциативная копия. Однако изменения этой модели, проводимые конструктором, ассоциативно учитываются в последующих приложениях, в том числе в CAM (рис. 1.8).
Концепция мастер-модели обеспечивает:

1) параллельную коллективную работу, что существенно сокращает цикл разработки и изготовления изделий;
2) разделение ответственности через права доступа;
3) ассоциативное обновление данных при изменении исходной модели;

Для задач CAM это относится не только к обрабатываемой детали, но и к моделям заготовки, оснастки, инструмента, станков для модуля симуляции и др.
Принцип мастер-модели используется на этапе инициализации описанным далее способом.

Инициализация

При первом входе в модуль обработки производится выбор окружения обработки, или инициализация. При инициализации ряд объектов обработки создается автоматически. Так как для разных видов обработки требуются разные объекты, на этой стадии и уточняем вид обработки. В NX имеется несколько способов инициализации. Не будем их перечислять, а опишем только один как рекомендуемый.

- Откройте модель game_remote.prt. Это конструкторская модель, для которой создадим проект ее обработки.

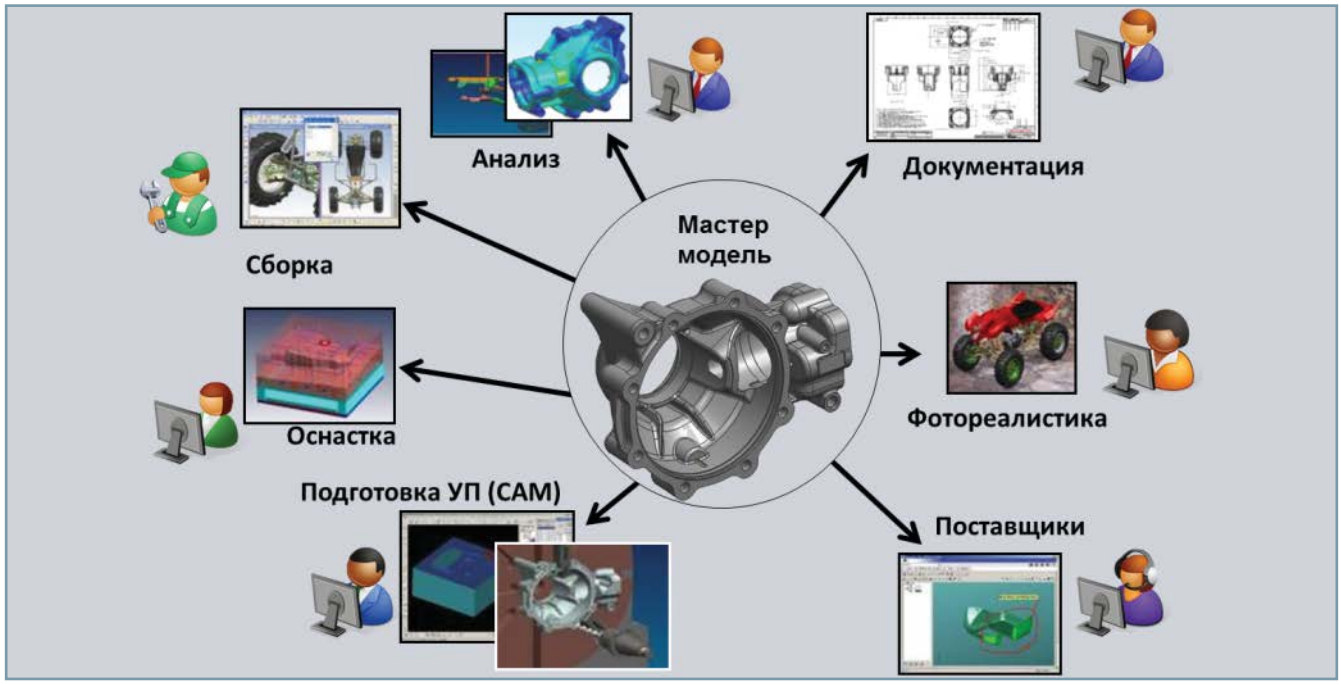


Рис. 1.8. Использование принципа мастер-модели в разных приложениях NX

- Выполните **Файл – Новый**, на экране появляется диалоговое окно (рис. 1.9), с помощью которого можно уточнить тип создаваемого объекта.
- Так как нас интересует обработка, то активируем вкладку **Обработка**.

Окно **Шаблоны** содержит список шаблонов на разные виды обработки. Шаблон – это файл модели, который содержит преднастроенные операции, инструменты, методы, геометрические объекты, программные группы. Он позволяет выполнить начальные установки для типовых видов работ. Шаблоны могут содержать и настройки, учитывающие специфику конкретного производства.
Шаблон **Общие настройки** наиболее универсальный, на этом этапе будем использовать его. Обратите внимание на некоторые поля этого диалогового окна:

Примечание. Если вы сохраняете файл обработки в другом каталоге, то при повторном открытии необходимо будет изменить опции загрузки сборки. По умолчанию система ищет все компоненты в том же каталоге.
1 – единицы измерения (в нашем случае миллиметры);
2 – имя нового файла, который будет содержать все данные, связанные с обработкой. По умолчанию имя сборки сформировано из имени детали добавлением суффикса «_setup_1». Безусловно, имя можно изменить как на этапе создания, так и в дальнейшем. В диалоговом окне же можно указать каталог для нового файла. По умолчанию это тот же каталог, из которого открыта исходная деталь;
3 – имя исходной детали.

Примечание. В зависимости от настроек по умолчанию иногда требуется изменить ссылочный набор компонента. Если модель не видна на экране или видны вспомогательные построения, измените ссылочный набор на **Модель** или **Вся деталь**.

- Задайте тип **Общие настройки** и нажмите **ОК**.

В результате этого NX выполнит ряд действий.
Будет создана родительская сборка, содержащая обрабатываемую деталь как компонент, вся информация по обработке будет записываться в файл сборки. Вид навигатора сборки показан на рис. 1.10 слева. В графической области отображен компонент.
Таким образом реализуется концепция мастер-модели, которая в дальнейшем позволит автоматически обновлять информацию по обработке при изменении обрабатываемой детали.
Заметим, что сам файл сборки не содержит геометрии, поэтому его иногда называют **Сборка для обработки**. Использование механизма сборок для этих целей ведет к унификации работы в разных модулях NX. Кроме того, когда речь

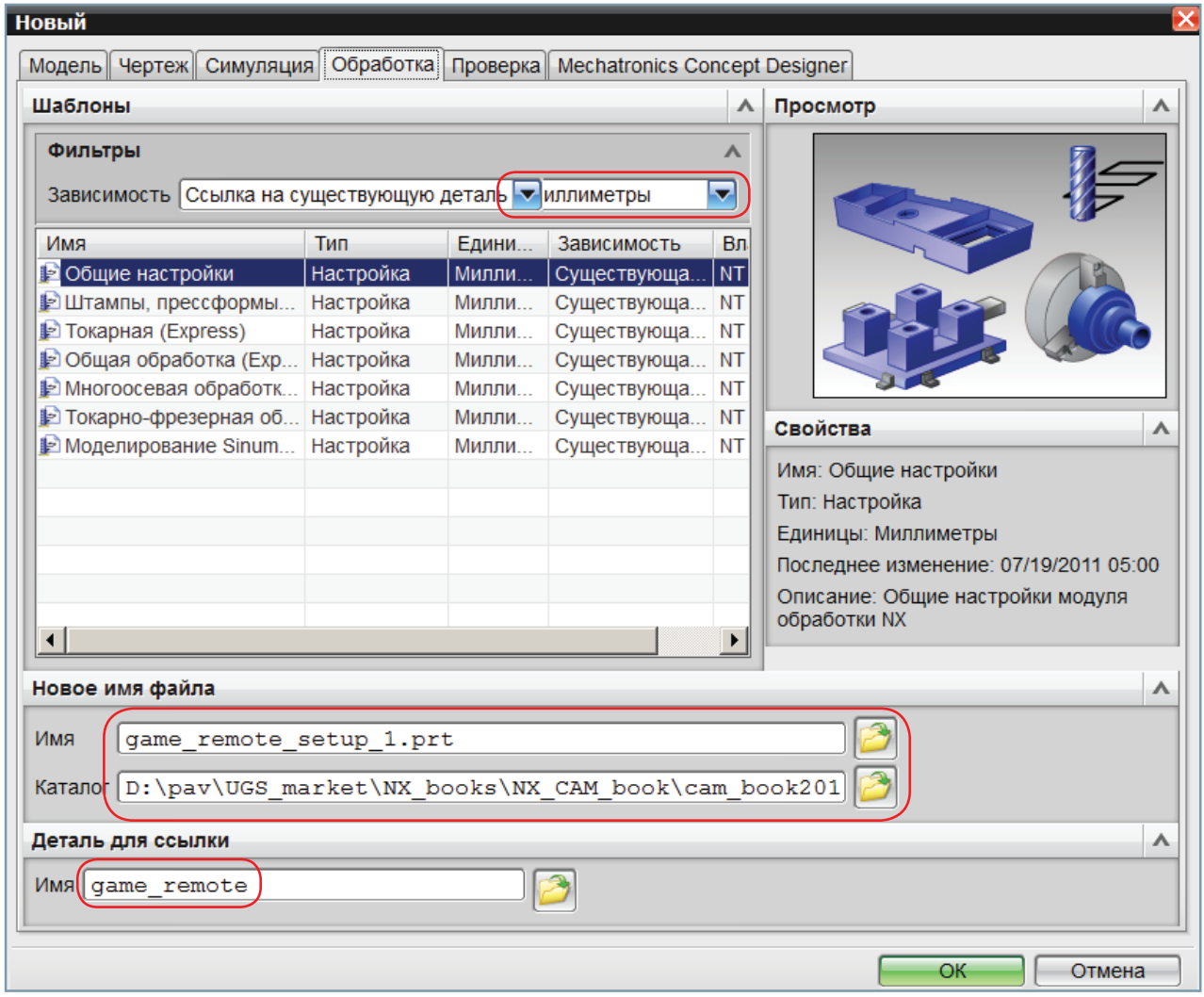


Рис. 1.9. Диалоговое окно инициализации обработки

пойдет о загрузке в проект станка, приспособления, инструментов, заданных 3D-моделями, мы убедимся, что этот механизм наиболее логичен.

Примечание. Фактически при инициализации используется шаблон, который можно изменить так, чтобы создавались нужные вам объекты. Настройка такого шаблона – одно из средств автоматизации программирования.

Кроме этого, будут созданы несколько объектов обработки (их тип и количество определяются видом обработки). Созданные объекты можно увидеть с помощью навигатора операций. На рис. 1.11 показан навигатор операций в режиме отображения геометрии.
Объекты MSC_MILL и WORKPIECE созданы при инициализации, в первом из них обычно задается система координат станка, во втором – геометрия детали, заготовки, контрольная геометрия. Кроме этого, создаются методы обработки по умолчанию, магазин инструментов и некоторые другие объекты.

- Переключите навигатор операций последовательно на разные виды и посмотрите, какие объекты созданы. Большая часть их нам уже знакома из предыдущего параграфа.

Подготовка модели к обработке

В соответствии с принципом мастер-модели нельзя редактировать конструкторскую модель. Если для обработки требуется изменение модели, оно производится для ассоциативной копии модели (WAVE-копии тела), которая сохраняется на уровне сборки.

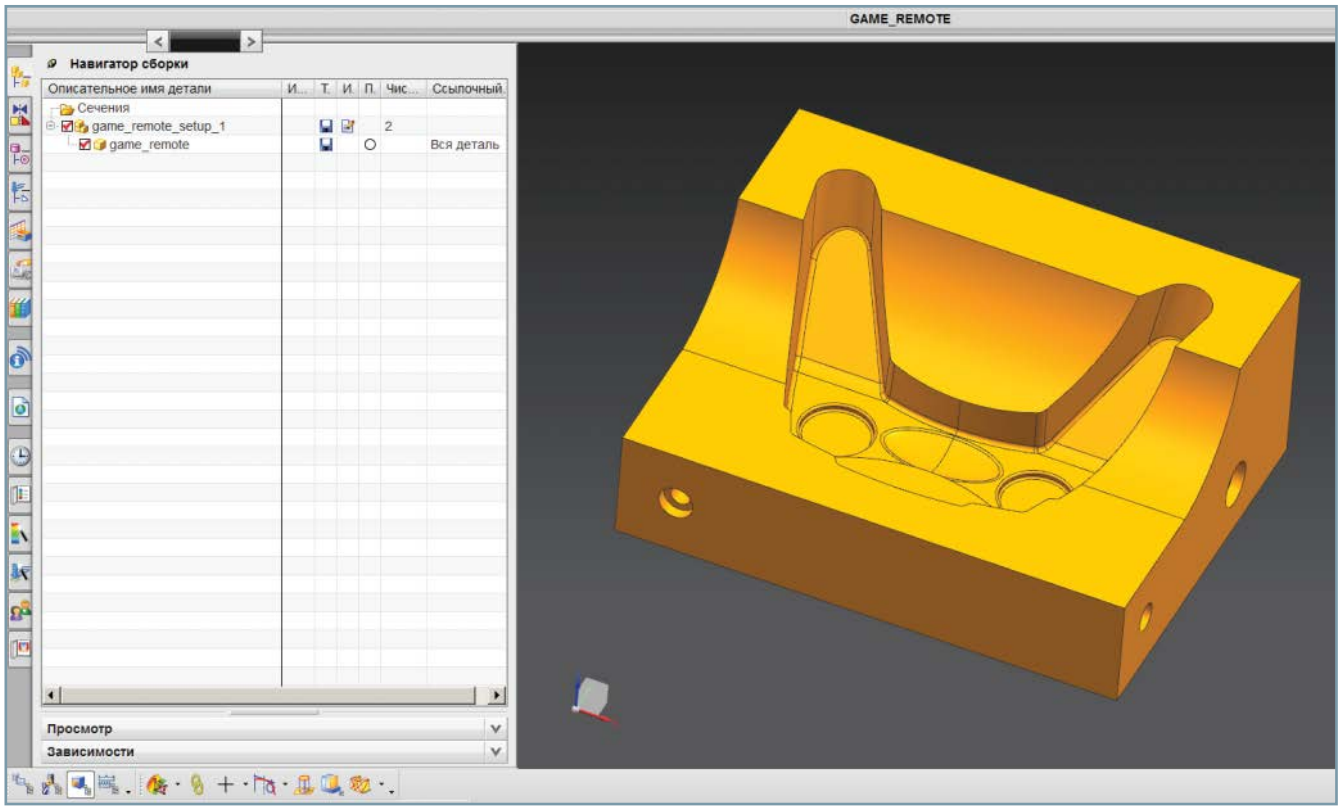


Рис. 1.10. Навигатор сборки отражает принцип мастер-модели в обработке

В данном случае модификация модели не требуется, но ассоциативная копия на уровне сборки будет создана для иллюстрации общего подхода. Имеются и другие преимущества работы с ассоциативной копией модели. Это полезно, если планируются вспомогательные построения с привязкой к модели на уровне сборки для обработки. Иногда это позволяет экономить на объеме загружаемых данных (не загружая историю построения компонента). Также это необходимо для корректной работы такого инструмента, как **Помощник замены**, который будет рассмотрен в главе 13.

- Убедитесь, что модуль сборки активен (в меню **Файл** должна стоять галочка рядом с пунктом **Сборки**).
- Выполните **Вставить** – **Ассоциативное тело** – **Редактор геометрических связей WAVE**. Появится новое диалоговое окно (рис. 1.12), тип объекта должен быть **Тело**.
- Укажите обрабатываемое тело и нажмите **ОК**.

Проверить себя можно, используя навигатор детали (рис. 1.13), где видно, что создан объект **Связанное тело**. После этого можно выключить отображение компонента в **Навигаторе сборки** (рис. 1.14), нажав красную галочку около имени компонента. Галочка станет серой, это будет означать, что компонент загружен, но не отображается.

Анализ геометрии

Существует еще один (необязательный) этап – **Анализ геометрии**. На этом шаге вы исследуете модель. Имеются разные средства анализа модели. Самый простой – измерения. Можно измерить габаритные размеры, величину радиуса, высоту бобышки или ширину паза. Этот этап помогает нам в правильном назначении геометрии инструмента, в выборе станка, при обосновании расположения системы координат станка и т. д.
Команда измерения появится в ленточной панели при переключении главного меню в режим **Анализ** (рис. 1.15). Тип анализа переключается в верхней части нового диалогового окна.

- Выполните измерение длины детали. Как видим, длина составляет 220 мм (рис. 1.16).

Другие виды анализа рассмотрим в отдельной главе.

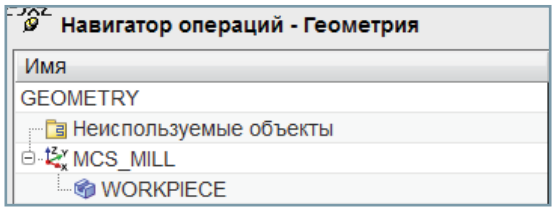


Рис. 1.11. Вид геометрии Навигатора операций при инициализации

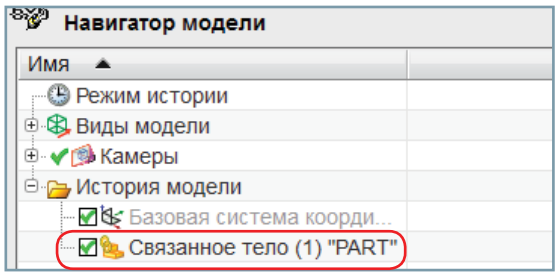


Рис. 1.13. Связанное тело как объект отражается в Навигаторе модели

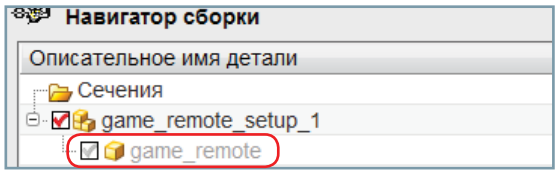


Рис. 1.14. Скрытый компонент в навигаторе сборки

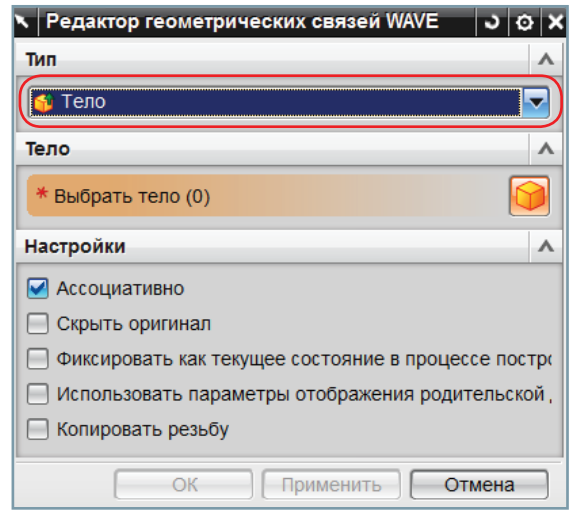


Рис. 1.12. Диалоговое окно Редактора геометрических связей WAVE

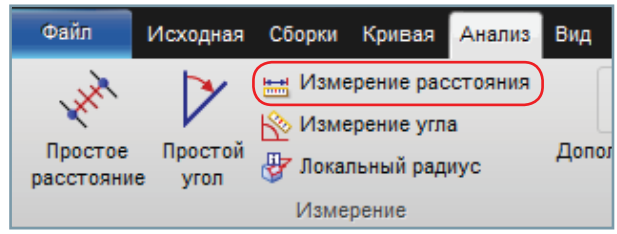


Рис. 1.15. Измерение расстояния как простейший вид анализа модели

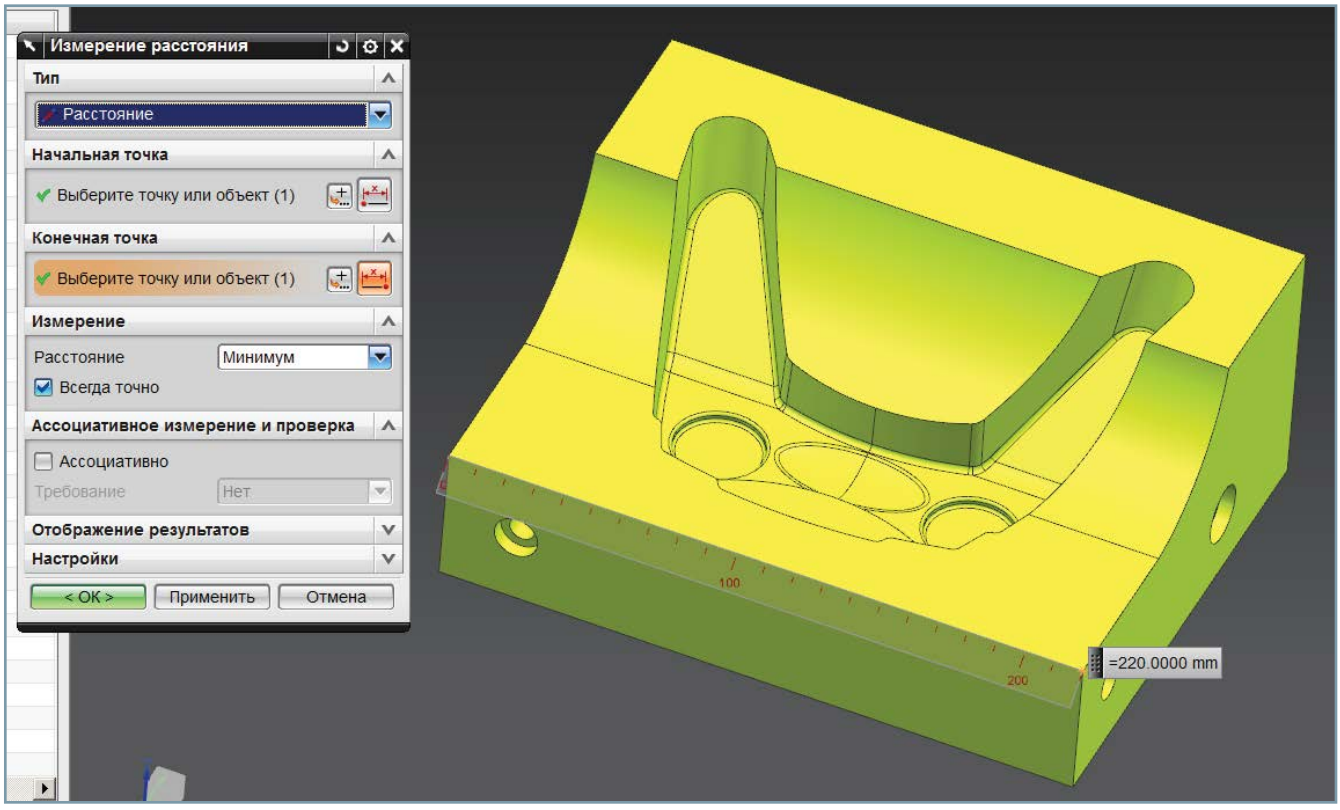


Рис. 1.16. Применение функции измерения расстояния

Создание/Редактирование родительских групп

Все готово к созданию объектов обработки. Как было отмечено ранее, некоторые из них уже были созданы при инициализации.

Система координат

Для задач обработки используется специальная система координат – **Система координат станка (СКС)**. Для вспомогательных построений применяется уже известная нам **Рабочая система координат (РСК)**. Отображать их можно независимо – в меню **Формат** – **Отображать СКС**, там же: **Формат** – **РСК** – **Отображать РСК** (рис. 1.17). СКС отображается только тогда, когда вы находитесь в модуле обработки. В графической области оси СКС маркируются как XM, YM и ZM, в отличие от РСК, где используются XC, YC и ZC (рис. 1.18).

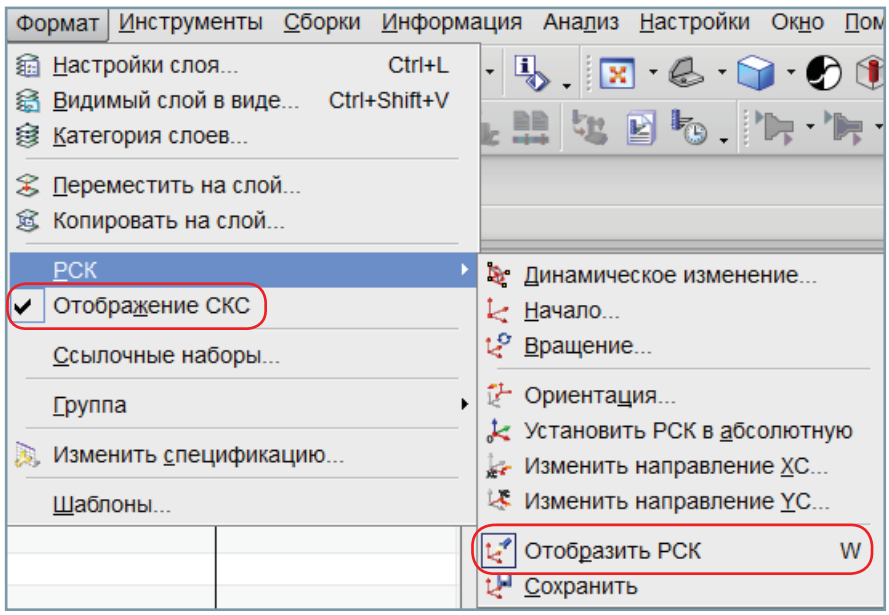


Рис. 1.17. Вызов команды отображения Рабочей системы координат (РСК)

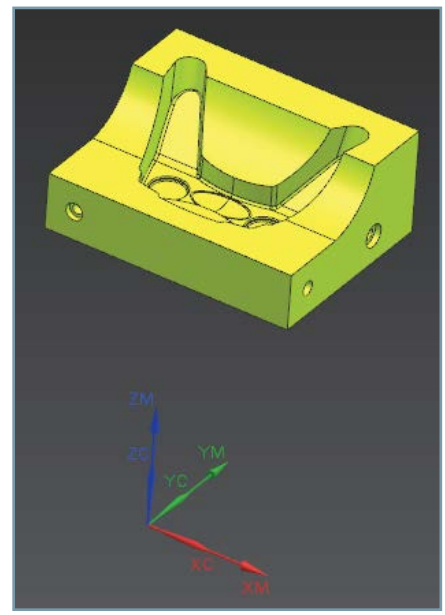


Рис. 1.18. Системы координат, применяемые в модуле обработки, – РСК и СКС

СКС задается в геометрической группе MSC_MILL. В проекте должна быть хотя бы одна СКС, она должна быть установлена в характерную точку детали/заготовки, чтобы оператор мог использовать эту точку для привязки программы к детали. Для этой точки в программировании обработки используется термин «Нулевая точка программы».

- Скройте отображение РСК.
- Дважды щелкните по MSC_MILL в навигаторе операций (вид геометрии).
- Появится диалоговое окно (рис. 1.19), выполните команду **Меню СК** (показана красной рамкой), откроется еще одно диалоговое окно.
- Если тип установлен **Динамика**, то в графической области СКС отобразится с динамическими маркерами, с помощью которых систему координат можно перемещать и переориентировать (рис. 1.20).
- Захватите СК мышкой за маркер начала СК и переместите так, чтобы она привязалась к модели, как показано на рисунке. Переориентация нам не требуется (для 3-осевого фрезерования ось инструмента должна совпадать с осью Z).
- Нажмите **ОК**.

Плоскость безопасности

Еще один важный объект обработки задается в группе MSC_MILL – **Плоскость безопасности**. Это уровень, на котором разрешены ускоренные горизонтальные перемещения. Обычно он задается выше детали и элементов оснастки.
В нашем диалоговом окне этот объект называется **Зазор** (рис. 1.21), это потому, что объектом безопасности в NX может быть не только плоскость.

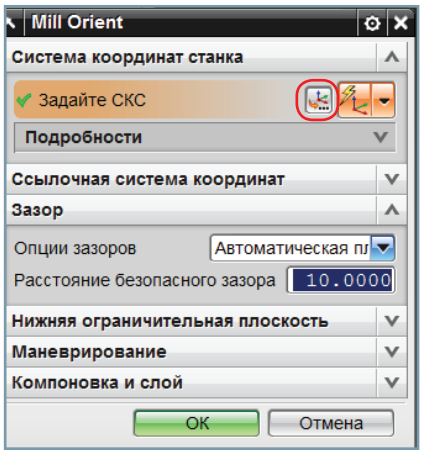


Рис. 1.19. Диалоговое окно работы с системой координат станка (СКС)

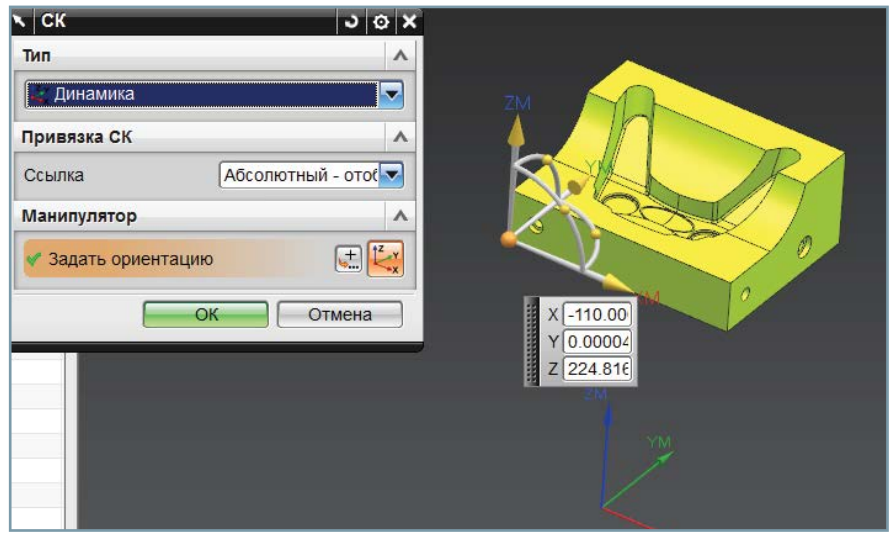


Рис. 1.20. Привязка СКС к 3D модели

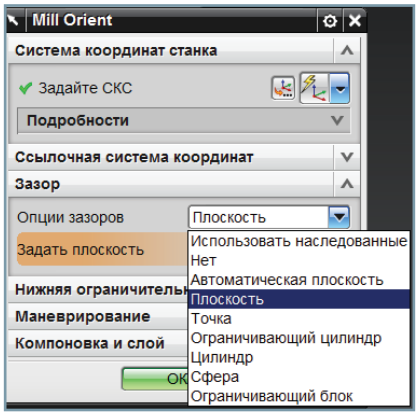


Рис. 1.21. Диалоговое окно задания Плоскости безопасности

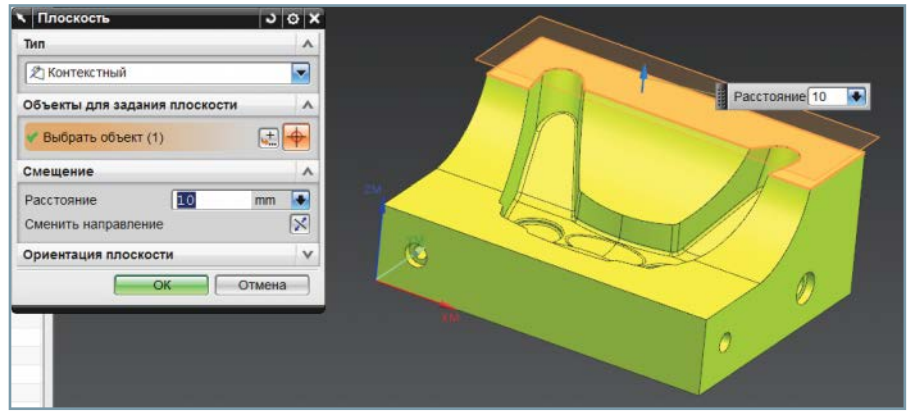


Рис. 1.22. Указание положения Плоскости безопасности на модели

При 3-осевом фрезеровании обычно используется плоскость безопасности.

Примечание. Строго говоря, большая часть параметров может задаваться в самой операции, но использование родительских групп имеет определенные преимущества.

- Установите параметр зазоров как **Плоскость**
- И выполните команду **Задать плоскость**.
- В новом диалоговом окне (где тип плоскости указан как контекстный) выберите верхнюю грань модели (рис. 1.22), в графической области будут отображены временная плоскость и маркер смещения.
- Задайте смещение 10 мм.
- Нажмите **ОК** дважды.

Геометрия детали и заготовки

Геометрия детали и заготовки задается в геометрической группе WORKPIECE.

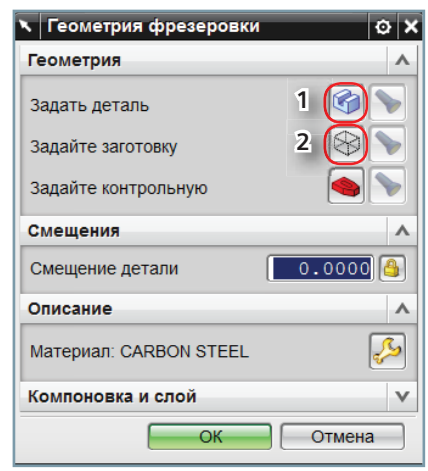


Рис. 1.23. Диалоговое окно задания геометрии Детали и Заготовки

- Дважды щелкните по геометрической группе **WORKPIECE** в навигаторе операций.
- Появится диалоговое окно (рис. 1.23).

- Выполните команду задания детали (1).
- Укажите тело в графической области (рис. 1.24). В принципе, можно указывать несколько объектов для обработки. На этом этапе ограничимся одним объектом.
- Нажмите **ОК**.
- Выполните команду задания заготовки (2 на рис. 1.23).

Самый простой способ задания заготовки – это использовать значение **Ограничивающий блок** (рис. 1.25). В этом случае заготовка задается как параллелепипед с габаритными размерами детали.

- Выберите параметр **Ограничивающий блок**.
- Укажите смещение по Z, равное 1 мм. Данный параметр можно задать в соответствующем поле диалогового окна или смещением маркера в графической области. Этим смещением мы определяем припуск на чистовую обработку верхней грани.

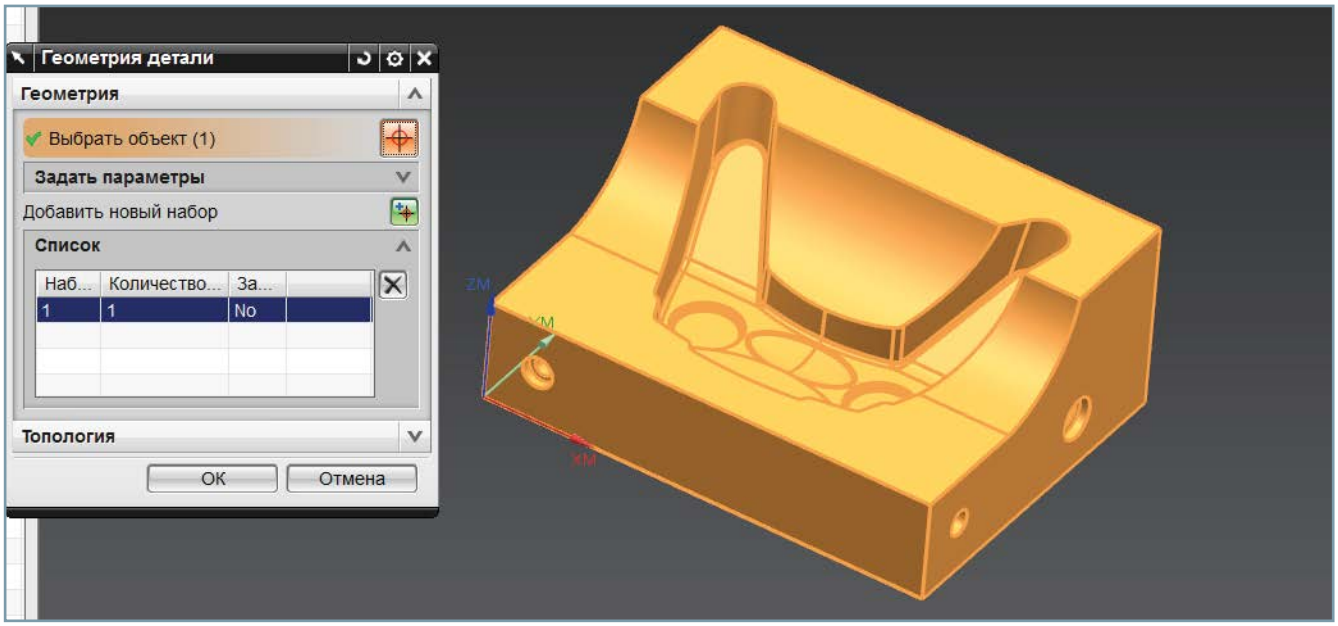


Рис. 1.24. Выбранная геометрия подсвечивается в графическом окне

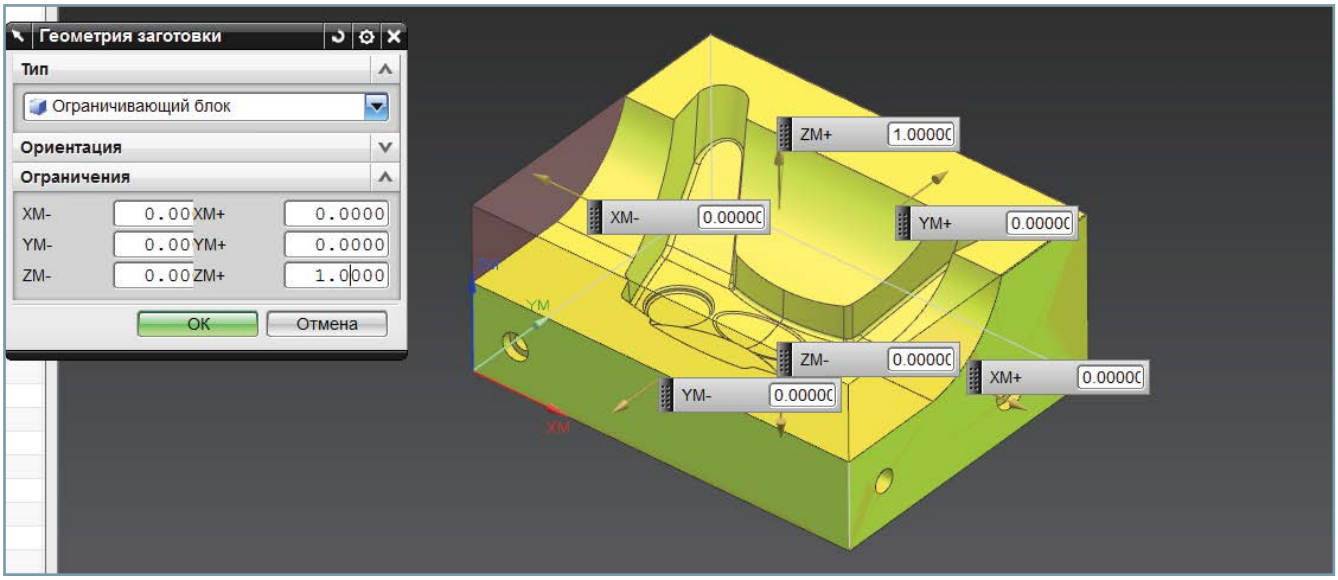


Рис. 1.25. Ограничивающий блок – способ задания заготовки по габаритным размерам детали

Режущий инструмент

Прежде чем создавать инструмент, проведем еще одно измерение, чтобы определиться с требуемым диаметром инструмента.

- Выполните **Анализ** – **Локальный радиус**.
- Появится диалоговое окно (рис. 1.26).
- Последовательно укажите курсором несколько точек на указанной поверхности, информация о кривизне поверхности в соответствующей точке будет отображаться в диалоговом окне.

Как можно убедиться, значение минимального радиуса меняется в диапазоне от 11 до 14 мм.
Такие поверхности часто удобно анализировать именно описанным способом. Что касается инструмента, то делаем вывод, что диаметр 20 мм нас устроит.
Однако до сих пор использовались объекты, созданные при инициализации. Теперь необходимо создать новый объект.
Команды создания новых объектов расположены в начале ленточной панели, если в меню установлен режим Исходная (рис. 1.27).

1. Создать инструмент.
2. Создать геометрическую группу.
3. Создать операцию.
4. Создать группу программ.
5. Создать метод обработки.

Значки команд, которые реже используются, показаны более мелкими.

- Задайте режущий инструмент, используя команду **Создать инструмент**. Появится диалоговое окно (рис. 1.28).
- Инструменты сгруппированы по типам. Тип mill_planar нас устроит.
- Подтип укажем END_MILL (концевая фреза).
- В качестве места расположения укажите POCKET_01, задайте имя MILL_D20.
- Нажмите **ОК**.

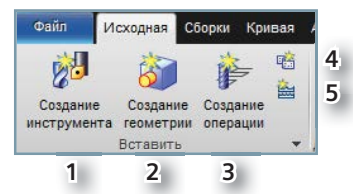


Рис. 1.27. Панель создания новых объектов обработки

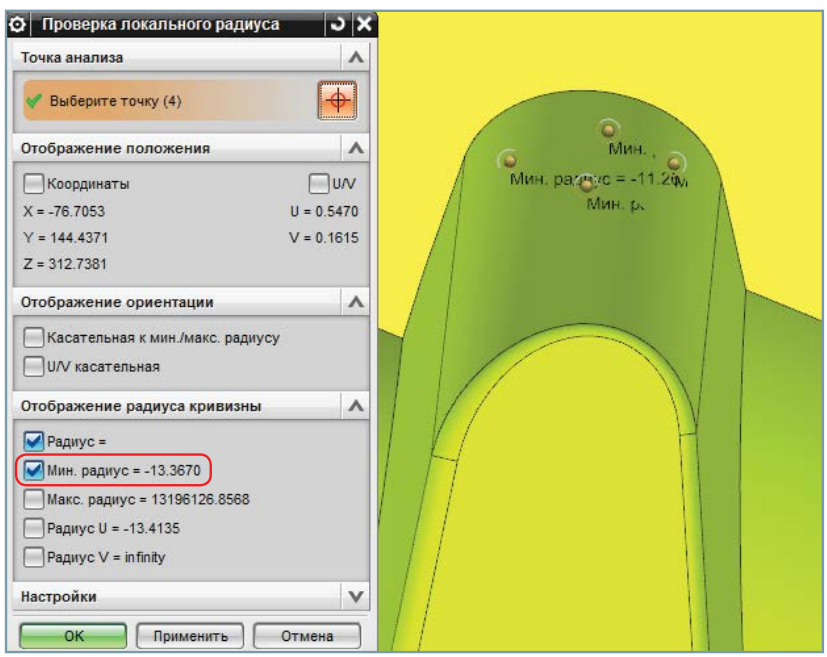


Рис. 1.26. Проверка локального радиуса модели помогает в выборе размеров инструмента

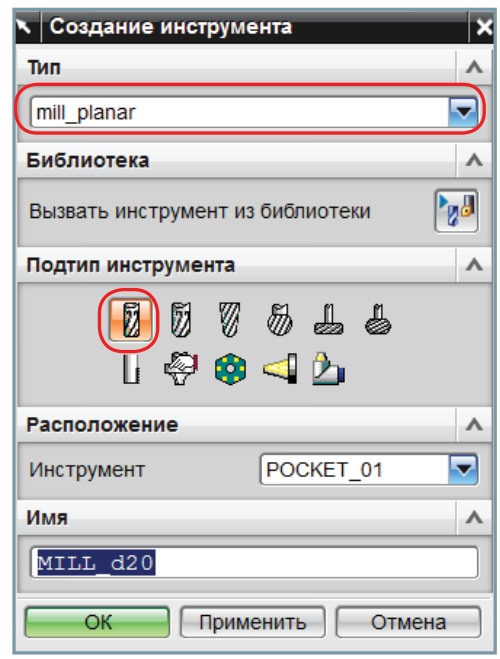


Рис. 1.28. Диалоговое окно создания инструмента

Обратите внимание, что в диалоговом окне имеется возможность вызова инструмента из библиотеки, эта возможность будет рассмотрена в главе 8. Появится еще одно диалоговое окно, где задается геометрия инструмента (рис. 1.29). В нем имеются 4 вкладки, основные параметры фрезы задаются на вкладке **Инструмент**, активной по умолчанию. Эскиз инструмента содержит параметры, обозначенные буквами, поля ввода параметров тоже снабжены этими же буквами, таким образом, назначение параметров очень наглядно.

- Задайте диаметр 20 мм. Остальные параметры оставим по умолчанию.

Отметим также, что в поля **Номер инструмента** и **Регистр коррекции** занесено значение 1, а рядом с этими полями отображается закрытый замочек. Это признак того, что параметр наследуется (в данном случае номер наследуется из ячейки магазина). Вы можете изменить номер инструмента явно, при этом замочек будет показан открытым. Но это нежелательное действие, особенно для серийного производства, когда проект может часто модифицироваться.
В навигаторе операций на **Виде инструментов** можно увидеть новый объект, вложенный в POCKET_01 (рис. 1.30).
В родительских группах **Программа** и **Метод** будем использовать уже созданные при инициализации объекты. Заметим, что метод обычно задает допуск и припуск на обработку, поэтому выбором метода можно сразу задать тип обработки: черновая, получистовая или чистовая.
Все необходимые для создания операции обработки объекты созданы, перейдем к созданию операции обработки.

Создание операции

- Выполните команду создания операции (3 на рис. 1.27). Появится диалоговое окно (рис. 1.31).

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

- Переключите тип на Mill_contour и выберите первую команду – это операция черновой обработки **CAVITY_MILL**.
- В группе параметров **Расположение** указываются родительские объекты для данной операции (другими словами, расположение операции в иерархии объектов обработки). Укажите эти объекты как на рисунке.
- Имя операции оставьте по умолчанию.
- И нажмите **ОК**.

Операция будет помещена в группу программ 1234. Операция использует геометрию детали и заготовки, которые вы задали в WORKPIECE, и использует созданный вами инструмент MILL_D20. Метод MILL_ROUGH позволяет задать в операции припуск для черновой обработки. При выполнении команды **ОК** будет открыто основное диалоговое окно операции (рис. 1.32).
На данном этапе не рассматриваются особенности операции глубинного фрезерования и ее параметры. Нам важно проследить, как операция использует информацию из родительских групп. В верхней части диалогового окна указывается геометрическая информация, с которой работает операция. Параметр **Геометрия** установлен на WORKPIECE, команды **Задать деталь** и **Задать заготовку** неактивны, но команда с изображением фонарика (просмотр) активна. Это признак, что эти объекты заданы, но не непосредственно в операции, а они наследуются из родительской группы. Другие геометрические группы (Контрольная, Область резания и Граница обрезки) в данный момент не заданы и не используются. На это указывает неактивная команда **Просмотр** для этих объектов.

- Используем параметры операции по умолчанию и сразу выполним команду **Генерировать**. Траектория будет создана (рис. 1.33).

Если появится сообщение о проблеме, нажмите **Отмена** (в данном случае еще не рассматривались параметры операции). В траектории разным цветом показаны разные типы движения – отдельно рабочие ходы, подходы, отходы, ускоренные перемещения и т. д.

- Нажмите **ОК**, чтобы операция сохранилась и была видна в навигаторе операций.

Можно было не генерировать операцию, а сразу нажать **ОК**, операция сохранится в навигаторе операций, но будет помечена как несгенерированная. Так часто делается, если время расчета траектории велико или если вы не уверены в некоторых параметрах. Сгенерировать операцию и добавить недостающие параметры можно в любой момент времени. Навигатор операций отображает символ состояния (статус) траектории инструмента перед названием операции. Статус может принимать несколько значений, на данном этапе рассмотрим три:

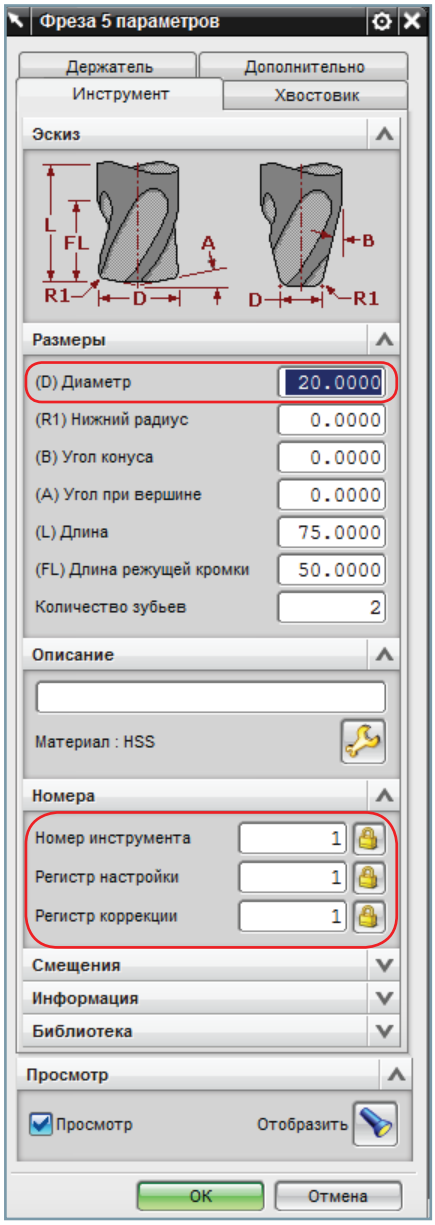


Рис. 1.29. Диалоговое окно задания геометрии Инструмента

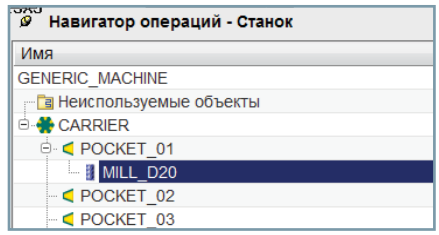


Рис. 1.30. Положение нового инструмента на станке – ячейка магазина номер 1

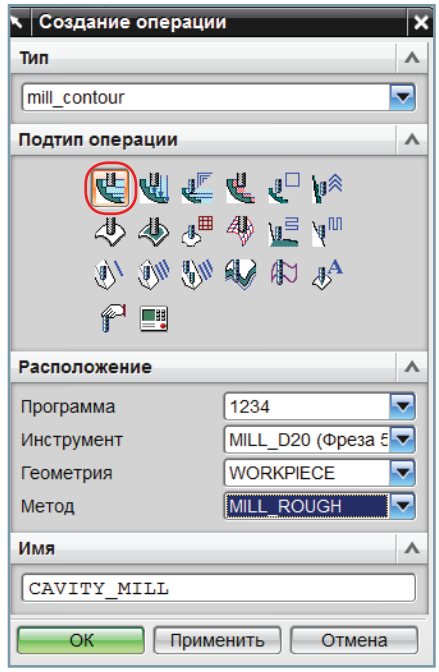


Рис. 1.31. Диалоговое окно создания Операции обработки

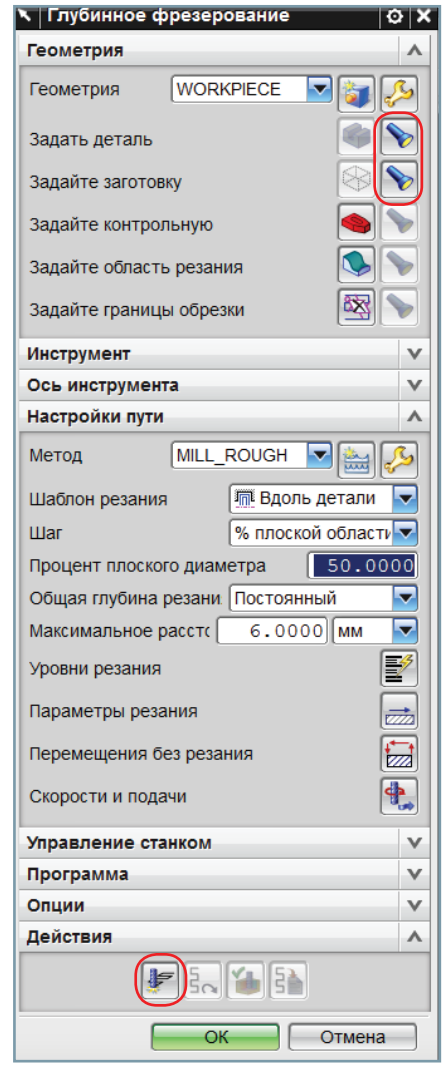


Рис. 1.32. Диалоговое окно задания параметров Операции обработки (на примере операции Глубинного фрезерования)

⊘ – траектория не сгенерирована или является устаревшей (не учитывает изменений модели);
❗ – траектория не выведена на постпроцессор (требуется вывод);
✔ – траектория выведена на постпроцессор (закончена).

Операция CAVITY_MILL имеет статус «Требуется вывод».

Проверка программ

Прежде чем выполнять постпроцессирование, необходимо проверить операцию. Для этого существуют различные инструменты. Рассмотрим **Верификацию** – самый простой вид симуляции, который целесообразно использовать на ранних стадиях разработки проекта обработки. Данный тип проверки УП позволяет выявить возможные проблемы, такие как зарезы, столкновения, контакт с материалом на ускоренной подаче, чрезмерный припуск на обработку и т. д.

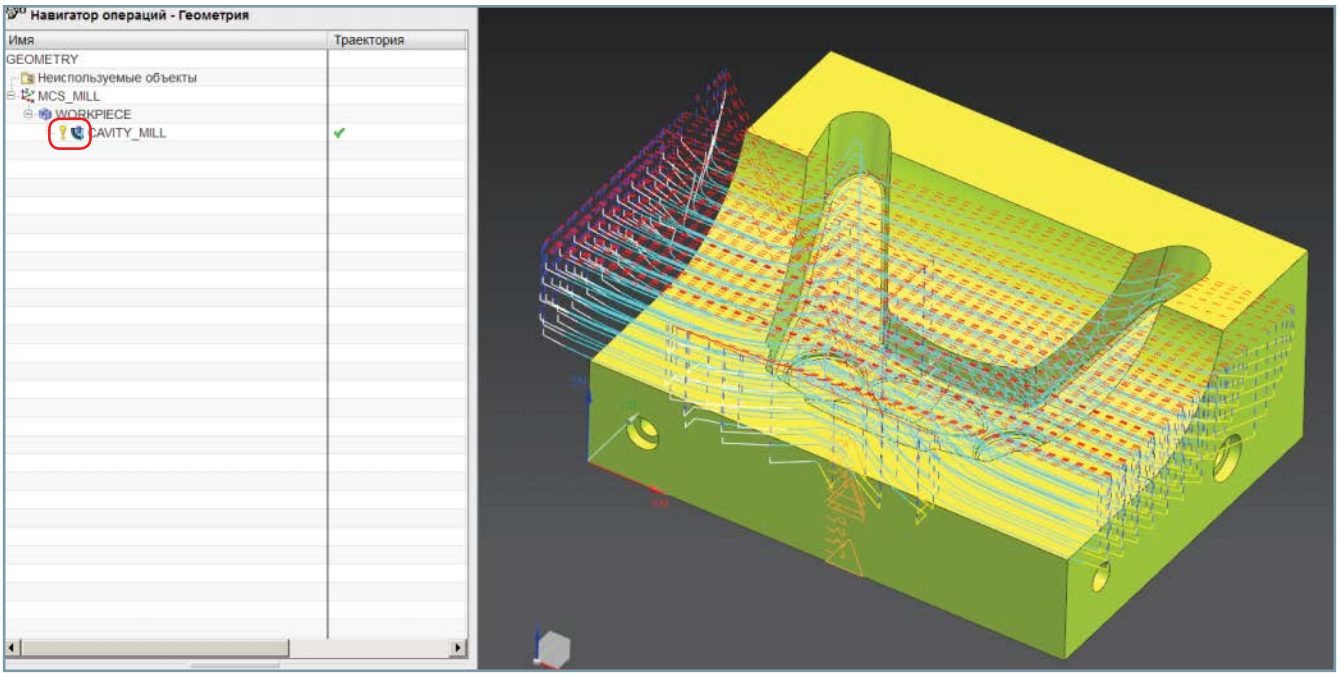


Рис. 1.33. Траектория обработки для выбранной операции отображается в графическом окне

Примечание. Симуляция обработки УП на станке в кодах УП будет рассмотрена в главе 15.

Команда верификации (проверки траектории) находится в ленточной панели (2), когда меню установлено в режим **Исходная** (рис. 1.34). Верификация возможна как для 1 операции, так и для группы операций.

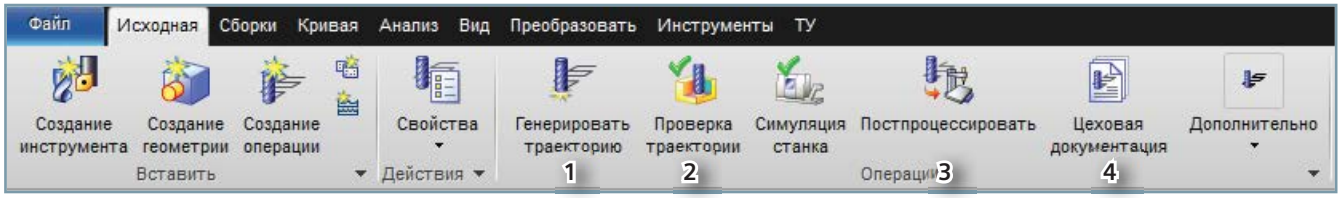


Рис. 1.34. Команды для работы с операциями обработки

Другие действия над траекториями показаны здесь же, основными действиями являются:

1) Генерировать траекторию;
2) Проверка (Верификация) траектории;
3) Постпроцессировать;
4) Цеховая документация.

- Выберите операцию CAVITY_MILL в **Навигаторе операций** и выполните команду **Верификация** (2 на рис. 1.34).
- Появится диалоговое окно управления верификацией (рис. 1.35.).
- Переключитесь на вкладку **3D-динамика (1)**
- Уменьшите скорость анимации до 4 (2) и выполните команду **Вперед** (3).

В графической области визуализируется процесс съема материала инструментом. В любой момент можно выполнить команду **Стоп (4)**, а затем продолжить анимацию.

- Для завершения нажмите **ОК**.

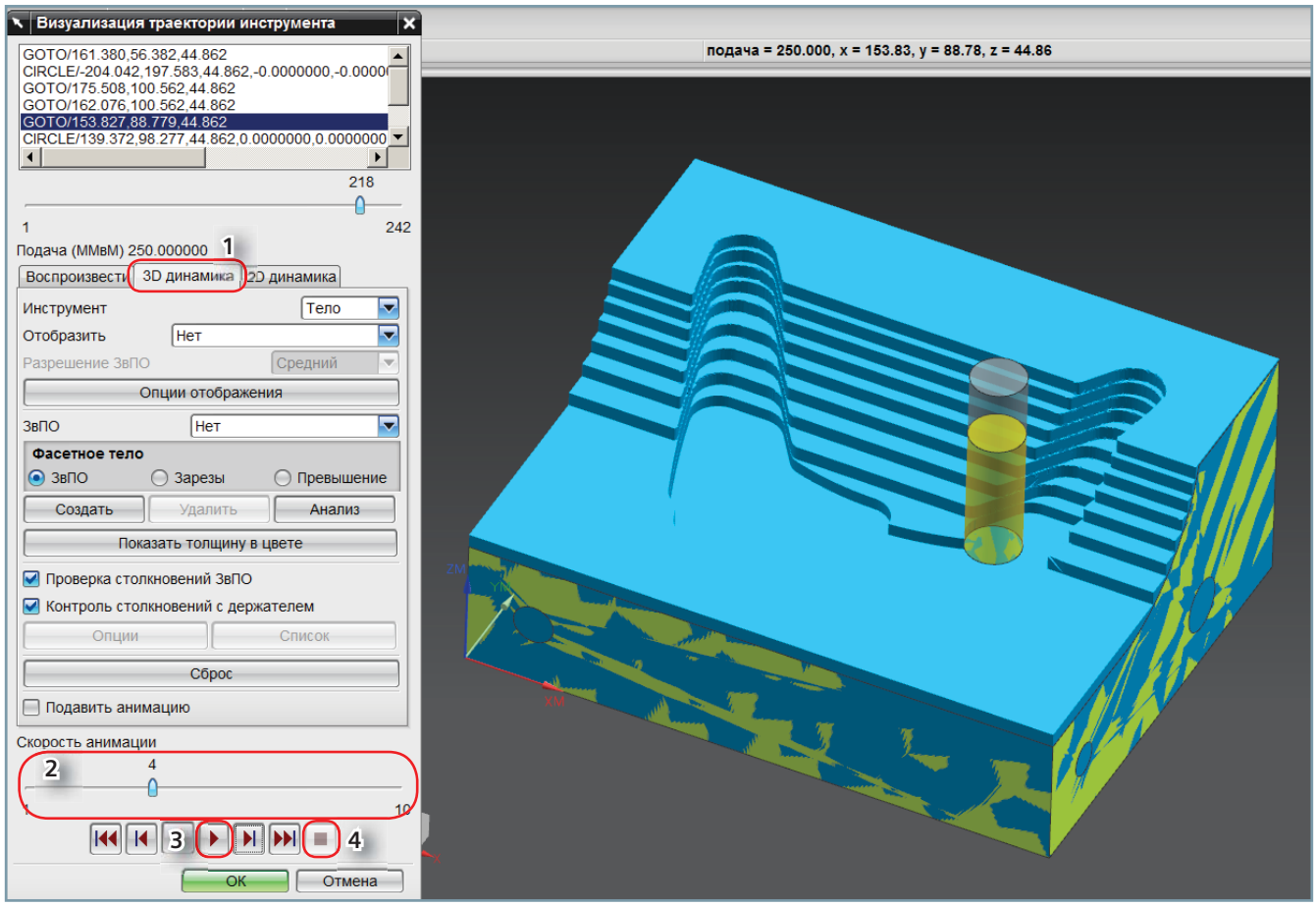


Рис. 1.35. Диалоговое окно управления верификацией и результат верификации операции обработки

Постпроцессирование

Чтобы получить управляющую программу (УП), траектория инструмента должна быть обработана постпроцессором. Именно постпроцессор учитывает особенности кинематики и формат кадра конкретного станка или системы ЧПУ.

- Выберите операцию CAVITY_MILL в **Навигаторе операций** и выполните команду **Постпроцессировать** (3 на рис. 1.34).
- Появится диалоговое окно постпроцессирования (рис. 1.36.).
- Выберите постпроцессор, как на рисунке, и нажмите **ОК**.

Результат будет записан в текстовый файл с расширением, принятым для конкретной системы ЧПУ (для Sinumerik это mpf). Кроме того, если включен режим **Вывод листинга,** текст УП выводится и в информационное окно (рис. 1.37).
Операция, выведенная на постпроцессор, получит статус **Закончена**, который отображается в навигаторе операций (рис. 1.38).
Текст УП получен. Если бы вся обработка детали задавалась одной операцией, то 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 вы задавали припуск в операциях (а это тоже возможно), то вам пришлось бы заходить в каждую операцию, менять в ней припуск и пересчитывать. Это не только дольше, но и не так наглядно, в случае если нам предстоит снова поработать с этим проектом спустя некоторое время.
Многие команды модуля обработки можно вызвать из контекстного меню объектов обработки. При этом некоторые команды дублируются с пунктами меню, а некоторые могут быть выполнены только из контекстного меню. В следующем параграфе рассмотрим контекстное меню объектов обработки.

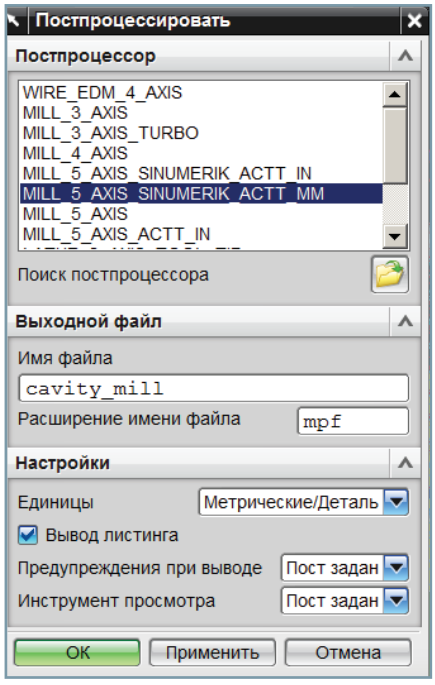


Рис. 1.36. Диалоговое окно постпроцессирования операций

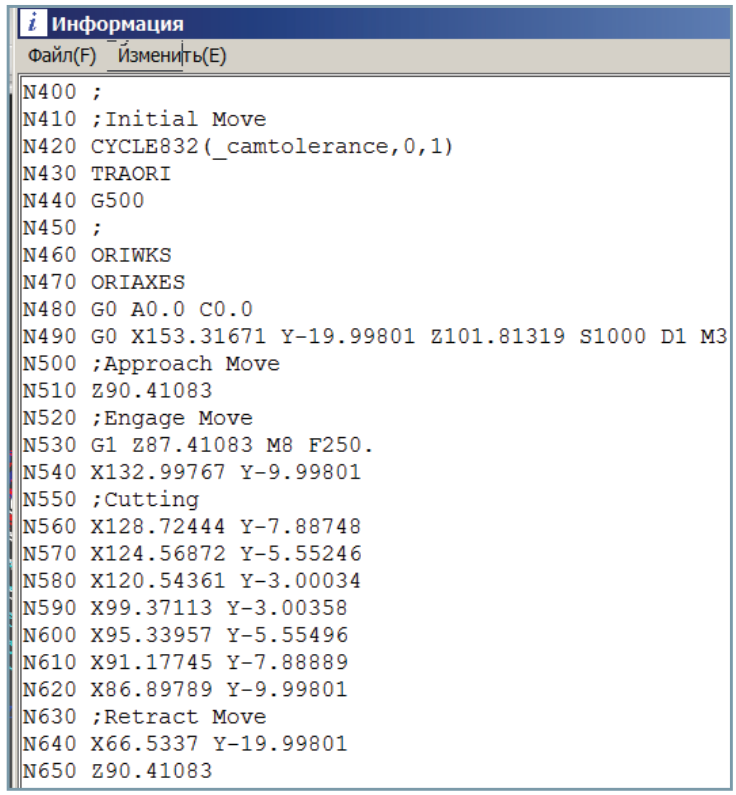


Рис. 1.37. Текст управляющей программы (УП) как результат постпроцессирования

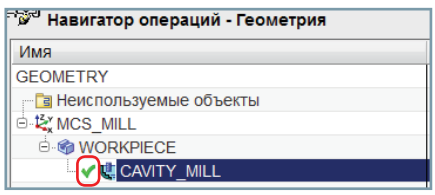


Рис. 1.38. Статус «закончено» отображается в Навигаторе операций рядом с названием операции

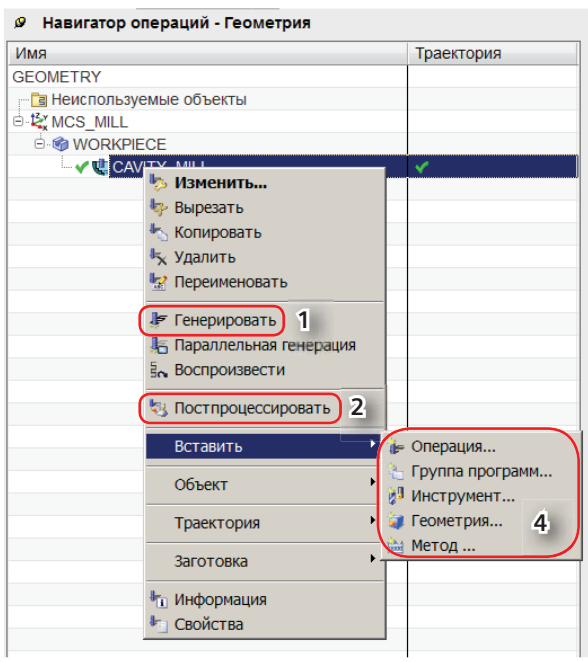
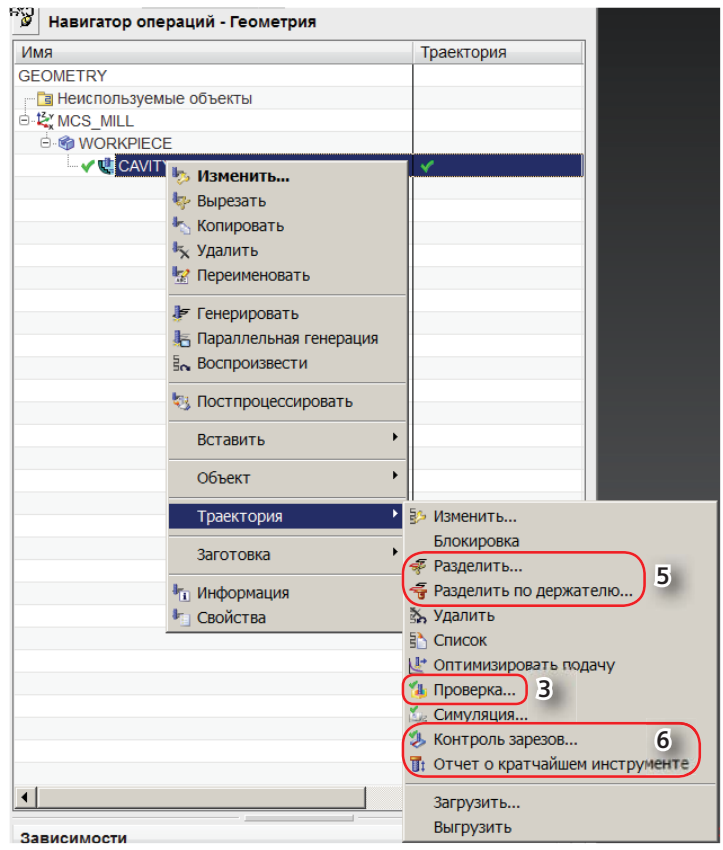


Рис. 1.39. Контекстное меню операции



Контекстное меню

Контекстное меню (меню, вызываемое правой кнопкой мыши, когда курсор позиционирован на объекте) дублирует многие функции меню и инструментальных панелей.

- Выберите операцию в навигаторе операций и нажмите правую кнопку мыши (рис. 1.39).
- Функции **Генерировать** (1), **Постпроцессировать** (2), **Проверка** (3) идентичны инструментам на панели рис. 1.34.
- Все подменю **Вставить** (4) (новый объект) идентично панели на рис. 1.27.

В то же время часть функций доступна только из контекстного меню. К ним относятся: **Разделить**, **Разделить по держателю** (5), **Контроль зарезов**, **Отчет о кратчайшем инструменте** (6). Эти функции будут рассмотрены позднее при описании конкретных операций.
Если вызвать контекстное меню из навигатора операций, не выбирая никаких объектов, то появится еще одно меню (рис. 1.40), в котором представлены команды переключения видов навигатора операций (7), команды **Раскрыть все**, **Свернуть все** в дереве объектов обработки (8).
Команда **Столбцы** (9) служит для настройки колонок навигатора операций.

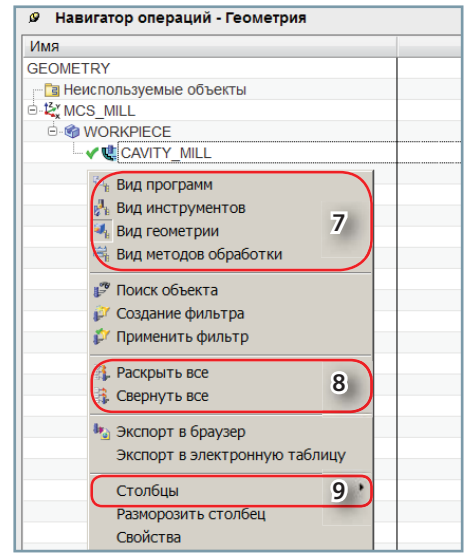


Рис. 1.40. Контекстное меню Навигатора операций (если объекты не выбраны)

Глава 2

Черновая обработка – операция CAVITY_MILL

Содержание главы

- Операция CAVITY_MILL: основы
  - Уровни резания и шаблон резания
  - Параметры резания
  - Вспомогательные перемещения (Параметры без резания)
  - Скорости и подачи

Черновая обработка – операция CAVITY_MILL

Операция CAVITY_MILL (в NX переводится как глубинное фрезерование) служит для удаления основного объема материала. Глубинное фрезерование идеально подходит для черновой обработки формообразующей оснастки, но используется и для деталей других классов. Операция удаляет материал плоскими уровнями, перпендикулярными фиксированной оси инструмента, то есть это 2.5-осевая операция.
В некоторых случаях ее используют и как чистовую.
Операция имеет очень много параметров, их освоение лучше выполнить поэтапно. Многие параметры в дальнейшем встретятся и в других типах операций.
Команды операций черновой обработки находятся в группе mill_contour (рис. 2.1).

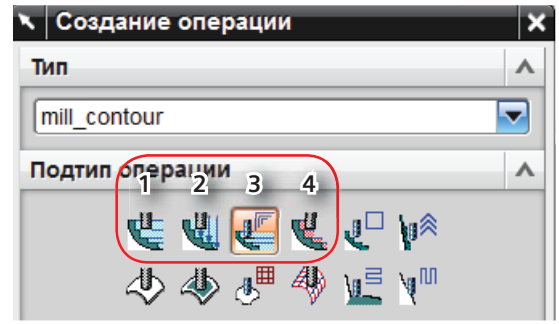


Рис. 2.1. Команды операций черновой обработки

Таких команд четыре, а операций – две (команды 3 и 4 являются разновидностью базовой операции):
1 – операция глубинного фрезерования CAVITY_MILL;
2 – операция погружного фрезерования PLUNGE_MILLING;
3 – операция CORNER_ROUGH является разновидностью операции CAVITY_MILL, с предустановленным параметром поиска необработанных углов;
4 – операция REST_MILLING является разновидностью операции CAVITY_MILL, она учитывает изменение заготовки, произведённое предыдущими операциями.

Операция CAVITY_MILL: основы

Операция удаляет материал по уровням, то есть операция относится к 2.5-координатной обработке. Операция имеет гибкие способы задания как уровней, так и шаблона резания, используемого на этих уровнях.

- Откройте файл game_remote_setup_1.prt. В нем уже создана одна операция типа CAVITY_MILL. Теперь разберем ее подробнее.
- Дважды щелкните по операции в навигаторе операций.
- Откроется диалоговое окно операции (рис. 2.2).

Группа параметров **Геометрия** (1) задает различные объекты геометрии, с которыми работает операция. Обычно необходимо, чтобы деталь и заготовка были заданы. Остальные геометрические объекты часто необязательны. В нашем случае деталь и заготовка уже заданы в родительской группе WORKPIECE. О том, что деталь задана, свидетельствует активный фонарик в строке **Задать деталь**. Этой командой можно подсветить заданный объект. На то, что деталь задана не в самой операции, а наследуется из родительской группы, указывает неактивная команда перед фонариком в строке **Задать деталь**. То же справедливо и для заготовки. Три другие геометрические группы не заданы, и фонарик в соответствующих строках неактивен. Это необязательные объекты.
В диалоговых окнах параметры организованы блоками. Блок параметров можно свернуть или развернуть (стрелочкой, расположенной справа в заголовке блока).

- Сверните блок **Геометрии** и разверните блоки **Инструмент** и **Ось инструмента**. Результат показан на рис. 2.3.

В блоке **Инструмент** (2) указан заданный инструмент. Он также наследуется из родительской группы. Но рядом с названием имеются команды **Изменить** и **Создать новый**, чтобы создать или изменить инструмент можно, не закрывая окна операции. В блоке **Ось инструмента** (3) указана Ось +ZM. Это основной режим операции, ось инструмента расположена по оси Z системы координат станка (СКС).
Самый обширный блок – это блок **Настройки траектории** (4). Ряд параметров настраивается прямо в блоке, но так как параметров много, то **Уровни резания** (5), **Параметры резания** (6), **Вспомогательные перемещения** (ранее **Параметры без резания**) (7) и **Скорости и подачи** (8) вынесены в отдельные диалоговые окна и вызываются из основного окна операции. Блок параметров **Действие** (9) содержит команды **Генерировать**, **Отобразить**, **Проверка**, **Список**. Причем для новой операции активна только команда **Генерировать**. Если операция уже сгенерирована и вызвана на редактирование, то доступны все команды.
Начнем с группы параметров **Уровни резания** (5).

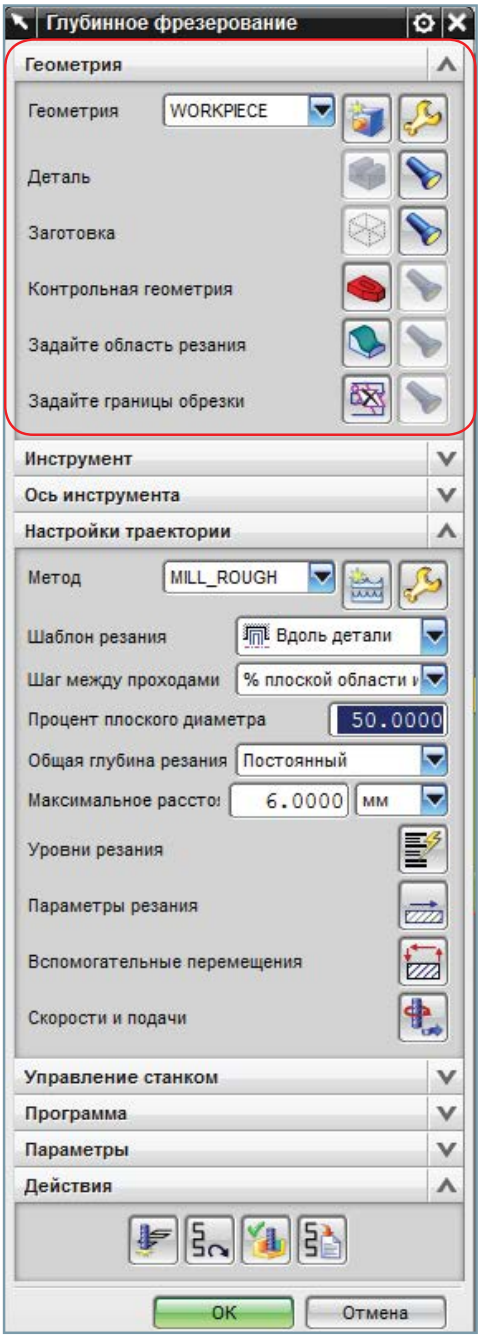


Рис. 2.2. Диалоговое окно операции Глубинное фрезерование: параметры геометрии

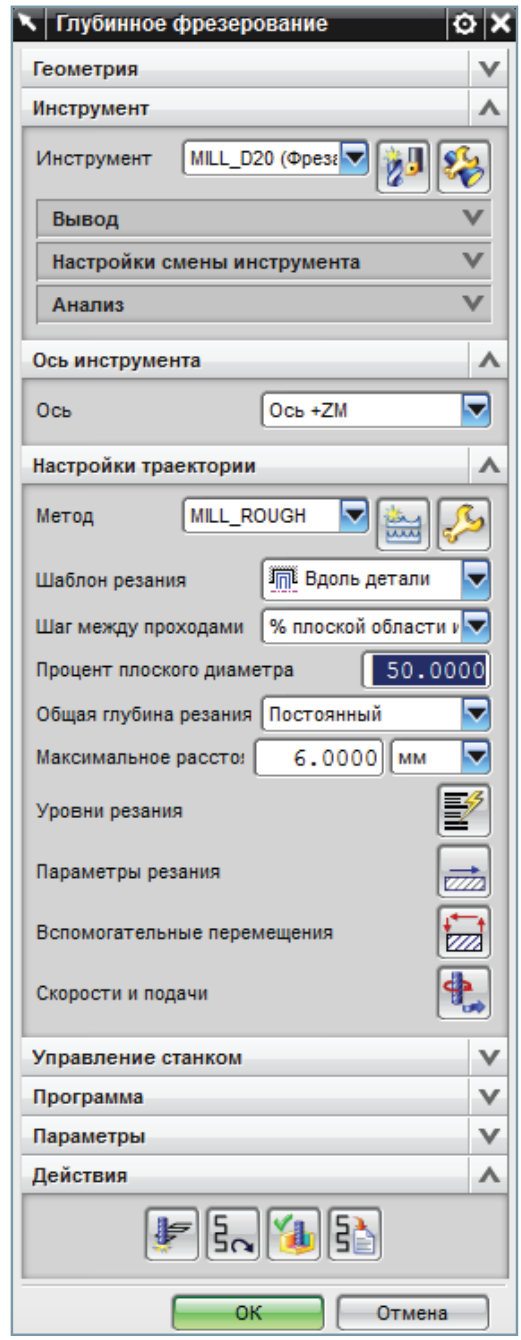


Рис. 2.3. Диалоговое окно операции Глубинное фрезерование: параметры инструмента и траектории

Уровни резания и шаблон резания

Уровни резания определяют плоскости, в которых будет выполняться обработка, шаблон резания определяет закон движения инструмента в уровнях. В NX достаточно гибко задаются как уровни резания, так и шаблон резания.

- Выполните команду **Уровни резания**.
- В результате откроется новое диалоговое окно, а в графической области будут показаны маркеры уровней (рис. 2.4).

По умолчанию **Тип диапазона** задан **Автоматически**, и создается несколько диапазонов уровней. Маркеры в виде больших треугольников – это границы диапазонов, они соответствуют уровням плоских горизонтальных граней модели

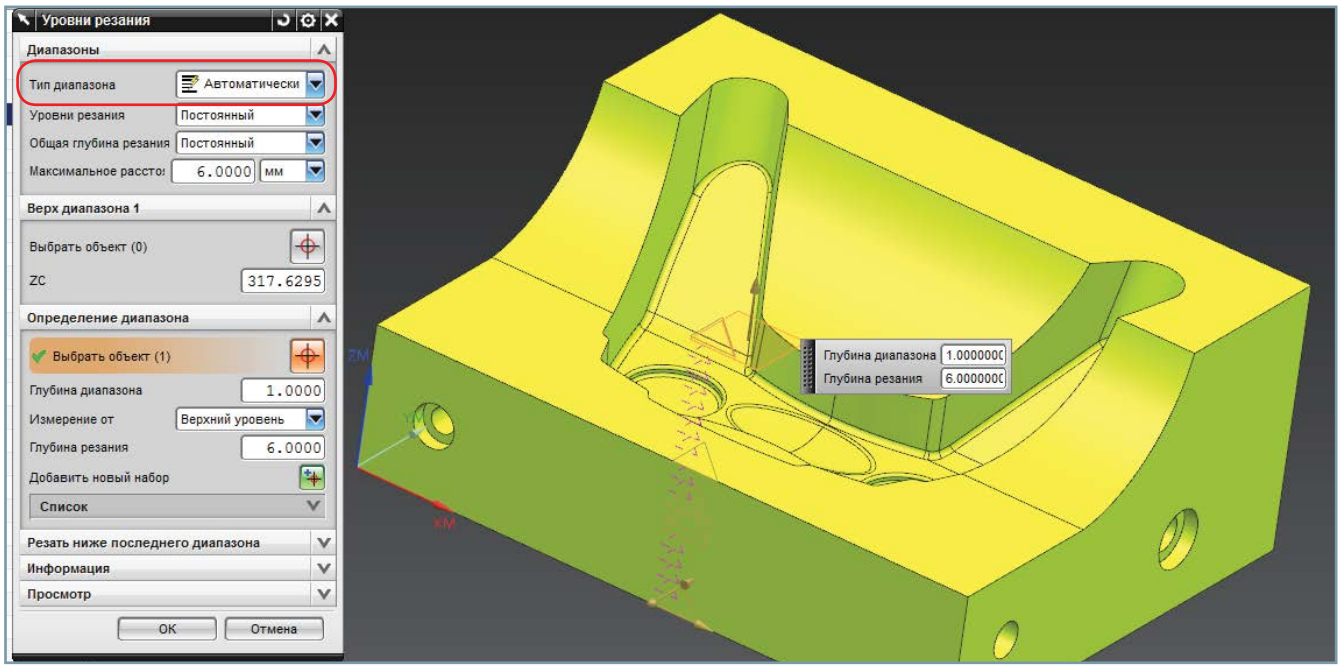


Рис. 2.4. Назначение Уровней резания в операции

и определяются автоматически. Затем внутри диапазонов назначаются дополнительные уровни, исходя из заданной глубины резания (они показаны малыми треугольниками). Метка диапазона, который активен в данный момент, показана динамическим маркером в виде прямоугольника со стрелочкой. Управление уровнями достаточно гибкое, оно позволяет удалять диапазоны, создавать новые диапазоны, назначать разный шаг в разных диапазонах, указывать, чтобы обработка шла только по границам диапазонов, и т. д.
Для дальнейшего изложения оставим в операции только один уровень, чтобы разобрать шаблоны резания внутри уровней.

- Переключите тип диапазона на **Одиночный** (1), уровни резания – **Только внизу диапазона** (2), включите возможность привязки к точке на кривой (3) и укажите точку на ребре, как показано на рис. 2.5 (4).
- Нажмите **ОК** в диалоговом окне уровней и **Генерировать** в основном диалоговом окне операции.
- Результат приведен на рис. 2.6. Поверните модель так, чтобы убедиться, что вся траектория лежит в плоскости, соответствующей заданному уровню.

Закон движения инструмента в уровнях – это **Шаблон резания**. Чтобы разобрать различные шаблоны резания, используем только 1 уровень (для наглядности). Шаблоны задаются в основном диалоговом окне операции в группе 4 (рис. 2.3). Возможные значения шаблона резания показаны на рис. 2.7.
Не будем рассматривать все шаблоны подробно. Но некоторые из них прокомментируем (рис. 2.8). Шаблон **Вдоль детали** – это эквидистантная обработка с заданным шагом между проходами.
Это наиболее часто используемый шаблон для открытых областей резания, то есть областей, где возможен подход инструмента сбоку. Шаблон **Зигзаг** – это обработка строчками вдоль заданного направления (обычно вдоль оси X или Y, хотя возможно задание и произвольного направления). На некоторых станках (в основном устаревших) такая траектория выполняется быстрее, чем эквидистантная. Также отметим, что для некоторого типа деталей такой шаблон лучше подходит. Шаблон **Профиль** – это однократный проход по обрабатываемой геометрии, там, где её пересекает текущий уровень резания. Такой шаблон может применяться и для чистовой обработки. Шаблон **Трохоидальный** используется при высокоскоростной обработке для устранения проходов полным диаметром фрезы. Траектория на открытых участках похожа на шаблон **Вдоль детали**, но на участках типа пазов, где инструмент может испытывать перегрузки, эквидистантные движения заменяются на плоскую спираль (трохоиду). Шаблон **Зиг** позволяет выдерживать направление резания (попутное, встречное фрезерования), но существенно увеличивает длину холостых ходов (движений без резания). Кроме того, при использовании этого шаблона увеличивается вероятность погружения инструмента в материал в связи с тем, что подход сбоку невозможен. Шаблон **Вдоль периферии** часто используется для обработки закрытых карманов с первоначальным спиральным погружением или при обработке от отверстия после предварительного засверливания. Кроме типа шаблона, имеются и другие параметры шаблона, основным из которых является **Шаг проходов**. Он задается в основном диалоговом окне операции, там же, где и тип шаблона. Чаще других используется задание шага либо через процент плоского диаметра инструмента (рис. 2.9a), либо явным значением (рис. 2.9b).

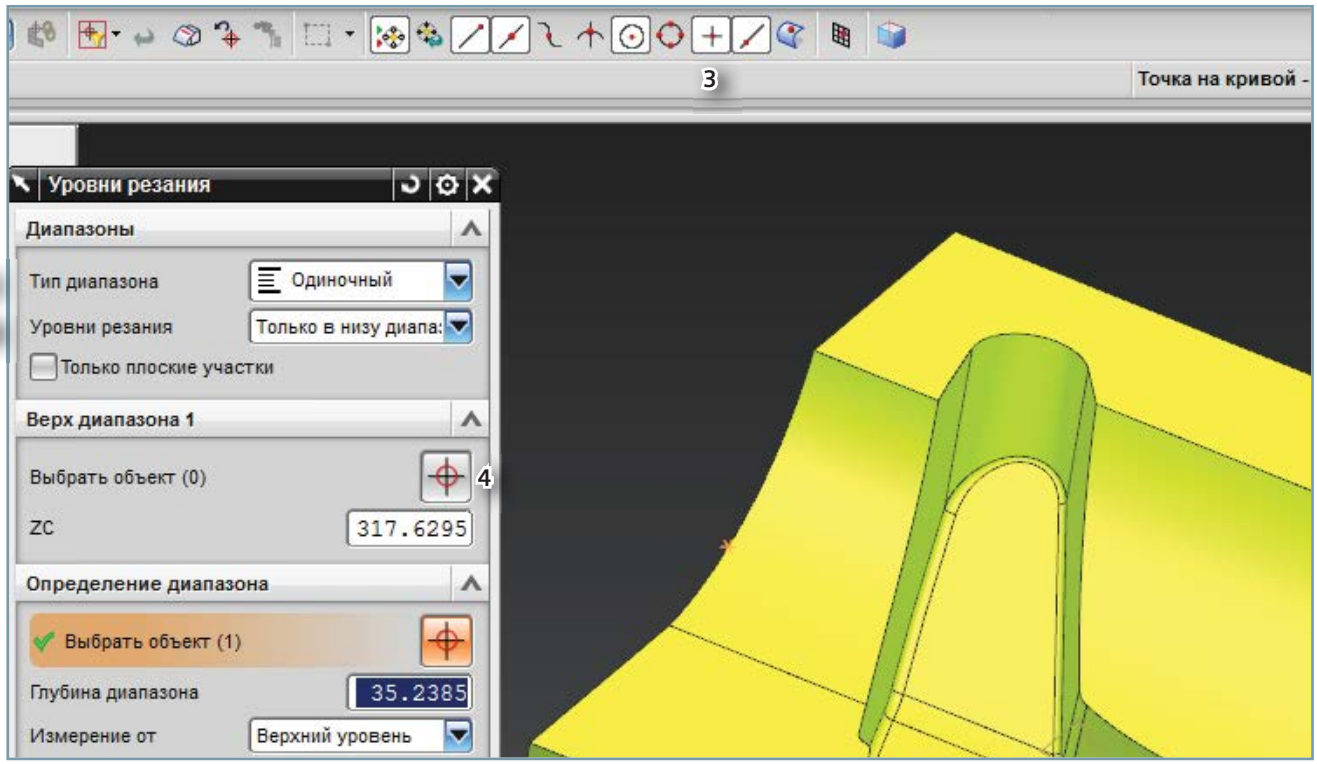


Рис. 2.5. Задание одиночного уровня указанием точки на модели

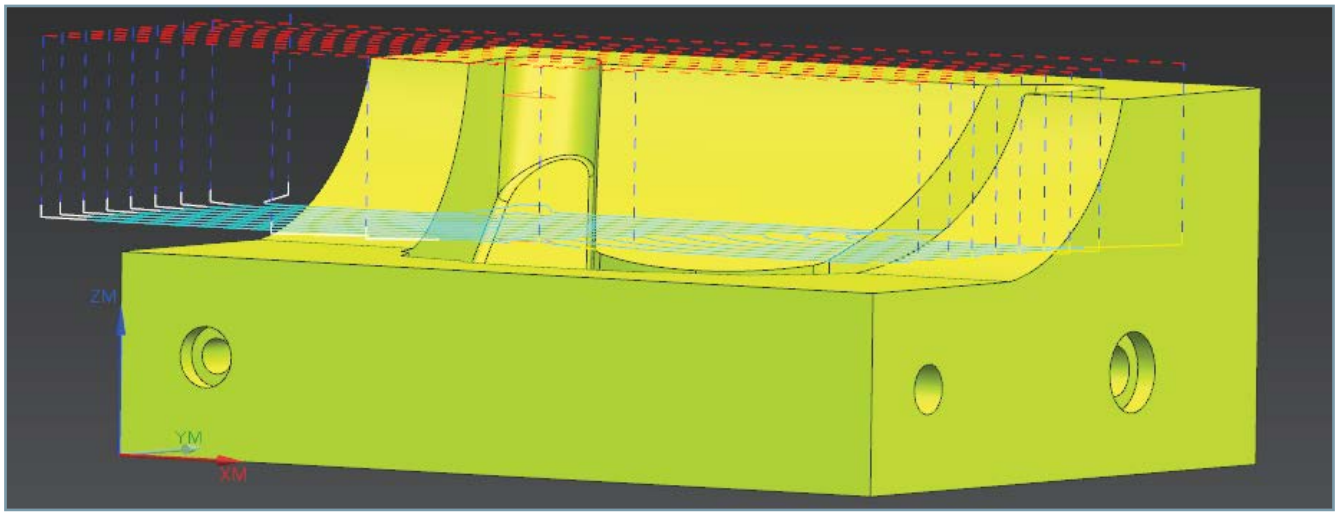


Рис. 2.6. Операция обработки одного уровня (сделано для наглядности)

Плоский диаметр – это диаметр инструмента за вычетом 2 радиусов в углу. Преимуществом задания шага через параметры инструмента является возможность его автоматического пересчета при изменении инструмента в операции. Обратите внимание, что в зависимости от выбранного способа задания шага ниже отображается один из параметров: или процент плоского диаметра, или максимальное расстояние. Этим минимизируется число одновременно отображаемых параметров, что облегчает работу с системой. Такой подход применяется в NX 9.0 повсеместно. Другие параметры шаблона описываются в **Параметрах резания** (группа параметров, обозначенная цифрой 6 на рис. 2.3) и будут рассмотрены в отдельном параграфе.

Теперь вернемся к уровням резания.

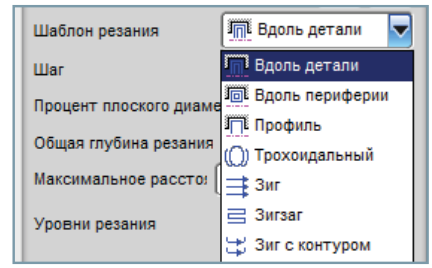
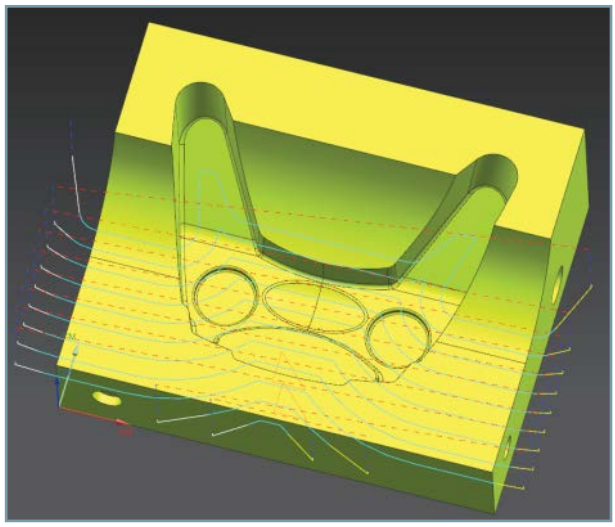
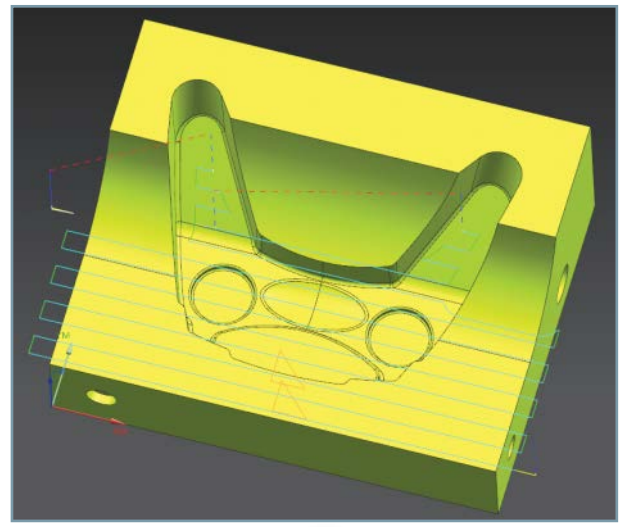


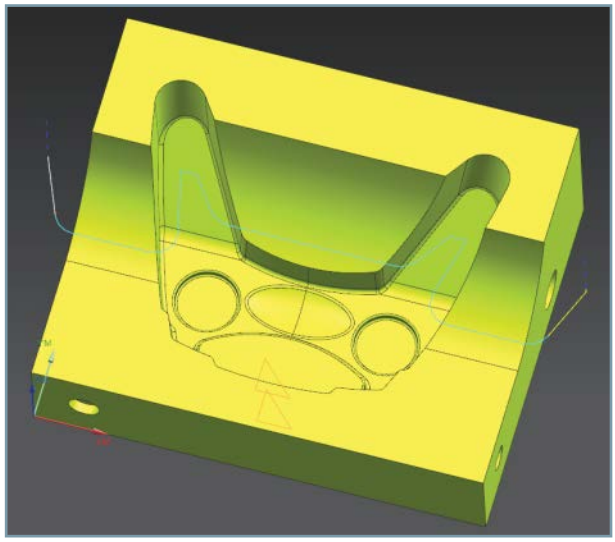
Рис. 2.7. Шаблоны резания в операции Глубинное фрезерование



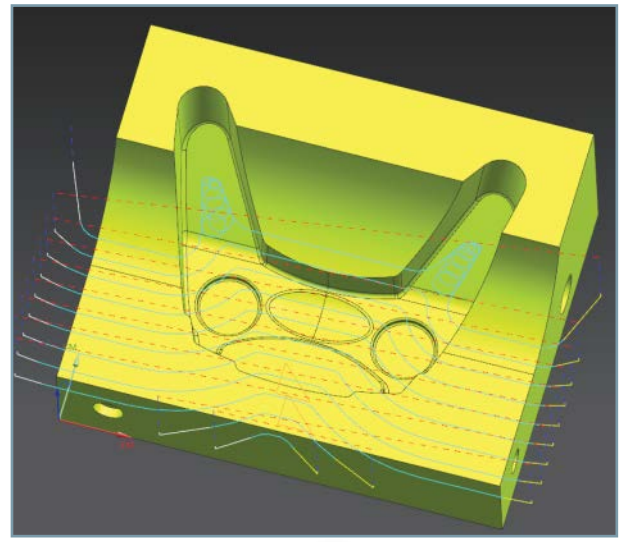
a



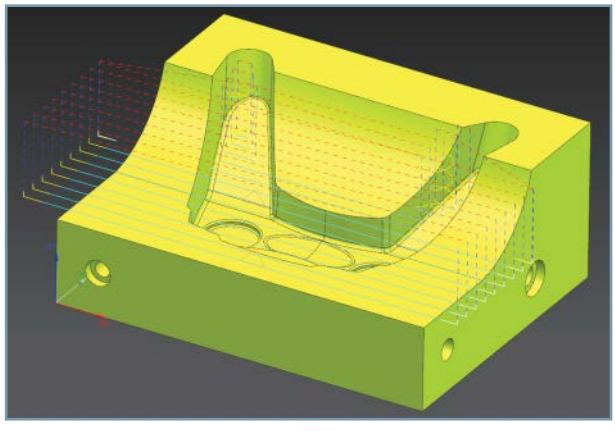
b



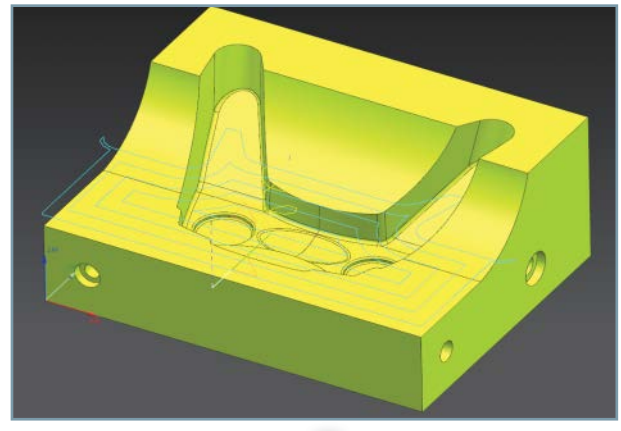
c



d



e



f

Рис. 2.8. Шаблоны резания: a) вдоль детали; b) зигзаг; c) профиль; d) трохоидальный; e) зиг; f) вдоль периферии

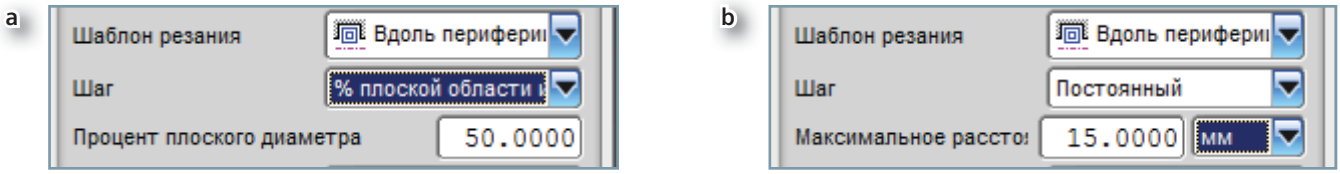


Рис. 2.9. Способы задания шага проходов: a) через процент плоского диаметра инструмента; b) явным значением

- Снова задайте тип диапазона **Автоматически** и **Уровни резания** – **постоянный** (как на рис. 2.4). Как было сказано ранее, один из уровней, который доступен для редактирования, выделяется динамическим маркером.
- Сгенерируйте операцию и выполните ее верификацию.

Ставим себе задачу: в текущей операции оставить только те диапазоны, где инструмент имеет возможность подойти сбоку. Эти диапазоны находятся выше подсвеченного на рис. 2.10. Диапазоны ниже этого уровня обработаем другой операцией по другой стратегии или другим инструментом.

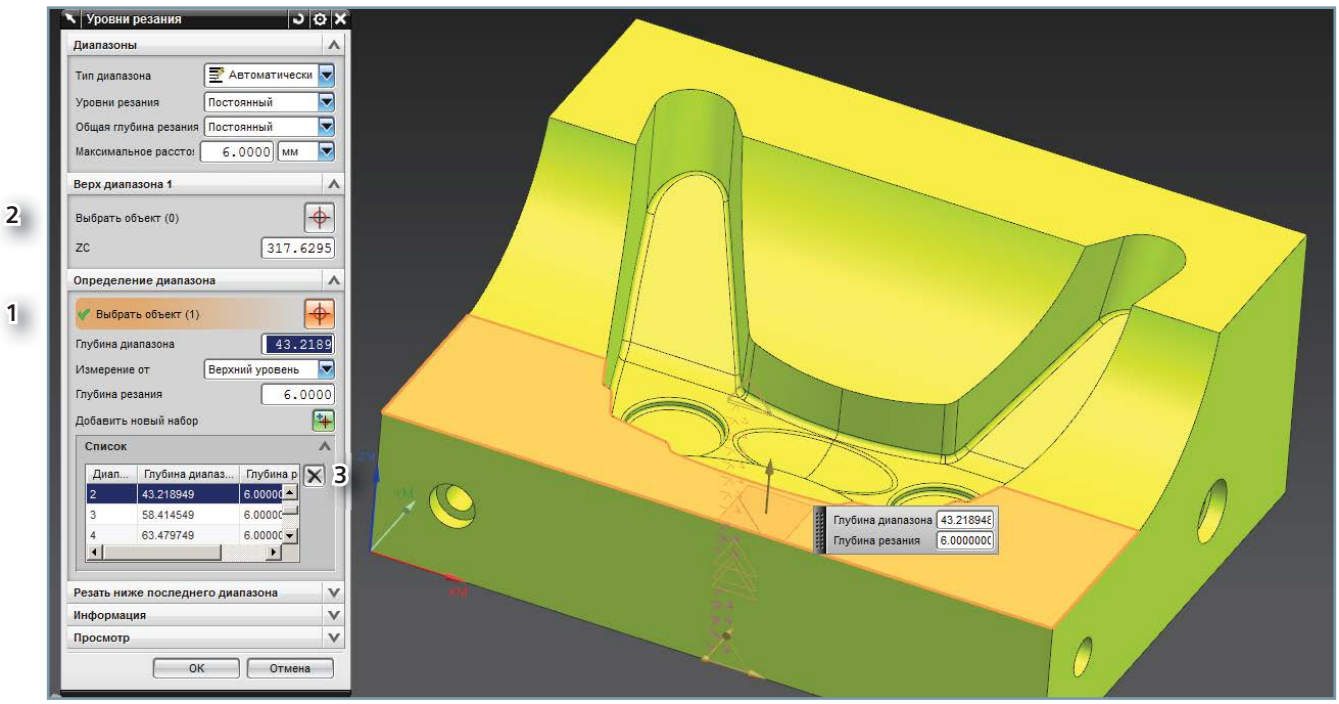


Рис. 2.10. Задание низа диапазона для определения области обработки, где возможен подвод инструмента сбоку

Активным вы можете сделать маркер, выбрав один из больших треугольников в графической области или выбрав диапазон явно из списка в диалоговом окне задания уровней резания. При этом подсвечивается та плоская грань, по которой этот уровень назначен. Метка диапазона соответствует нижней части диапазона (1). Выбранный диапазон можно удалить. При удалении самого нижнего диапазона обработка в нем не будет производиться. При удалении промежуточного диапазона он объединяется с соседним диапазоном. Если необходимо удалить верхний диапазон без слияния с соседним, то необходимо в диалоговом окне переключиться в позицию задания верха диапазона (2) или выбрать в графическом окне верхнюю границу самого верхнего диапазона.

Примечание. Для удаления верхнего диапазона переключитесь в позицию задания верха диапазона.

- Выберите нижний диапазон и удалите его, используя команду удаления в диалоговом окне диапазонов (3). После удаления новый нижний диапазон активен. Удалите еще 3 диапазона. Сгенерируйте операцию. Задача выполнена.

Если на модели имеются плоские участки, но площадь их незначительна, например площадки на некоторых формообразующих элементах оснастки, то целесообразнее задать всего 1 диапазон. Для этого используется тип диапазона **Одиночный**.

- Задайте тип диапазона **Одиночный**. Обратите внимание на маркеры уровней резания в графической области, они расположены равномерно.
- Переключите тип диапазона на **Задаваемый пользователем** (1, рис. 2.11), выполните команду **Добавить новый набор** (2), укажите точку в графической области, как показано (3).
- Новый диапазон будет создан.

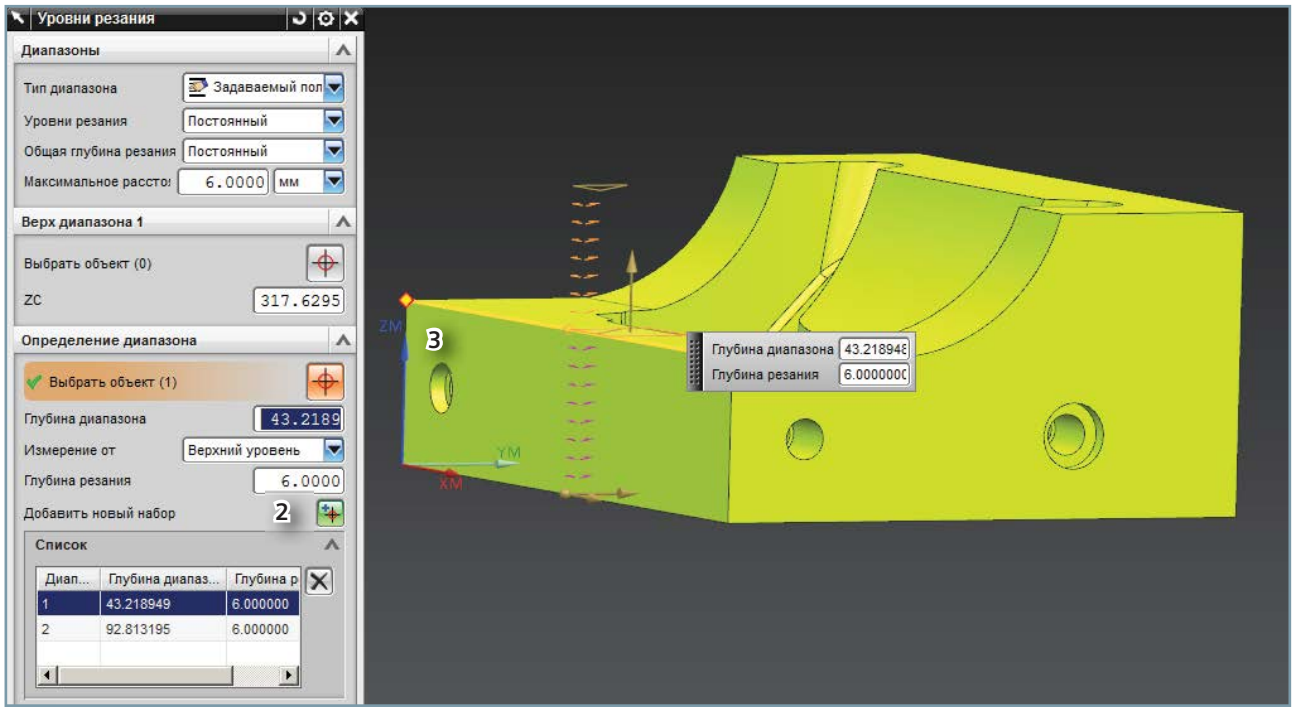


Рис. 2.11. Тип диапазона – Задаваемый пользователем

Теперь проиллюстрируем возможность задать разную глубину резания в различных диапазонах. Так как условия работы инструмента в нижнем диапазоне хуже, чем в верхнем (нет возможности подойти сбоку), уменьшим глубину резания в нижнем диапазоне.

- Задайте глубину резания в нижнем диапазоне 3 мм и нажмите **ОК** (рис. 2.12).
- Сгенерируйте операцию и выполните ее верификацию. Нажмите **ОК**, чтобы закрыть диалоговое окно.

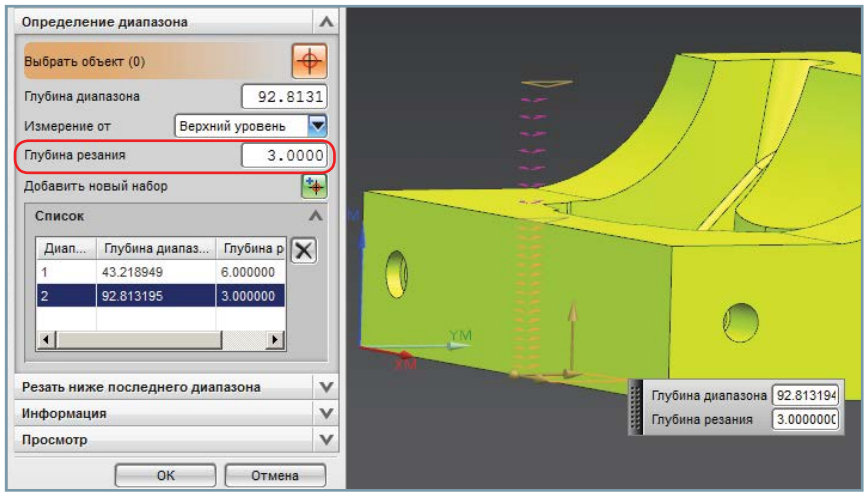


Рис. 2.12. Использование разного шага проходов в разных диапазонах

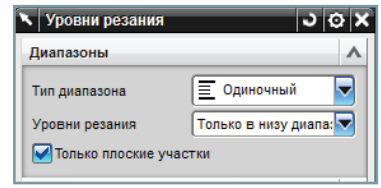


Рис. 2.13. Режим задания уровней резания для выделения плоских участков на детали

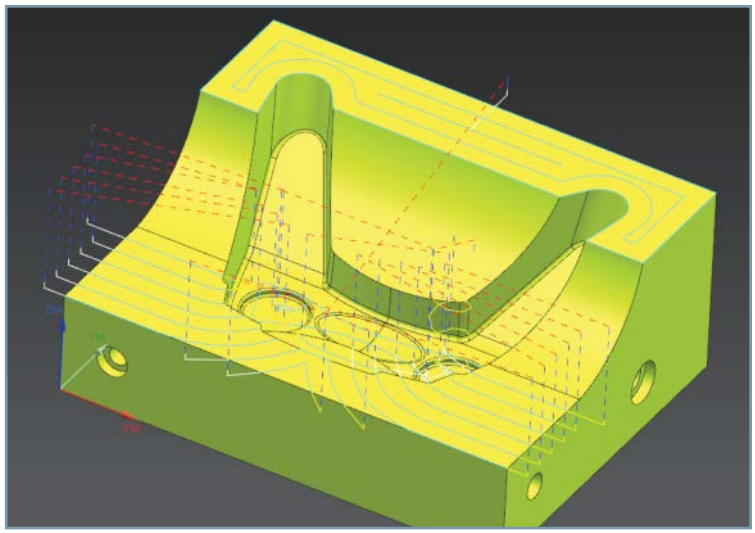


Рис. 2.14. Обработка только плоских участков на детали

И наконец, рассмотрим пример, когда операция Cavity_Mill применена в качестве чистовой при обработке горизонтальных граней модели.

- Из контекстного меню операции выполните **Копировать** и тут же **Вставить**. В навигаторе операций появится вторая операция.
- В новой операции изменим уровни резания. Тип диапазона зададим **Одиночный**, уровни резания – **Только внизу диапазона**, флаг **Только плоские участки** включен (рис. 2.13).
- Нажмите **ОК**.
- В основном диалоговом окне операции измените метод резания на Mill_Finish (этот метод по умолчанию задает припуск 0 мм и обычно используется как чистовой)
- И нажмите **Генерировать**. Операция будет создана (рис. 2.14).

Теперь перейдем к параметрам резания.

- Закройте диалоговое окно операции.
- Продолжим работать с первой операцией.
- Дважды щелкните по ней, чтобы открыть диалоговое окно операции.

Параметры резания

Рабочими движениями или движениями резания являются движения, при которых инструмент контактирует с деталью, в отличие от вспомогательных движений (движений без резания), к которым относим врезание, отвод, переход и некоторые другие типы движений между движениями резания. Движения резания по умолчанию показываются голубым цветом.
Эта группа параметров обозначена на рис. 2.3 цифрой 6. При выборе команды **Параметры резания** открывается новое диалоговое окно (рис. 2.15).
Диалоговое окно имеет несколько вкладок, организованных в привычном стиле Windows. Большинство параметров сопровождается контекстно-зависимыми рисунками, в текущей версии NX эти рисунки стали всплывающими. Чтобы появилась подсказка, надо курсор задержать на названии или значении параметра. Первая вкладка **Стратегия** задает дополнительные параметры шаблона резания. В данном случае задано попутное направление резания, что иллюстрируется соответствующим рисунком. Остальные параметры этой вкладки пока можно не рассматривать.

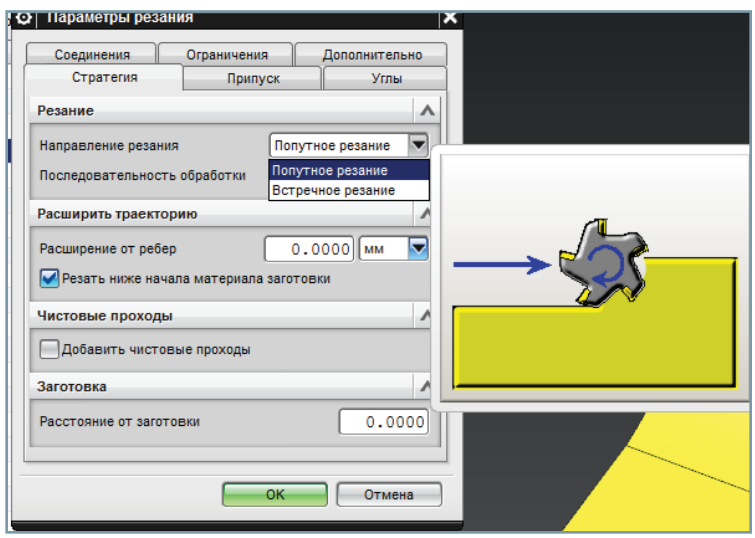


Рис. 2.15. Диалоговое окно Параметры резания – Стратегия

Вкладка **Припуск** очень важна (рис. 2.16). В ней задаются **Допуски и Припуски**. **Допуск** – это точность, с которой выполняется расчет. В NX используются 2 значения допуска: допуск внутрь и наружу. Трактовка этих параметров дана на рис. 2.17. Для криволинейных поверхностей расчет ведется как последовательность прямолинейных движений, отстоящих от кривой на величину допуска, возможно как отклонение в тело модели (Допуск внутрь), так и от модели (Допуск наружу). Чрезмерная точность сильно увеличивает время расчета, размер программ. Поэтому точность обычно определяется технологическими соображениями.
Припуск – это толщина материала, который вы хотите оставить на модели для последующей обработки. В операции Cavity_Mill вы можете задавать различный припуск на дно и на стенки. Имеются еще и другие типы припуска, например контрольный припуск, он будет рассмотрен, когда речь пойдет о контрольной геометрии.

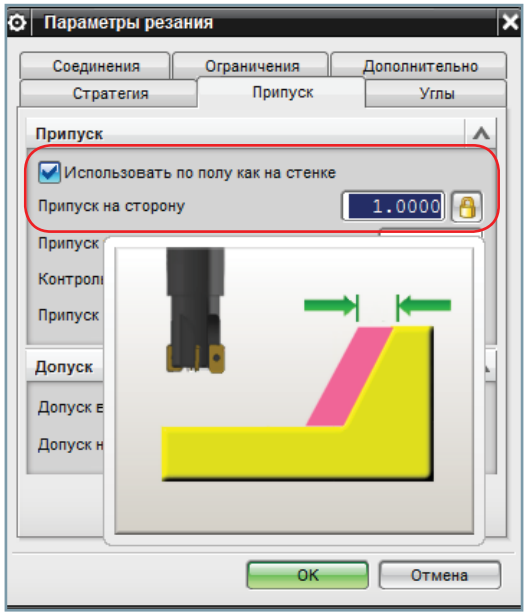


Рис. 2.16. Диалоговое окно Параметры резания – Припуск

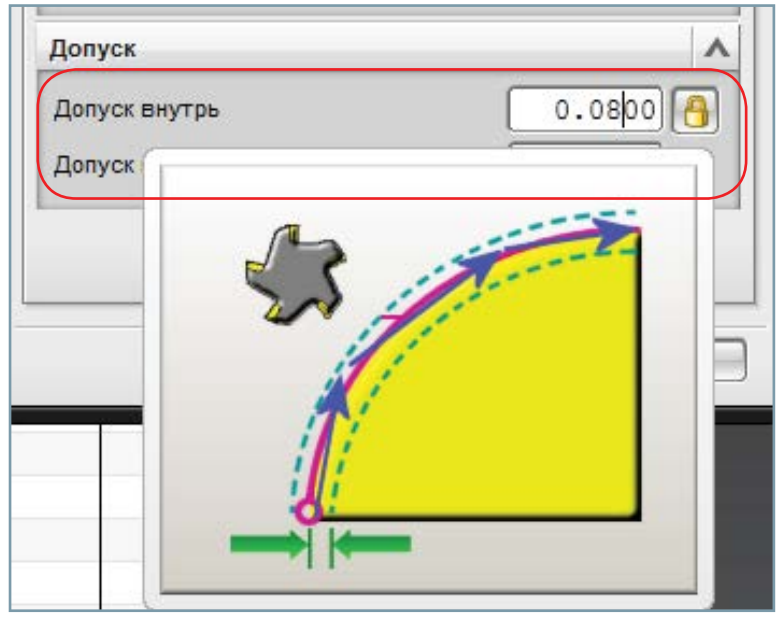


Рис. 2.17. Диалоговое окно Параметры резания – Допуск

Необходимые нам на данном этапе параметры допуска и припуска выделены рамкой. Замкнутый замочек показывает, что значения допуска и припуска наследуются из родительской группы **Метод** (см. главу 1). Преимущества наследования были рассмотрены ранее, в данном случае видно, что значения этих параметров заданы, хотя в явном виде они не были заданы. Однако иногда требуется изменить эти параметры в операции, при этом замочек будет показан открытым, то есть связь наследования будет разорвана.

Вкладка **Углы** (рис. 2.18) содержит параметры, влияющие на поведение инструмента в острых углах траектории. Возможно сглаживание углов, торможение в углах. Для высокоскоростной обработки сглаживание острых углов является одним из главных требований к траектории.

Вкладка **Соединение** содержит настройки для оптимизации переходов между различными областями резания. На нашей модели – одна область резания, и эти настройки не задействованы.

Вкладка **Ограничения** накладывает ограничения на работу инструмента в области резания (рис. 2.19).

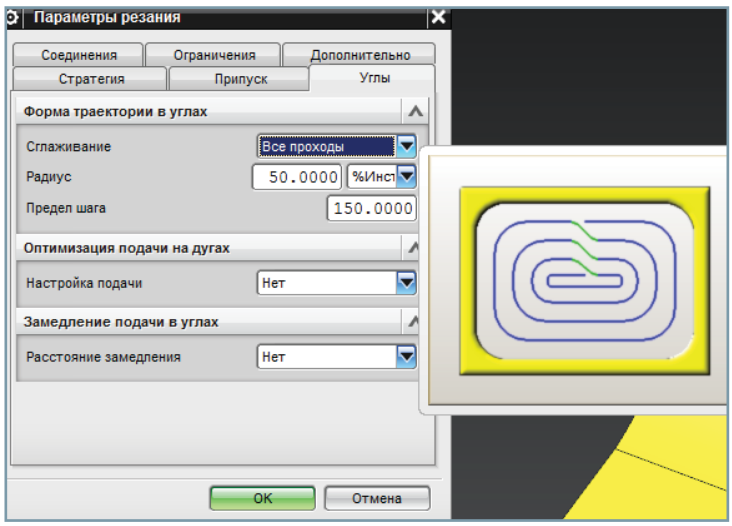


Рис. 2.18. Диалоговое окно Параметры резания – Углы

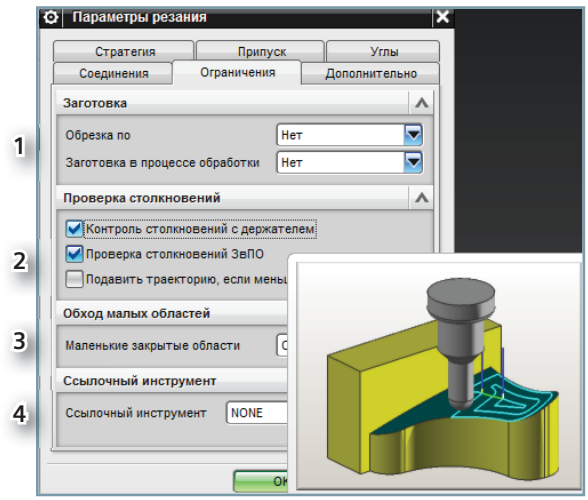


Рис. 2.19. Диалоговое окно Параметры резания – Ограничения

1 – Учет **Заготовки в процессе обработки (ЗвПО)**, то есть инструмент будет учитывать текущее состояние заготовки, при этом минимизируется «резание воздуха». Этот параметр рассмотрим в отдельной главе.

2 – Флаг **Контроль столкновений с Держателем** задает обработку только тех участков модели, которые доступны для инструмента с текущим держателем и заданным вылетом. В NX возможно и наоборот – определить вылет

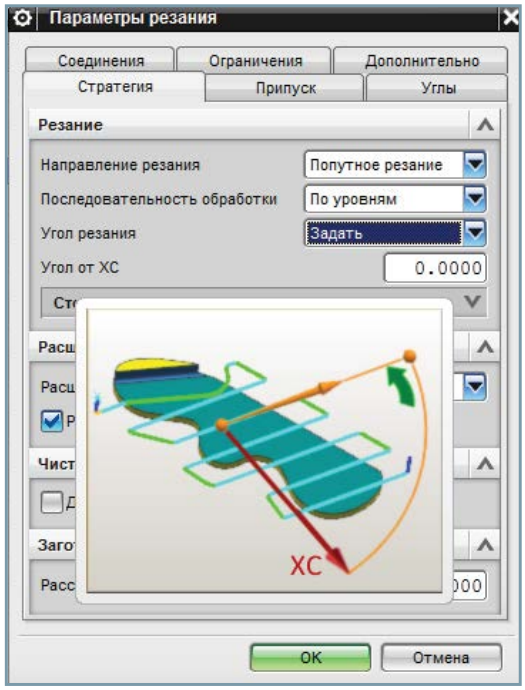


Рис. 2.20. Задание направления движения в шаблоне Зиг

инструмента, чтобы обработать всю заданную область, тогда этот флаг должен быть снят.

3 – **Обход малых областей**. Обычно на черновых операциях используется инструмент относительно большого диаметра. Часто желательно предотвратить погружение инструмента в маленькие закрытые области, если для дальнейшей обработки всё равно будет использоваться инструмент меньшего диаметра. Параметр фактически является фильтром для исключения подобных областей из обработки.

4 – **Ссылочный инструмент**. Это еще один механизм учета предыдущей обработки. Можно учитывать предыдущие операции (1), а можно предыдущий инструмент. Самих операций при этом может не быть. Иногда это полезно и добавляет гибкости.

Доступные параметры резания зависят от **Шаблона резания**.

- Измените шаблон резания на **Зигзаг** и снова откройте параметры резания.

Так как в этом случае проходы располагаются параллельно вдоль заданного направления, появляется возможность задать это направление (рис. 2.20). Задать его можно явно углом от оси X, автоматически (когда проходы будут располагаться вдоль наибольшего измерения области резания) и некоторыми другими способами.

Параметры остальных шаблонов резания оставим для самостоятельного изучения.

Вспомогательные перемещения (Параметры без резания)

Все остальные движения, кроме рабочих, называются вспомогательными. Они должны обеспечивать безопасные или более эффективные перемещения между движениями резания.

Некоторые типы инструментов накладывают ограничения на вспомогательные перемещения. Например, для ряда концевых фрез недопустимо вертикальное врезание в материал, и должно использоваться наклонное врезание или погружение в предварительно засверленное отверстие.

На рис. 2.21 показана траектория и дана расшифровка цветов по умолчанию для разных типов движений. Непосредственно к движениям резания примыкают врезание – желтый цвет (в начале прохода) и отвод – белый цвет (в конце прохода). Движения подход, отход, обход отображаются одним цветом – синим. Ускоренные перемещения показываются красным цветом. Цвета всех типов движений можно переназначить.

Эта группа параметров обозначена на рис. 2.3 цифрой 7.

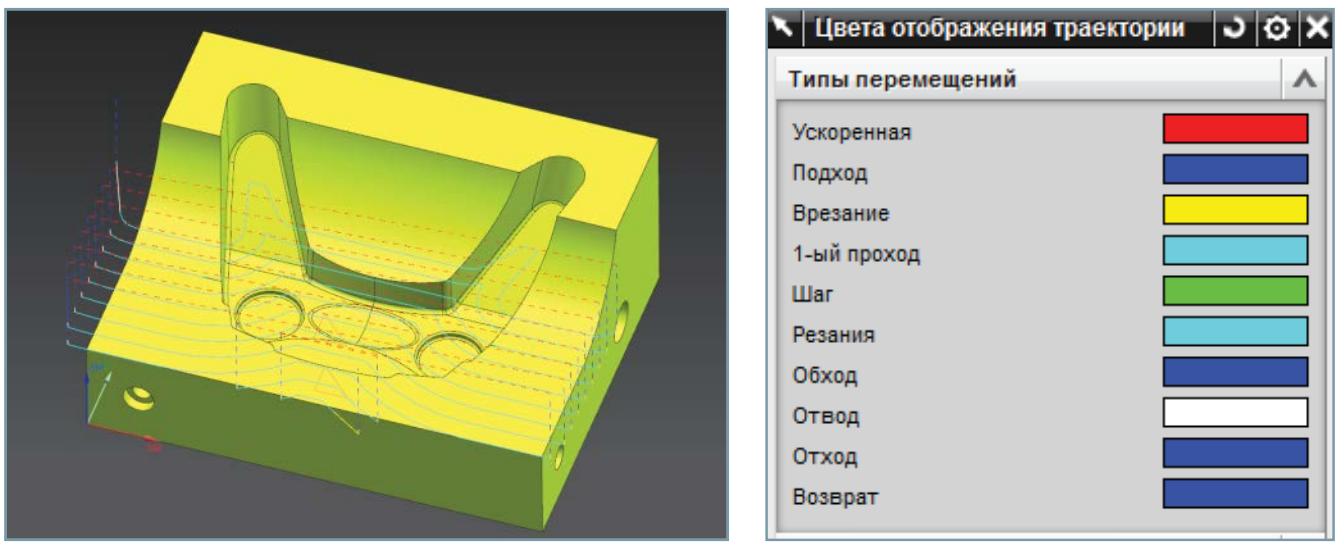


Рис. 2.21. Цветовая маркировка различных типов движения в траектории

- Откройте диалоговое окно операции, в уровнях резания снова оставьте только один уровень для наглядности и перегенерируйте операцию.
- Выполните команду **Вспомогательные перемещения**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 2.22).

Инструмент при врезании в материал испытывает резкое изменение нагрузки, которое может привести к поломке, поэтому очень важно определить правильный тип **Врезания**. Это связано с тем, что конкретные инструменты могут требовать соответствующих типов врезания. В NX различаются закрытые и открытые области резания, соответственно, и тип врезания для этих областей задается по-разному. По умолчанию врезание в закрытую область (1) осуществляется по спирали (большинство инструментов это позволяет, но не все), в открытой области (2) осуществляется линейное врезание сбоку. Обратите внимание, что для первого врезания (3) возможно задать особый тип движения, отличный от остальных.
Рассмотрим наиболее употребляемые типы врезания, кроме винтового и линейного, которые показаны выше (рис. 2.23). Вертикальное погружение (a) часто используется для шпоночных фрез, а также для других инструментов совместно с операцией предварительного засверливания. Врезание по дуге (c) и касательно (b) очень популярно, особенно на чистовых проходах, так как в результате у нас нет острого угла в траектории, поскольку практически не оставляет характерного следа от врезания на детали. В ряде случаев используется и наклонное врезание (d), особенно при подходе к стенке. Отвод часто задается как врезание, однако возможно независимое задание.
Разберем еще **Переходы** и **Ускоренные движения**. Переход – это движение, соединяющее отвод предыдущего рабочего хода и врезание текущего рабочего хода. Не всегда такое движение можно выполнять по прямой, поскольку подобное движение может вызывать столкновение инструмента с обрабатываемой деталью или элементами оснастки. Использование **Высоты безопасности** для задания переходов безопасно, но ведет к увеличению времени обработки за счет необязательных подъемов и опусканий. Поэтому гибкое задание переходов чрезвычайно важно для оптимизации траекторий и позволяет сократить время обработки детали на станке.
Переходы задаются на отдельной вкладке (рис. 2.24). Здесь можно задать другой тип объекта безопасности (**Зазор**), отличный от того, который задан в группе MSC_MILL. Это придает гибкости операциям. В нашем случае используется плоскость безопасности. Различаются переходы между областями резания и внутри одной области резания. Переходы

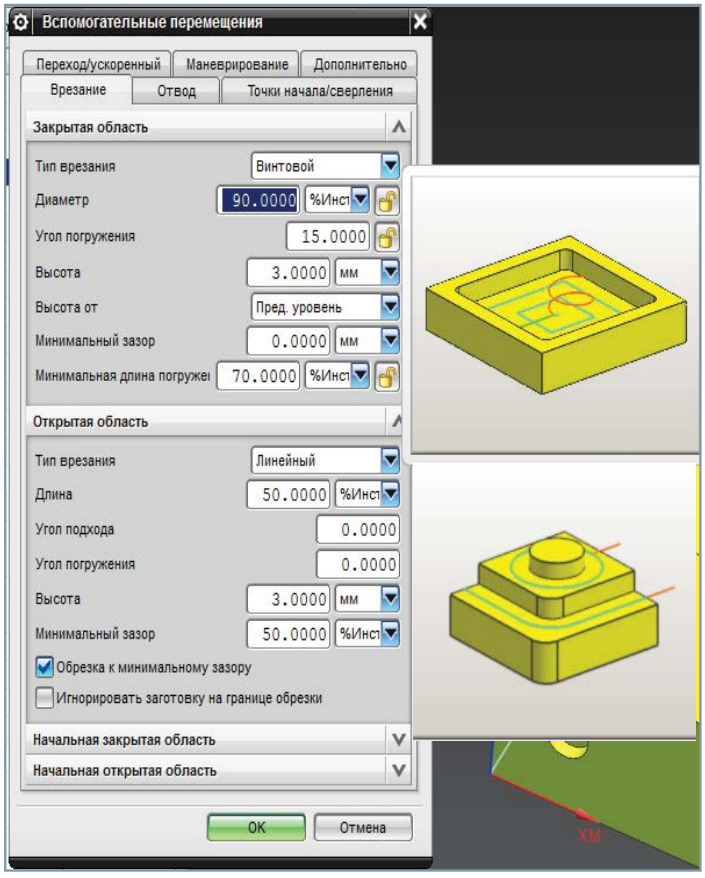


Рис. 2.22. Диалоговое окно Вспомогательные перемещения – Врезание

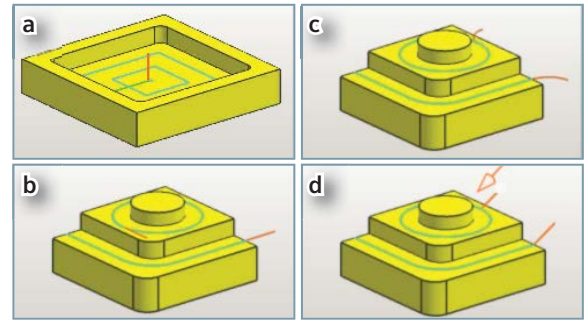


Рис. 2.23. Наиболее употребляемые типы врезания:
a) погружение (вертикально); b) по прямой относительно
реза (касательно); c) по дуге; d) линейный вдоль вектора

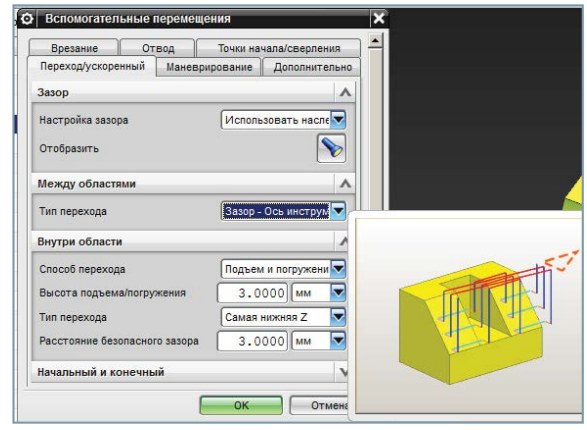


Рис. 2.24. Диалоговое окно Вспомогательные перемещения – Переход/Ускоренный

между областями чаще всего выполняются на плоскости безопасности, чтобы избежать столкновений с деталью и оснасткой. Переходы внутри области по умолчанию также заданы на высоте безопасности (на всякий случай), редактирование этого параметра позволяет существенно уменьшить длину холостых движений.

- Поэкспериментируйте с различными типами вспомогательных перемещений на нашей операции. Используйте переходы **Внутри области**, заданные как на рис. 2.25.

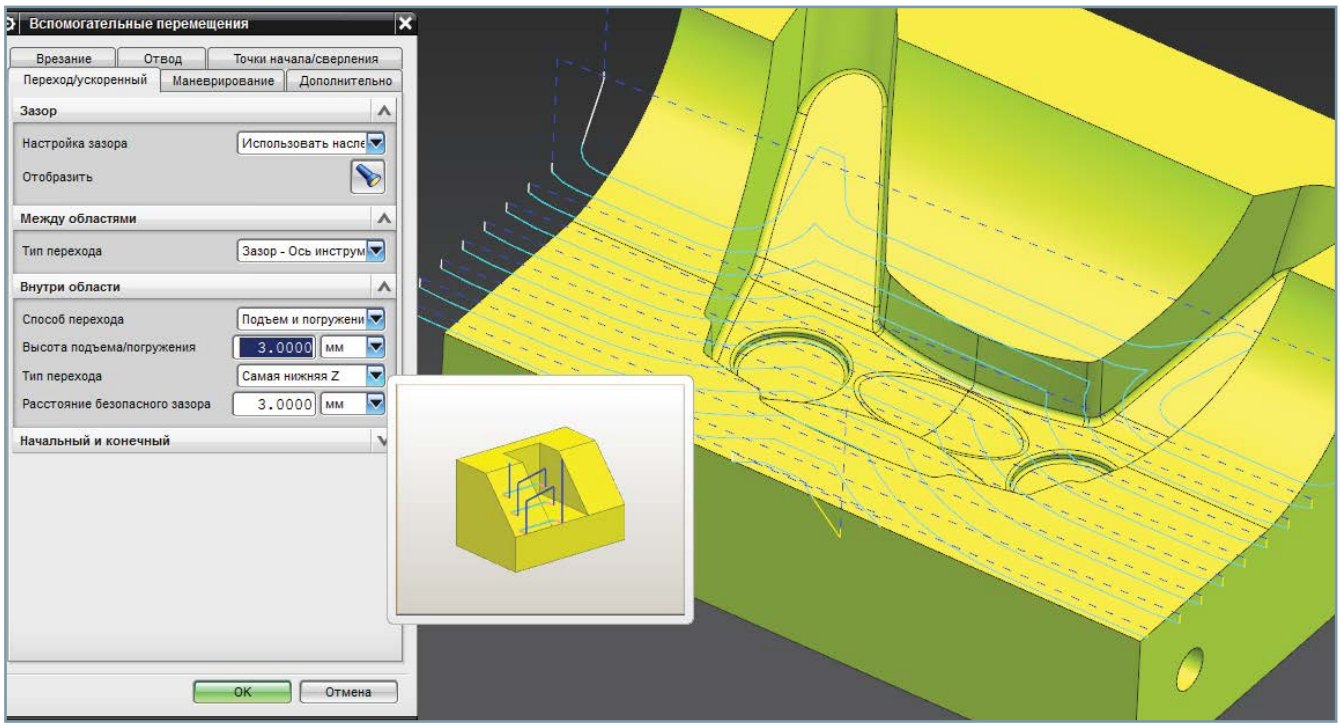


Рис. 2.25. Установка параметров Переход/Ускоренный

Скорости и подачи

В операциях фрезерования должны быть заданы частота вращения шпинделя и подача. Причем по умолчанию подача задана некоторым ненулевым значением, а частота шпинделя равна 0. Не забывайте задавать частоту вращения шпинделя.
Эта группа параметров обозначена на рис. 2.3 цифрой 8.
Некоторые параметры диалогового окна связаны между собой формулами. Например, можно задать скорость резания, при этом частота вращения будет рассчитана автоматически. То же касается подачи на зуб и минутной подачи.
Для разного типа движений можно задавать свою подачу (рис. 2.26). Обычно можно задавать ее в процентах от рабочей подачи.
Имеется возможность автоматического выбора режимов обработки. Эта возможность будет рассмотрена в главе 8.

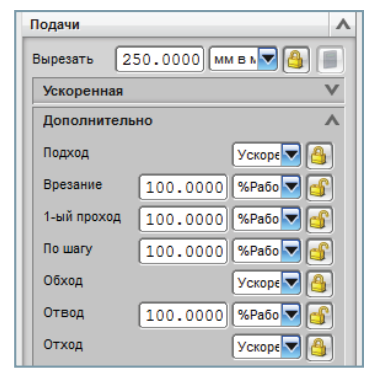


Рис. 2.26. Диалоговое окно Подачи

Глава 3

Проверка траектории инструмента

Содержание главы

- Верификация (проверка) операций
- Операция CAVITY_MILL – доработка
- Верификация операций – продолжение

Проверка траектории инструмента

В этой главе рассмотрим возможности верификации траекторий инструмента. Попутно разберем дополнительные возможности операции CAVITY_MILL.

Верификация (проверка) операций

Верификацией называем проверку операций, которая выполняется без учета конкретного станка и выполняется на основе траектории. Это быстрый и наглядный способ проверки операций. Он позволяет выявить ошибки в порядке следования программ, типе инструмента, врезании в материал на ускоренной подаче, большом припуске на обработку в конкретной операции и т. д. В простых случаях позволяет обойтись без симуляции работы станка в целом, в сложных случаях может считаться предварительной проверкой для выявления грубых ошибок и помогает принятию правильных решений на стадии расчета операций.
Для проверки операций на станке будем использовать термин «симуляция работы станка». Этому будет посвящена глава 15.

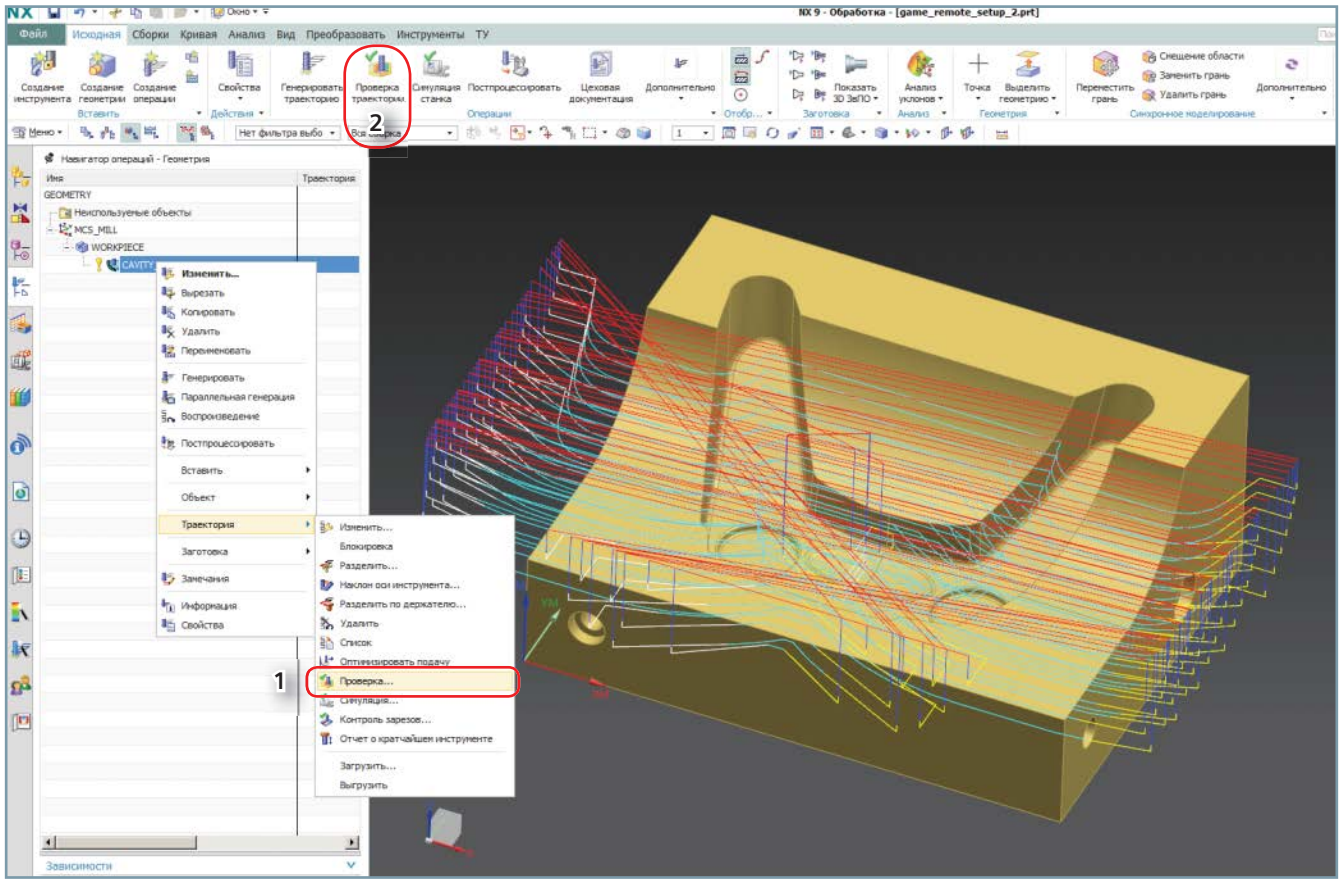


Рис. 3.1. Расположение команды верификации (проверки) в интерфейсе

Будем работать с уже знакомой нам деталью.

- Откройте пример game_remote_setup_2.prt. В нем уже создана одна операция типа CAVITY_MILL, которая использует концевую фрезу диаметром 40 мм.
- Выполним верификацию операции.

Для отдельной операции можно запускать верификацию из диалогового окна операции. При изучении влияния предыдущих операций (учет ЗвПО) верификацию будем запускать из **Навигатора операций** (1) или из ленточной панели (2).

- Из контекстного меню операции выполните **Траектория** – **Проверка** (рис. 3.1). Появится новое диалоговое окно (рис. 3.2).

В верхней части окна имеется поле, которое отображает тип движения и координаты во внутреннем представлении траектории (1). После постпроцессирования каждая строка этого окна превратится в кадр управляющей программы. Средняя часть диалогового окна содержит три вкладки: **Воспроизвести** (2), **3D динамика** (3) и **2D динамика** (4). Остальные параметры средней части зависят от активной вкладки. В нижней части имеется регулятор скорости анимации (воспроизведения) (5) и команды управления анимацией (6), которые очень похожи на кнопки музыкального плеера. Выделим команды **Пуск** (7), **Стоп** (8), **Вперед пошагово** (9), **Назад пошагово** (10).
Для вкладки **Воспроизвести** доступны параметры отображения инструмента (11), где наиболее интересные значения параметра – это **Тело**, **Точка**, **Ось**. А также параметры **Отображение перемещений** (12), где можно указать, будет ли траектория отрисовываться полностью, по уровням или по заданному количеству перемещений. Отрисовка по уровням как раз очень актуальна для операции CAVITY_MILL.

- Установите скорость анимации 2. Переключите параметр **Отобразить** в значение **Текущий уровень** и выполните команду **Пуск**.

Траектория отрисовывается по уровням, при отрисовке следующего уровня предыдущий уровень скрывается. Можно многократно использовать команды **Пуск**, **Стоп**, **Пошагово**. В момент остановки можно просто мышью позиционировать инструмент в любую точку траектории и продолжить с этой позиции. Фрагмент такой работы показан на рис. 3.3.

- Используйте команды **Стоп**, **Пуск**. Чтобы закончить анимацию, нажмите на **ОК**.

Вкладки **3D динамика** и **2D динамика** отображают текущий съем материала. Нам для дальнейшего изложения необходимо иметь в проекте хотя бы две операции.

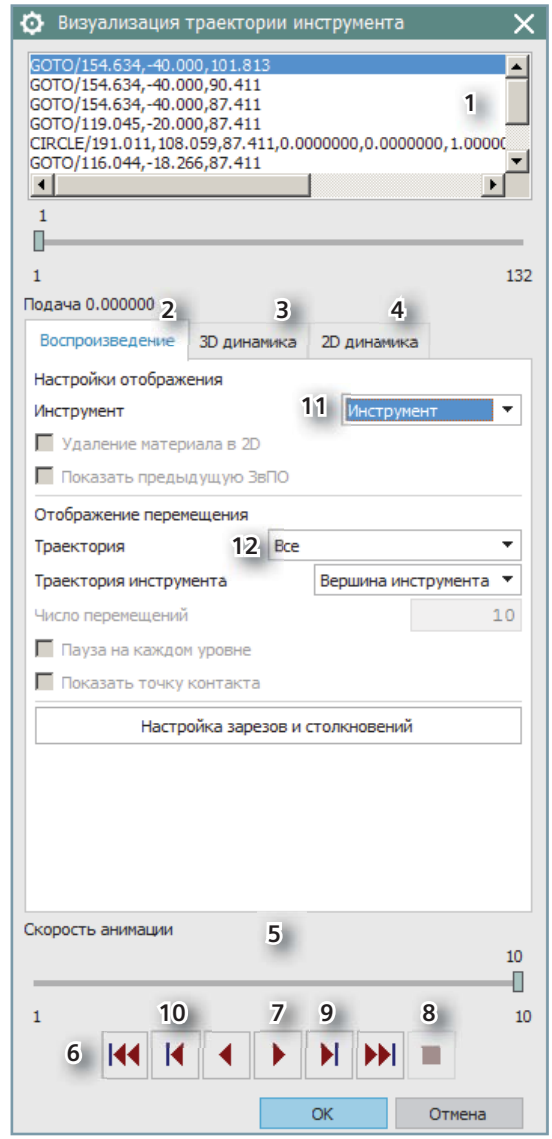


Рис. 3.2. Диалоговое окно верификации

Операция CAVITY_MILL – доработка

Доработка (REST MILLING) – это операция, которая снимает материал, оставшийся после предыдущей операции. Для поиска необработанных участков такая операция использует текущее состояние заготовки (ЗвПО – заготовка в процессе обработки). Заготовкой для текущей операции является ее состояние на выходе предыдущей операции. В операции CAVITY_MILL режим доработки включается специальным параметром.

- Продолжим работу с нашим примером и создадим операцию доработки детали инструментом диаметром 20 мм. Инструмент в проекте уже создан.

Можно использовать универсальную операцию CAVITY_MILL (1) или ее вариант с включенным параметром доработки REST MILLING (2). Алгоритмы доработки включаются, только если предыдущая и текущая операции используют одну и ту же геометрическую группу (3), где задана заготовка, в данном случае WORKPIECE (рис. 3.4).
Режим доработки включается в **Параметрах резания**, вкладка **Ограничения**, параметр **Заготовка в процессе обработки**. Он может принимать 3 значения: **Нет** (не использовать), **Использовать 3D** и **Использовать по уровням** (рис. 3.5).
То есть имеются 2 алгоритма расчета ЗвПО. Значение **Использовать по уровням** обеспечивает более быстрый расчет и меньшую фрагментацию траектории, но имеет ограничения: все операции, участвующие в доработке, должны быть

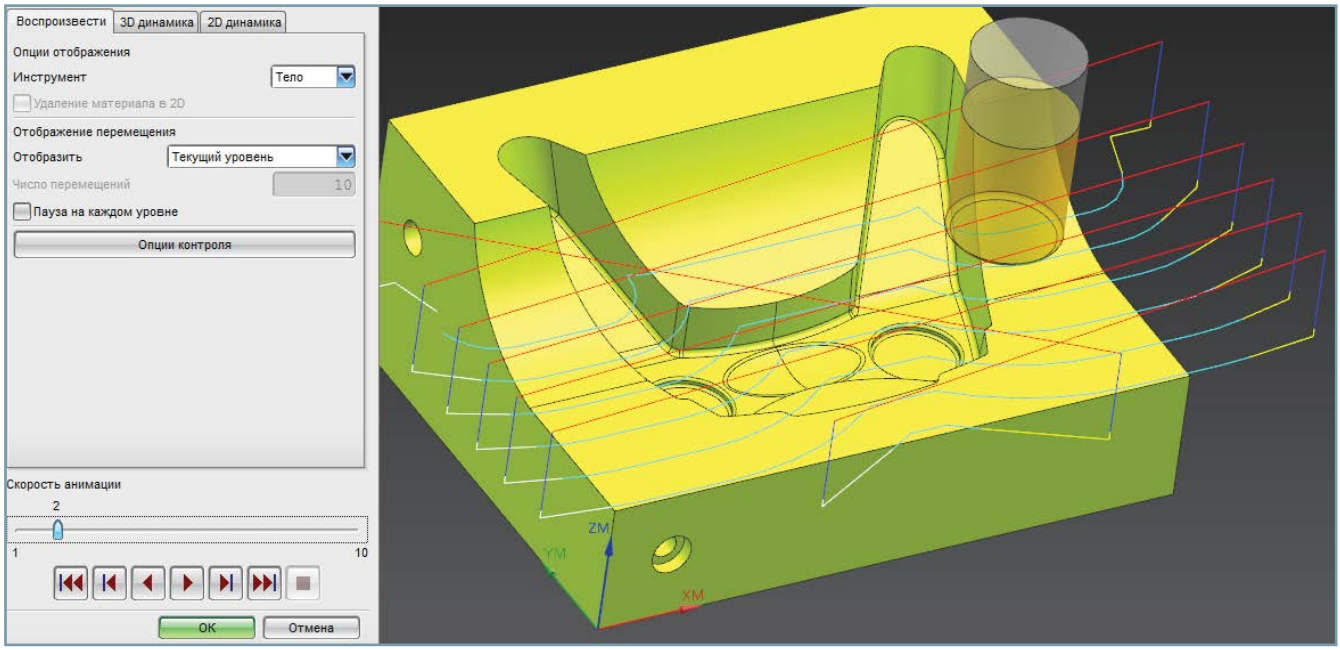


Рис. 3.3. Позиционирование инструмента на траектории при верификации

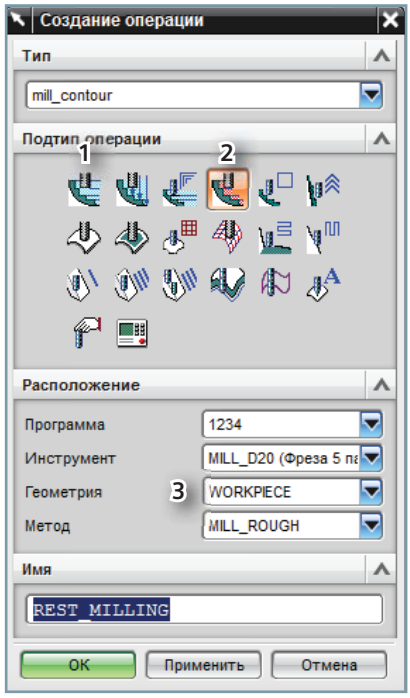


Рис. 3.4. Варианты операции CAVITY_MILL для доработки остаточного материала

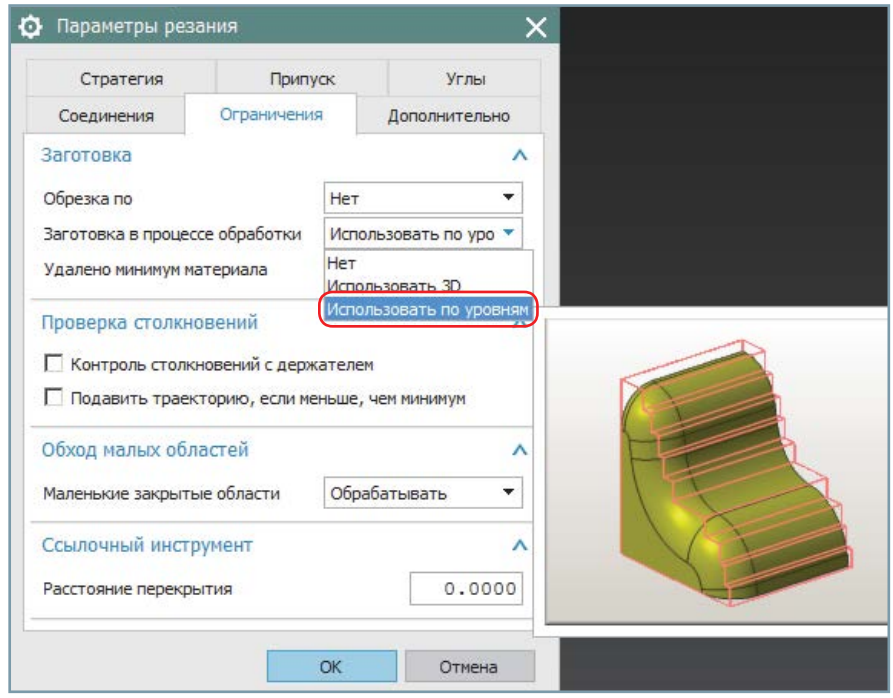


Рис. 3.5. Параметр Заготовка в процессе обработки в диалоговом окне Параметры резания

типа CAVITY_MILL, и ось инструмента в этих операциях не должна меняться. В основе этого алгоритма лежат контуры в заданных уровнях. Операция **Использовать 3D** лишена этих ограничений, но более ресурсоемка, так как создает фасетное представление заготовки. Фасетное представление можно сохранить во внешний файл.

- Создайте операцию REST MILLING, в ней по умолчанию используется ЗвПО по уровням.
- Сгенерируйте операцию и нажмите **ОК** для сохранения операции в навигаторе операций.

Верификация операций – продолжение

2D динамика – исторически более ранний вид верификации. Она выполняется быстрее, чем **3D динамика**, показывает разным цветом материал, снятый разными операциями, но не позволяет вращать модель в графической области. NX 9.0 и в 3D окрашивает разным цветом материал, снятый разными операциями (режим 2D может исчезнуть в следующих версиях). **3D динамика** – более современный алгоритм, который поддерживает вращение и масштабирование заготовки в процессе проверки.

- Выполните проверку двух операций.
- В **Навигаторе операций** – **Вид программ** выберите группу **1234** и выполните **Проверку**.
- Задайте режим **3D динамика**, установите скорость 4 и нажмите **Пуск**.
- Результат показан на рис. 3.6. Материал, снятый 1-й операцией, показан синим, 2-й операцией – зеленым. Обратите внимание, что текущая операция при верификации показана красным в навигаторе операций.

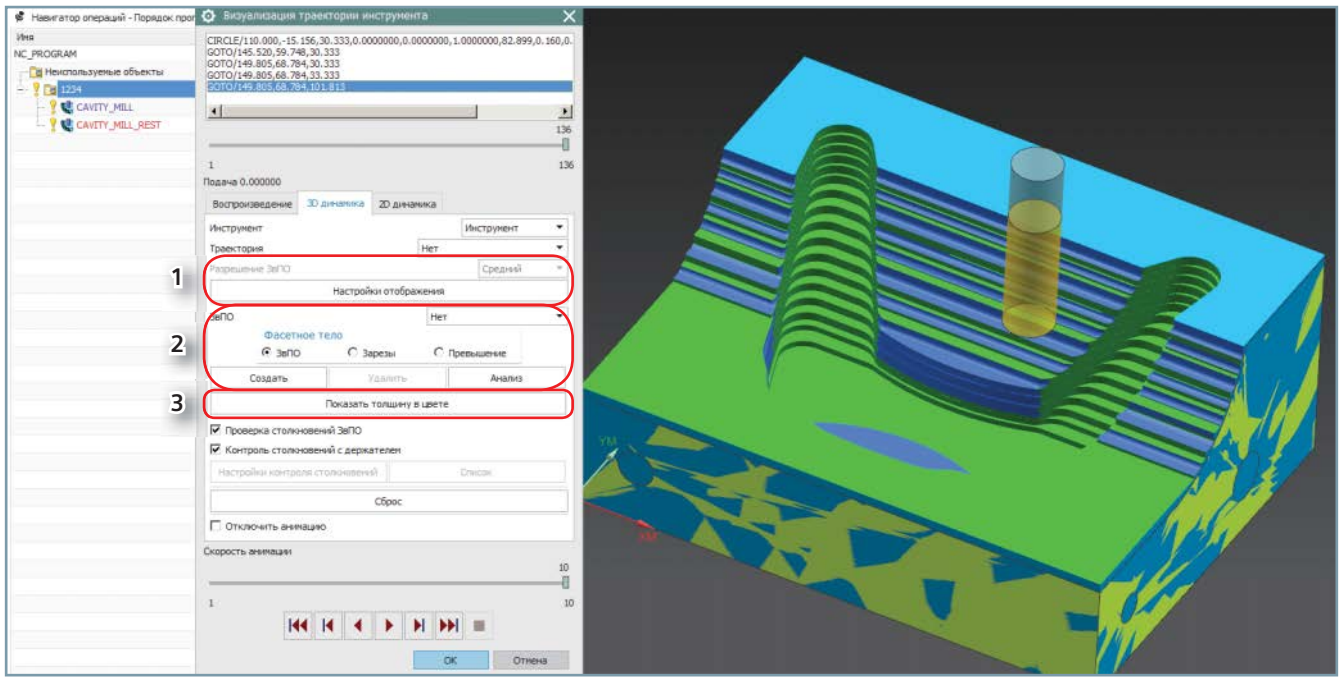


Рис. 3.6. Верификация операций в режиме 3D динамика

По окончании проверки доступны дополнительные возможности. Поэтому рассмотрим диалоговое окно подробнее. Параметры **Инструмент** и **Отобразить** управляют отображением траектории и аналогичны вкладке **Воспроизвести**. Блок параметров **Разрешение ЗвПО** (1) задает качество визуализации, цвет, прозрачность. Не стоит увлекаться слишком высоким качеством, это скажется на производительности проверки. Блок параметров **ЗвПО** и **Фасетное тело** (2) позволяет сохранить результат визуализации как фасетное тело. Его можно сохранить прямо в файле детали или сохранить в отдельный файл, как компонент сборки. Параметры этого блока изначально неактивны, они становятся активными после окончания визуализации. Команда **Показать толщину в цвете** (3) активна сразу. При использовании этой функции толщина остаточного материала на ЗвПО показывается разным цветом в зависимости от ее величины (рис. 3.7). При этом возможно определить величину остаточного материала непосредственно в указанной точке.

- Выполните команду **Показать толщину в цвете**.
- При открытом диалоговом окне **Толщина по цвету** укажите точку на ЗвПО. Измерение толщины осуществляется с привязкой к фасетной модели, измерение осуществляется по кратчайшему расстоянию к детали.

Эта функция может быть вызвана из контекстного меню выбранной операции (рис. 3.8), что позволяет визуализировать ЗвПО в цвете после конкретной операции.

- Нажмите **ОК** в диалоговом окне **Толщина по цвету**.
- Диалоговое окно визуализации снова появится на экране.

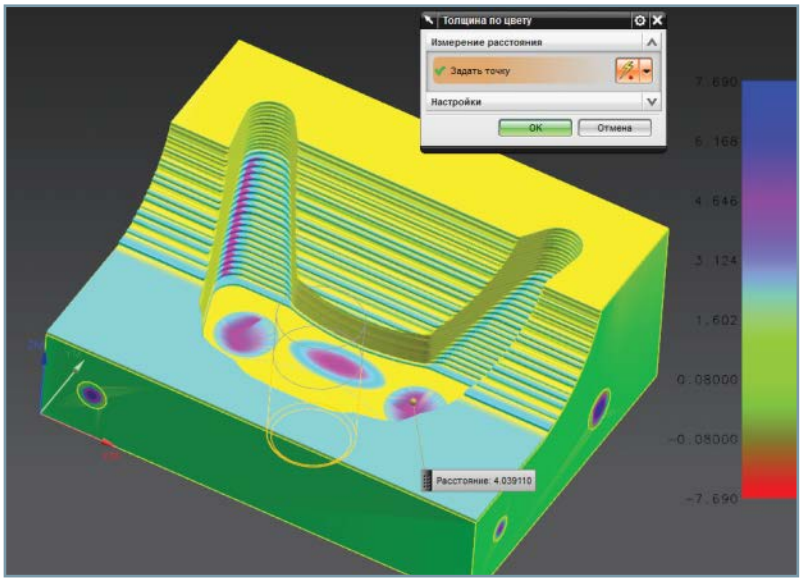


Рис. 3.7. Результат команды Показать толщину в цвете

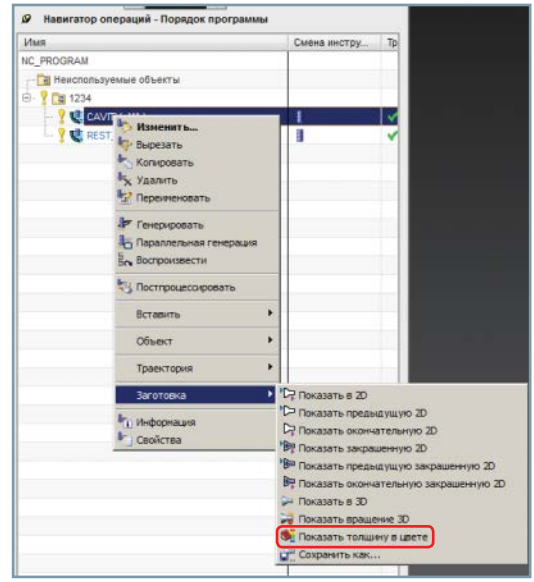


Рис. 3.8. Вызов команды Показать толщину в цвете из контекстного меню операции

- В блоке параметров **Фасетное тело** выполните команду **Создать**.
- Закройте диалоговое окно визуализации, нажав **ОК**.
- ЗвПО останется на экране как фасетное тело. В этом можно убедиться, если навести курсор на него (надпись в строке состояния указывает тип выбранного объекта – рис. 3.9).
- Удалите фасетное тело перед сохранением. Сохраните модель, продолжим работать с ней позже.

Примечание. Фасетное тело может быть сохранено в отдельный файл и использоваться далее для задания заготовки в других операциях.

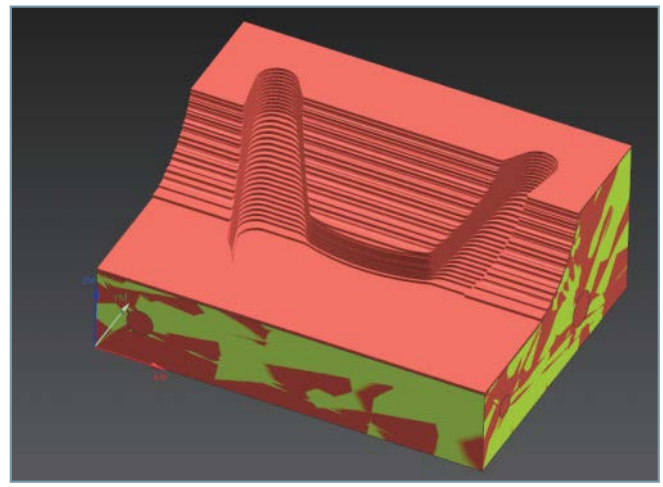


Рис. 3.9. Заготовка как фасетное тело

Глава 4

2.5-осевое фрезерование – обработка плоских граней

Содержание главы

- Операция обработки пола и стенок (FLOOR_WALL)
  - Контрольная геометрия
- Операция обработки дна и стенок с учетом ЗвПО (FLOOR_WALL_IPW)
- Другие параметры операций FLOOR_WALL
- Операция обработки граней на основе границ (FACE_MILL)
- Подход к контуру
- Обработка поднутрений
- Обработка наклонных граней
- Операция SOLID_PROFILE_3D

2.5-осевое фрезерование – обработка плоских граней

Этот тип операций широко используется на призматических деталях для обработки плоских граней модели. Инструмент в данной операции всегда располагается перпендикулярно грани. Чаще эти операции являются чистовыми.

- Откройте пример facing_setup1.prt (рис. 4.1). В нем уже сделана инициализация, создан инструмент и определены деталь и заготовка.

Эта деталь является призматической и может быть полностью обработана с использованием только одного типа операций FLOOR_WALL. Попутно научимся работать с геометрическими объектами, которые не требуется обрабатывать (в данном случае это прихваты).

- Откройте навигатор сборки.
- Проект создан с использованием принципа мастер-модели. Конструкторская модель сохранена как компонент facing, прихваты – fix1 и fix2, головная сборка является сборкой для обработки и не содержит геометрии.
- Выключите отображение прихватов (рис. 4.2).

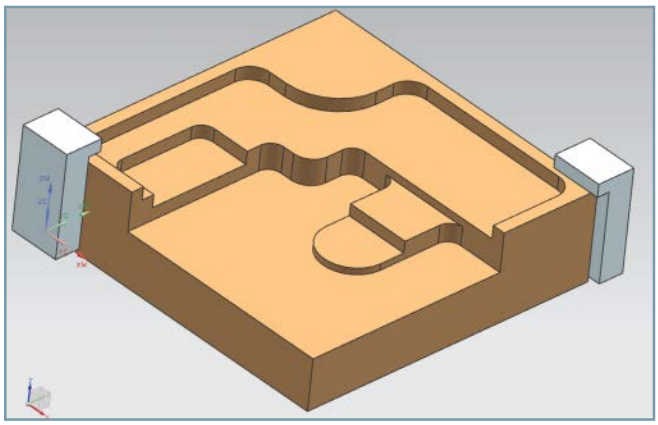


Рис. 4.1. Пример детали, которую можно полностью обработать с использованием только одного типа операций FLOOR_WALL

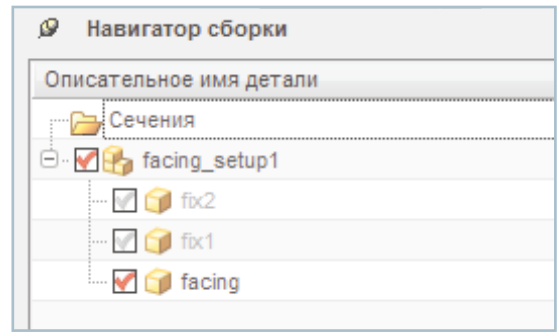


Рис. 4.2. Управление отображением компонентов (в данном случае, прихватов)

Команды операций обработки плоских граней находятся в группе mill_planar (рис. 4.3):
1 – FLOOR_WALL – обработка Пола и стенок (операция заменила FACE_MILLING_AREA, используемую в предыдущих версиях);
2 – FLOOR_WALL_IPW – обработка Пола и стенок с учетом ЗвПО (заготовки в процессе обработки). Обычно используется как черновая операция;

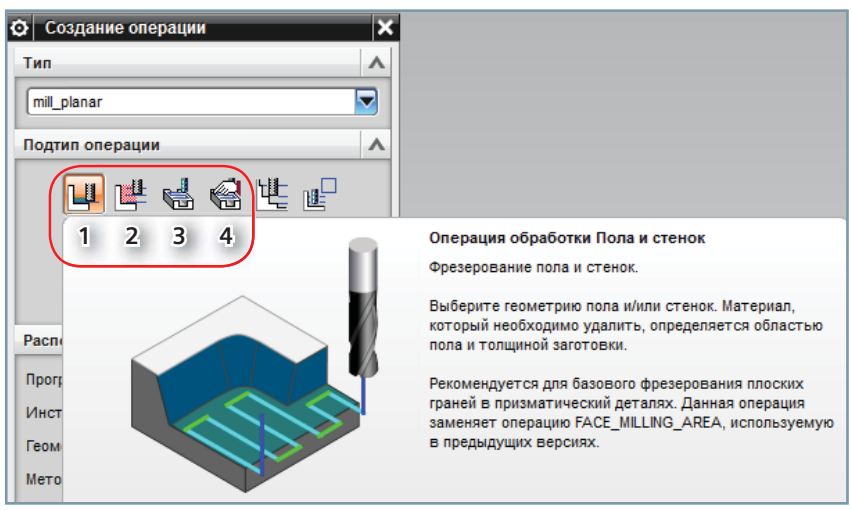


Рис. 4.3. Операции обработки плоских граней

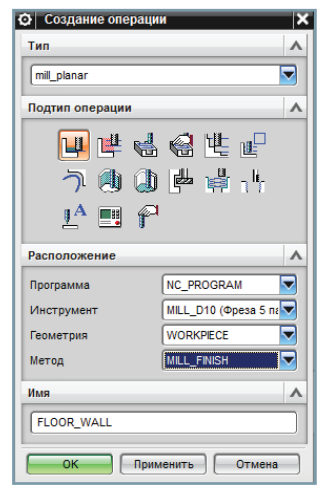


Рис. 4.4. Назначение родительских объектов в операции (пример)

3 – FACE_MILLING – обработка граней, заданных с использованием границ;
4 – FACE_MILLING_MANUAL – обработка граней с возможностью задания различных шаблонов резания для различных граней (включая ручной шаблон резания).
Команды операций при наведении курсора теперь сопровождаются всплывающими описаниями, описание для первой команды показано на рисунке.

Операция обработки пола и стенок (FLOOR_WALL)

Создадим операцию FLOOR_WALL.

- Выполните команду создания операции FLOOR_WALL. Задайте **Расположение** операции, как показано на рис. 4.4, и нажмите **ОК**.

Появится диалоговое окно задания операции (рис. 4.5). В целом она очень похожа на операцию, которая изучалась ранее, но имеются отличия.
Напомним, что группа параметров **Геометрия** задает различные объекты геометрии, с которыми работает операция. Обратите внимание, что не указана геометрическая группа, задающая заготовку. Обычно это признак того, что данный тип операций не учитывает заготовку. Деталь задана в родительской группе, о чем свидетельствует фонарик около команды задания детали (1). Новыми объектами являются команды **Задать нижнюю плоскость области** (2) и **Задать геометрию стенок** (3). В этой операции надо обязательно задавать либо нижнюю плоскость, либо стенки.

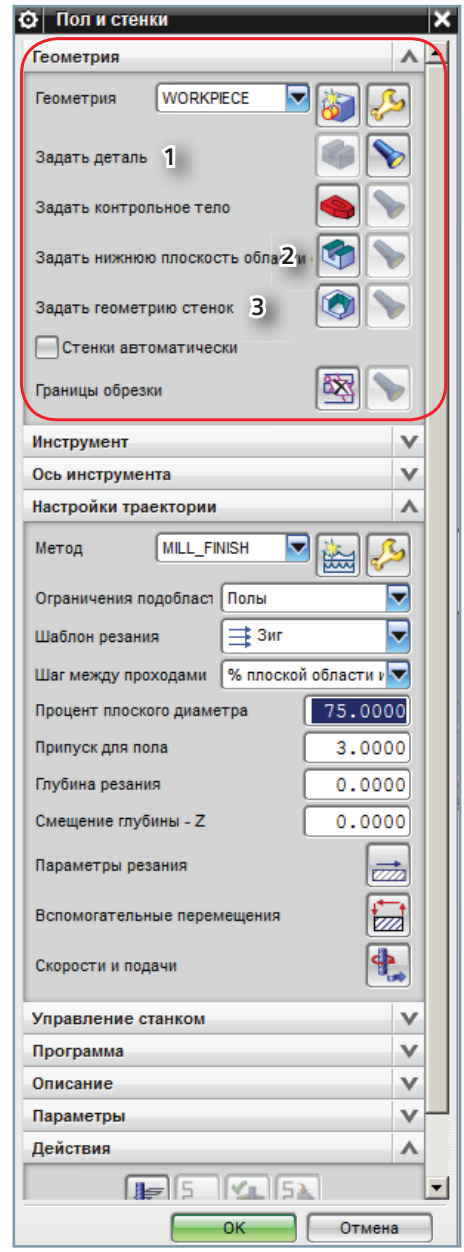


Рис. 4.5. Диалоговое окно операции FLOOR_WALL

- Нажмите на команду задания нижней плоскости области резания (2) и укажите грань, как на рис. 4.6.

Обратите внимание, что в диалоговом окне задания области резания, которое появилось на экране, в поле **Выбрать объект** в скобках появилась цифра 1, это признак того, что выбрана 1 грань.

- Нажмите **ОК**,
- после чего в основном диалоговом окне нажмите **Генерировать**. Траектория будет создана.
- Измените шаблон резания на **Вдоль детали** и снова нажмите **Генерировать**.
- Результат показан на рис. 4.7.

Если черновая обработка выполнена ранее (например, операцией CAVITY_MILL), то результат нас устроит. Если черновой операции не было, то проходы полезно расширить до габаритов детали. Такой параметр имеется в **Параметрах резания** – **Ограничения – Растянуть дно до контура детали** (рис. 4.8). В этой операции включен режим предварительного просмотра области резания, при включении этого параметра можно видеть, что область обработки расширена.

- Включите этот параметр и нажмите **ОК** и **Генерировать**. Результат показан на этом же рисунке.

Если же ступенька слишком высокая, то можно задать многопроходность в операции. Для этого в основном диалоговом окне операции 2 задаются два параметра, которые относятся к шаблону резания: **Припуск для пола** и **Глубина резания** (рис. 4.9).

- Задайте значения 6 и 3 мм сответственно, в результате будут созданы 2 прохода.
- Сгенерируйте операцию.
- Результат показан на том же рисунке.
- Измените параметры операции так, чтобы снова получить результат как на рис. 4.7.

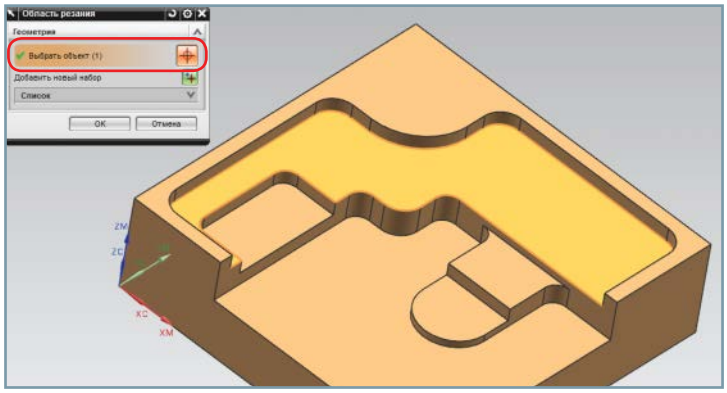


Рис. 4.6. Указанная грань при указании подсвечивается

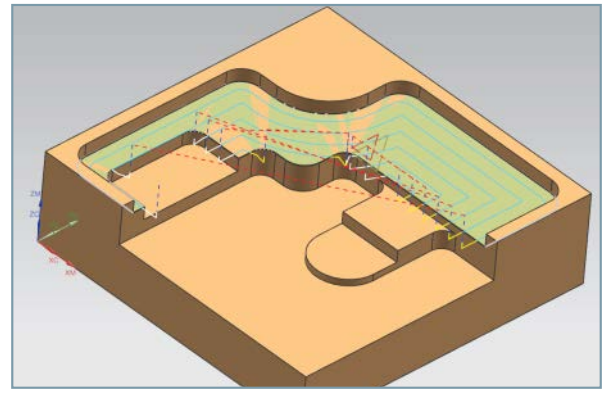


Рис. 4.7. Операция обработки указанной грани

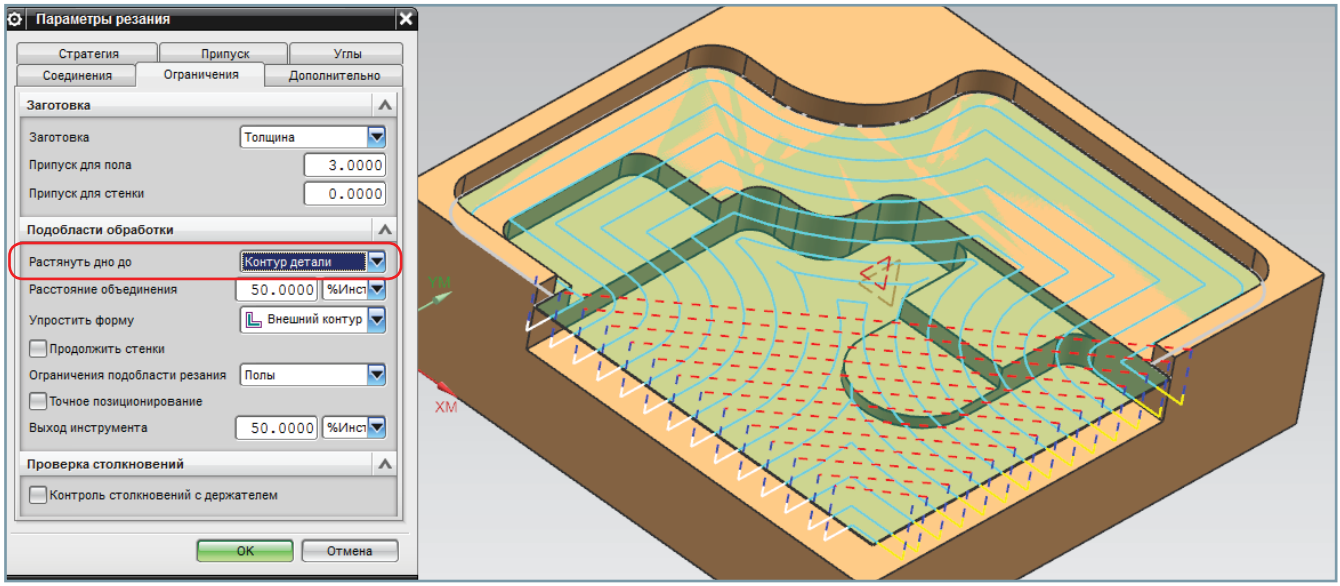


Рис. 4.8. Операция обработки указанной грани (с параметром расширения до контура)

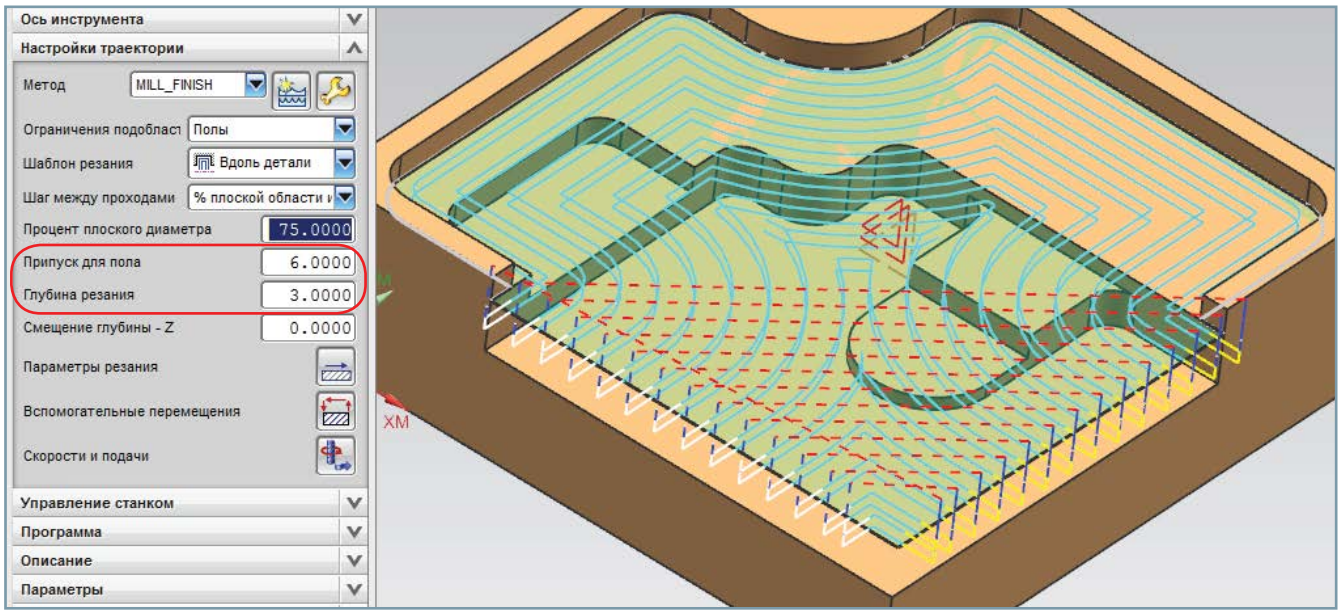


Рис. 4.9. Многопроходный вариант операции обработки указанной грани

Новую операцию очень удобно создавать на основе существующей.

- Из контекстного меню операции FLOOR_WALL выполните **Копировать**.
- И, удерживая курсор на этой же операции, выполните **Вставить**.
- В копии задайте шаблон резания **Профиль** и перегенерируйте операцию.

Рассмотрим влияние геометрической группы **Геометрия стенок**. Если боковые грани указать в геометрии стенок, для них будет использоваться параметр **Припуск на стенках**. Для стенок, которые не заданы на соответствующей геометрии, система использует параметр **Припуск на детали**. Кроме того, задание геометрии стенок позволяет обойти по профилю выбранные грани, исключив из обработки остальные.

- Зайдите в **Параметры резания**
- На вкладке **Припуск** задайте **Припуск на стенках** 2 мм (рис. 4.10),
- **Припуск по нижней поверхности** (дну) оставьте равным 0.
- Нажмите **ОК**.

Чтобы этот припуск учесть в операции, необходимо задать геометрию стенок, которые примыкают к выбранной грани. Самый простой способ – сделать это автоматически.

- Установите флажок **Стенки автоматически** в верхней части диалогового окна (рис. 4.11).
- Обратите внимание, что фонарик рядом с группой **Задать геометрию стенок** активен, хотя сама команда задания геометрии неактивна. Это и есть признак, что стенки определены автоматически. При нажатии на фонарик стенки подсвечиваются.
- Перегенерируйте операцию.
- Траектория инструмента изменилась, и на стенке останется припуск 2 мм.

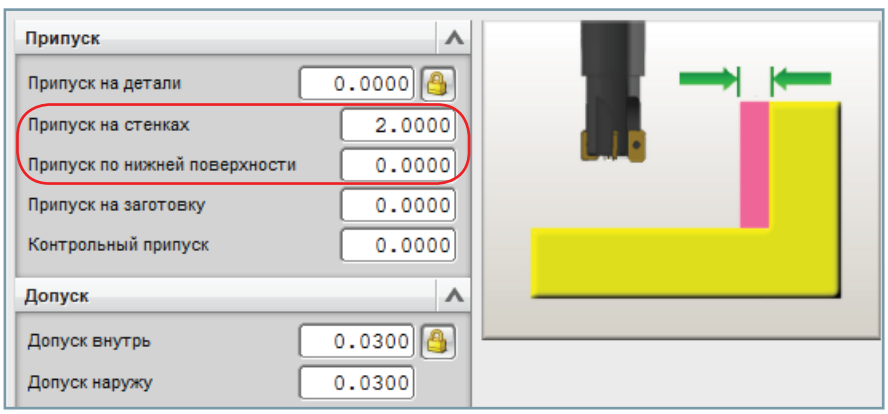


Рис. 4.10. Возможно использовать разный припуск на дне и на стенках

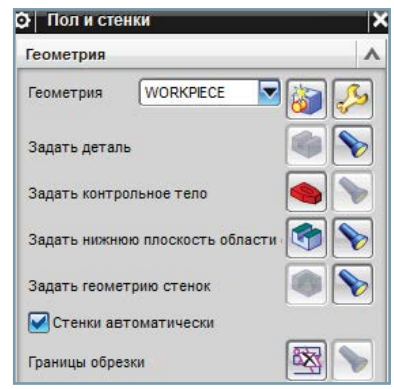


Рис. 4.11. Флаг выбора стенок автоматически (если пол выбран)

Примечание. Для задания разного припуска на дне и на стенках задавайте геометрию стенок.

- Теперь снимите флажок **Стенки автоматически**
- и выполните команду **Задать геометрию стенок**.
- Появится диалоговое окно для задания геометрии стенок (рис. 4.12).

Можно задавать стенки вручную, а можно воспользоваться командой **Предварительный выбор** (1). Будут выбраны 11 граней, которые соответствуют автоматическому выбору стенок. Отличие от автоматического выбора стенок состоит в том, что в этом режиме можно добавить или удалить некоторые грани в список выбора.

- Выберите команду **Предварительный выбор** (1),
- переключитесь в список 1 (2) и отмените выбор одной грани (рис. 4.12), указав ее с нажатой клавишей **Shift** (по умолчанию предлагалось добавить новый список).
- Нажмите **ОК**.
- Сгенерируйте операцию.

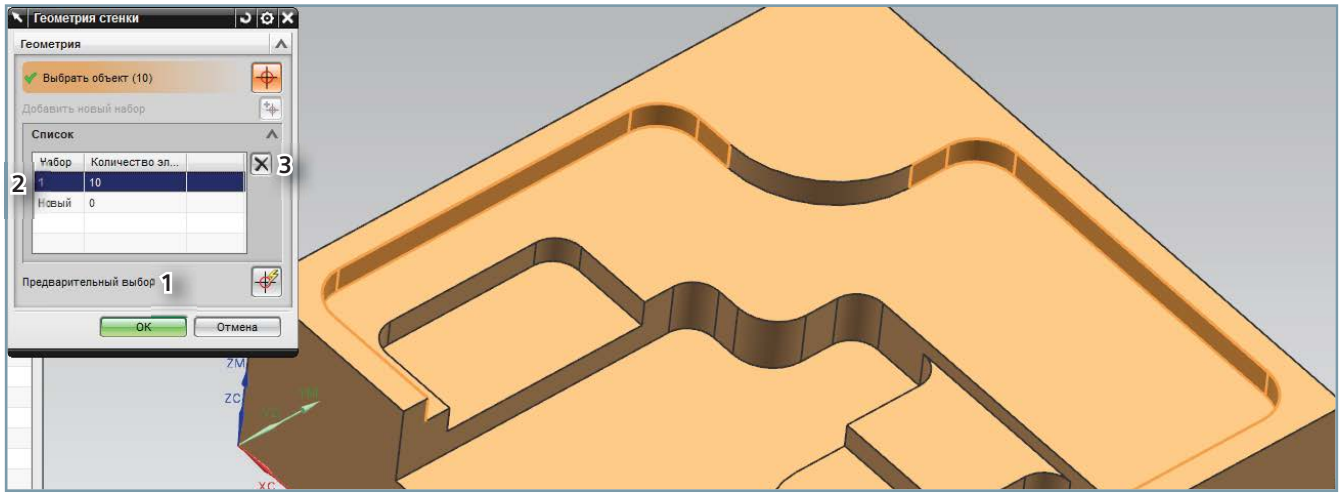


Рис. 4.12. Индивидуальное задание стенок

Результат показан на рис. 4.13. Обратите внимание, что на той грани, которая не входит в список геометрии стенок, не учтен припуск 2 мм, и плоскость предварительного просмотра здесь касается грани стенки.

- Нажмите **ОК**, чтобы операция сохранилась в проекте и была видна в навигаторе операций.

Контрольная геометрия

Геометрическая группа **Контрольная геометрия** служит для задания геометрических объектов, которые не нужно обрабатывать, но необходимо учитывать при расчете траектории. Обычно следует обеспечить отсутствие столкновений инструмента с контрольной геометрией. Контрольная геометрия может быть разного типа, в этой операции речь идет о контрольном теле. Таким способом описываются элементы приспособления, в данном случае – прихваты.
Выполним обработку верхней грани. Новую операцию снова создадим на основе существующей.

- Из контекстного меню операции FLOOR_WALL выполните **Копировать**.
- И, удерживая курсор на этой же операции, выполните **Вставить**.

Будет создана операция FLOOR_WALL _COPY. Можно ее переименовать. Например, оставить в имени тип операции, но дописать признак верхней грани, например FLOOR_WALL _TOP.

- Дважды щелкните по имени новой операции для ее редактирования.
- Задайте шаблон резания **Вдоль периферии**.
- Переопределите геометрию нижней плоскости области резания, указав верхнюю грань.
- Для отмены выбора каких-либо объектов служит специальная команда в диалоговом окне выбора объектов (3 на рис. 4.12).

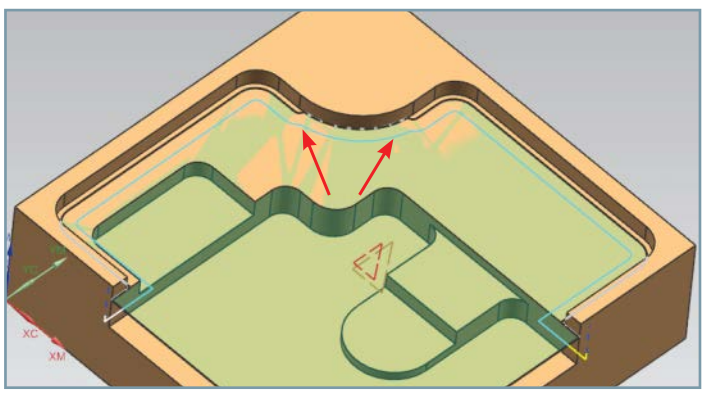


Рис. 4.13. Припуск отсутствует, если стенка не выбрана

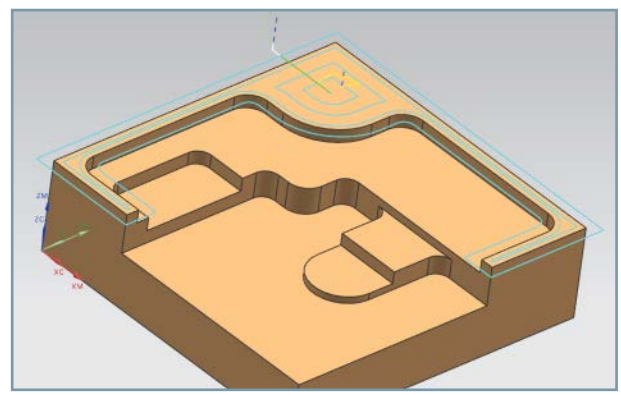


Рис. 4.14. Обработка грани без учета контрольной геометрии

- Сгенерируйте операцию.
- Выполнена обработка без учета контрольной геометрии (рис. 4.14).
- В навигаторе сборки включите отображение прихватов (это можно сделать, не закрывая диалогового окна операции).
- Выберите команду **Задайте контрольное тело** (1 на рис. 4.15).
- Новое диалоговое окно появится, в нем выберите оба прихвата.
- Нажмите **ОК**.

Обратите внимание, что фонарик около контрольной геометрии активен, то есть она задана и может быть подсвечена.

Примечание. Включать и отключать отображение компонентов можно в навигаторе сборки, не закрывая диалогового окна операции.

- Сгенерируйте операцию. Теперь траектория учитывает контрольную геометрию (рис. 4.16).

В одной операции можно задавать несколько граней, но все они должны иметь одинаковую ориентацию нормали.

- Добавьте грани в описание области резания, чтобы получилась обработка как на рис. 4.17.
- Шаг проходов задан как 50% от диаметра инструмента, и дополнительно включено сглаживание углов. Этот параметр находится в **Параметрах резания – Углы** (рис. 4.18).
- Сглаживание углов обычно применяется для высокоскоростной обработки.
- Также в этой операции использован шаблон **Вдоль периферии** с направлением шаблона **Внутрь**.

Примечание. Особенности высокоскоростной обработки и используемые операции и параметры рассмотрены в главе 12.

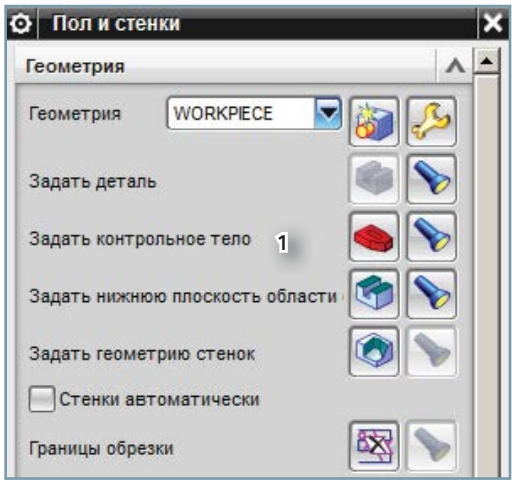


Рис. 4.15. Задание контрольной геометрии

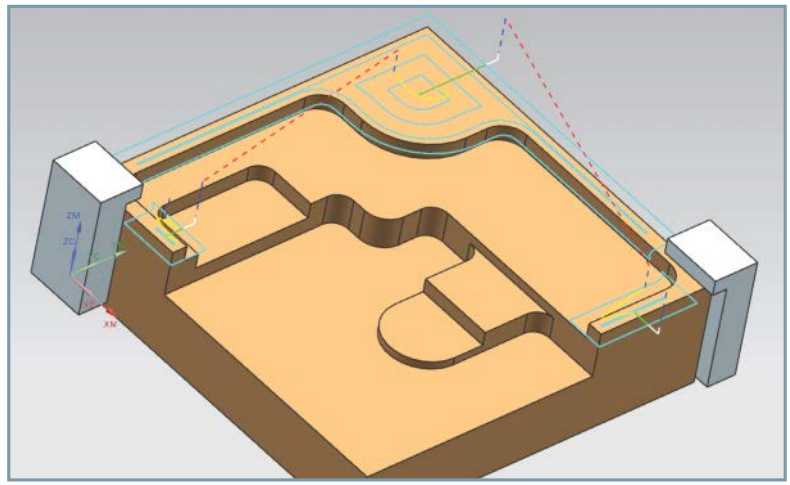


Рис. 4.16. Обработка грани с учетом контрольной геометрии (прихватов)

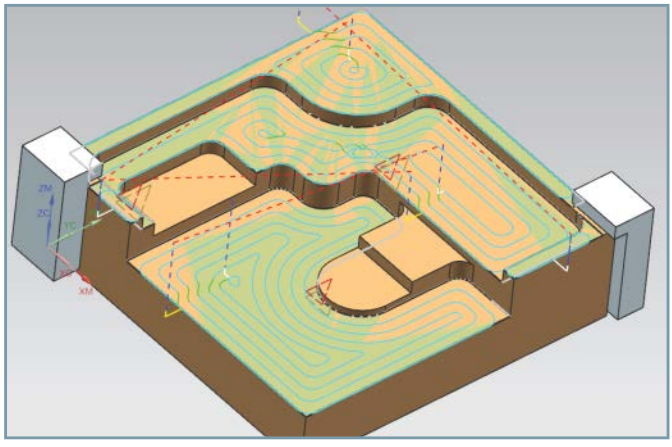


Рис. 4.17. Обработка нескольких граней в одной операции

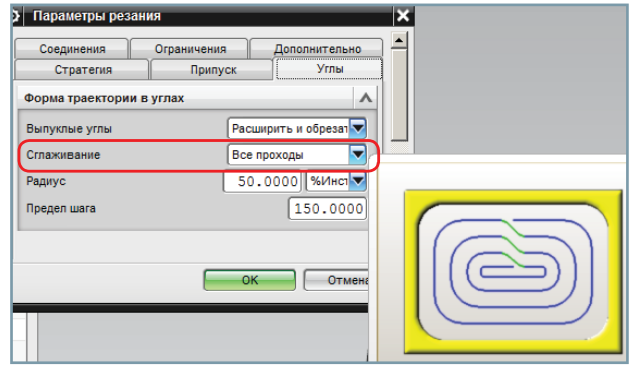


Рис. 4.18. Параметр для сглаживания острых углов траектории

Операция обработки дна и стенок с учетом ЗвПО (FLOOR_WALL_IPW)

Заготовка в процессе обработки (ЗвПО, в английской версии – In Process Workpiece – IPW) – это текущее состояние заготовки при переходе от операции к операции. Многие операции NX могут учитывать ЗвПО при расчете траекторий, то есть учитываются предыдущие операции. Это позволяет оптимизировать последовательность операций и избежать лишних проходов по воздуху. Как говорилось в главе 1, порядок следования операций определяет **Вид программ Навигатора операций**. При изменении предыдущих операций статус следующих операций, использующих ЗвПО, автоматически меняется на «Требуется пересчет».

Операция FLOOR_WALL_IPW специально создана для работы с ЗвПО. В нижней части диалогового окна этой операции (рис. 4.19) дополнительно содержится команда Отобразить (1), которая рассчитывает и показывает объем снимаемого этой операцией материала, при этом уровни резания учитывают глубину резания (2). На рис. 4.20 показано диалоговое окно **Параметров резания**, вкладка **Ограничения**, в этой операции уже предустановлены параметры **Заготовка – 3D ЗвПО** (3) и **Растянуть дно до Наружной линии заготовки** (4). Операция поддерживает только 3D ЗвПО, в отличие от операции CAVITY_MILL, где речь шла о двух алгоритмах расчета ЗвПО – 3D и по уровням.

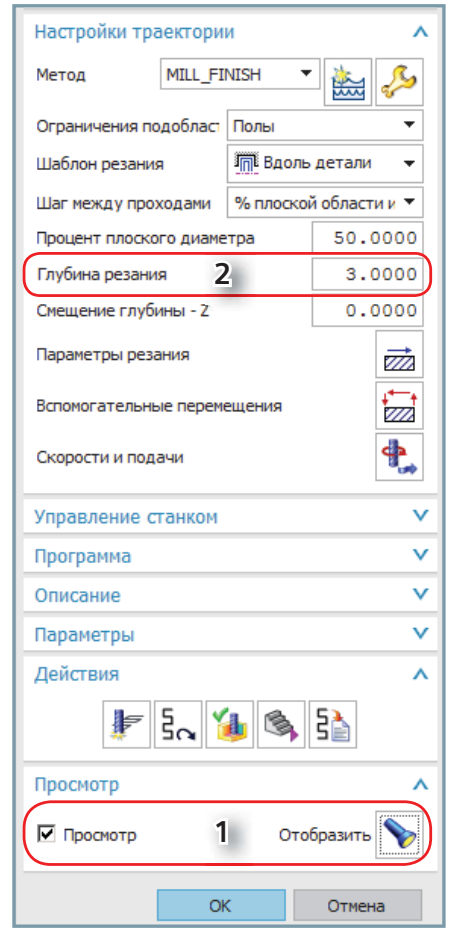


Рис. 4.19. Операция FLOOR_WALL_IPW учитывает ЗвПО

- Откройте пример facing_setup2.prt. Этот пример аналогичен предыдущему, в нем мы будем использовать только операции FLOOR_WALL_IPW.
- Создайте операцию FLOOR_WALL_IPW, в качестве грани дна укажите первую от верхней плоскости детали ступеньку,
- задайте глубину резания 3 мм
- и выполните команду Отобразить.
- Результат должен быть как на рис. 4.21.
- Сгенерируйте операцию.
- Создайте вторую операцию FLOOR_WALL_IPW, в качестве грани дна укажите нижнюю ступеньку,
- задайте глубину резания 3 мм
- и выполните команду Отобразить.
- Результат должен быть как на рис. 4.22.
- Сгенерируйте операцию.

Можно сказать, что материал снимается элементарными объемами, этот тип операций еще называют «Операции на основе объемов».

- Теперь переставьте операции местами в Навигаторе операций, статус операций сменится на «Требуется пересчет».
- Их можно просто перегенерировать, но в учебных целях зайдите в каждую операцию перед генерированием и выполните команду **Отобразить**.
- Результат будет как на рис. 4.23 и 4.24, где показано, как изменился порядок съема материала.

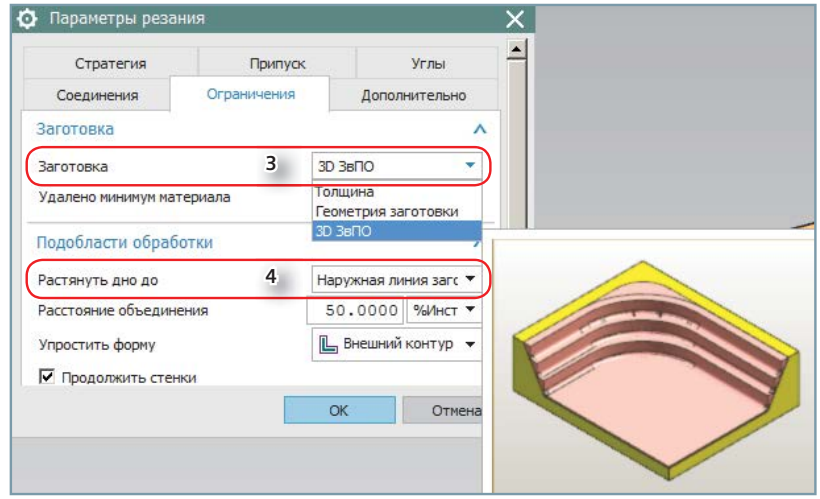


Рис. 4.20. Различные параметры для учета заготовки в операции

Операция поддерживает обработку с разных сторон детали или 5-осевое позиционирование. К этому вопросу мы вернемся в главе 13.

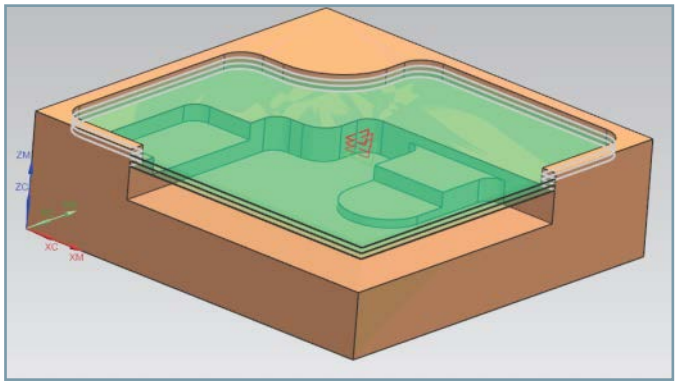


Рис. 4.21. Обработка по варианту 1 (сначала весь уровень)

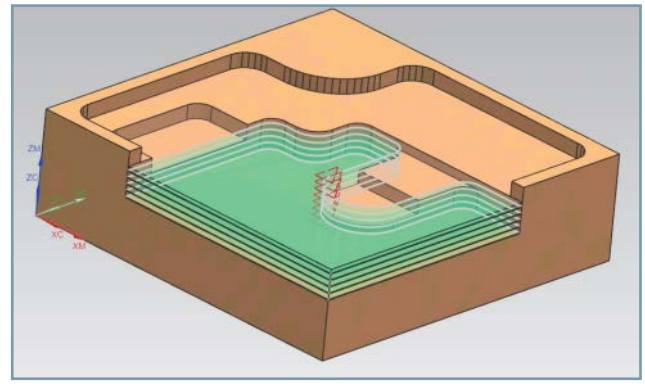


Рис. 4.22. Обработка по варианту 1 (затем второй уровень в указанной области)

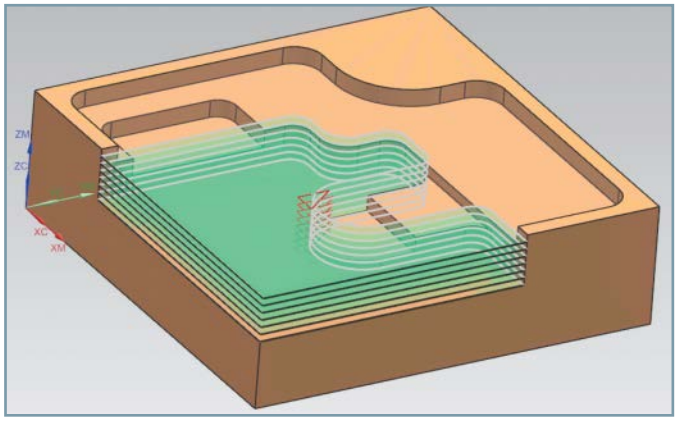


Рис. 4.23. Обработка по варианту 2 (сначала все уровни в указанной области)

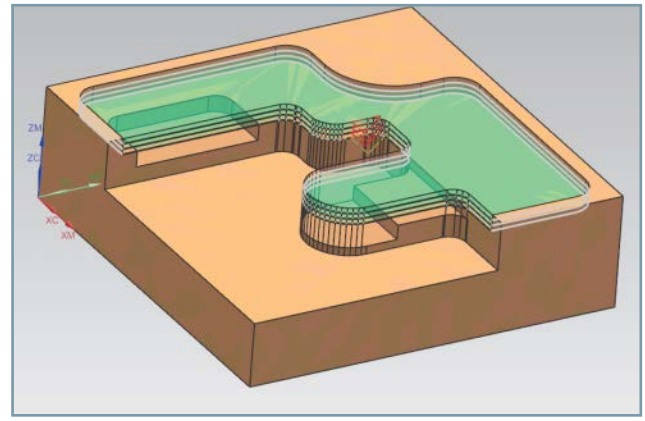


Рис. 4.24. Обработка по варианту 2 (затем оставшийся материал в первом уровне)

Другие параметры операций FLOOR_WALL

Операции FLOOR_WALL имеют ряд специфических параметров, позволяющих гибко формировать область обработки. Обработка по конструктивным элементам не всегда оптимальна, особенно если эти элементы накладываются друг на друга. Как уже отмечалось, этот тип операций удаляет материал элементарными объемами.
Эти параметры задаются в диалоговом окне **Параметры резания – Ограничения** (рис. 4.25). Всплывающие подсказки помогают понять назначение параметров, для удобства мы свели их на один рисунок.
Группа параметров **Заготовка** упоминалась в предыдущем параграфе. Здесь мы будем активно использовать параметры **Растянуть дно** (1) и **Продолжить стенки** (2). Параметр **Ограничение подобласти резания** (3) полезен при обработке наклонных стенок. Операция позволяет формировать одиночный проход для обработки грани, если используется достаточно большой инструмент. Направление прохода вычисляется автоматически, но можно вручную задать смещение (4), улучшающее условия резания. Параметры **Заход** и **Выход инструмента** (5) позволяют продлить проходы за пределы заготовки. Расстояние для продления можно измерять как в миллиметрах, так и в долях диаметра инструмента. Последнее удобнее, если в дальнейшем придется менять инструмент. **Контроль столкновений с держателем** (6) ограничивает область обработки при использовании короткого инструмента. Этот параметр использовался и в операции CAVITY_MILL. Возможен и другой вариант работы – расчет без учета держателя и автоматическое определение требуемого вылета инструмента.

- Откройте пример test_floor_wall1_setup1.prt (рис. 4.26).
- В примере уже заданы два инструмента – концевая фреза диаметром 22 мм и коническая фреза.

Для начала обработаем паз, обозначенный цифрой 1, концевой фрезой.

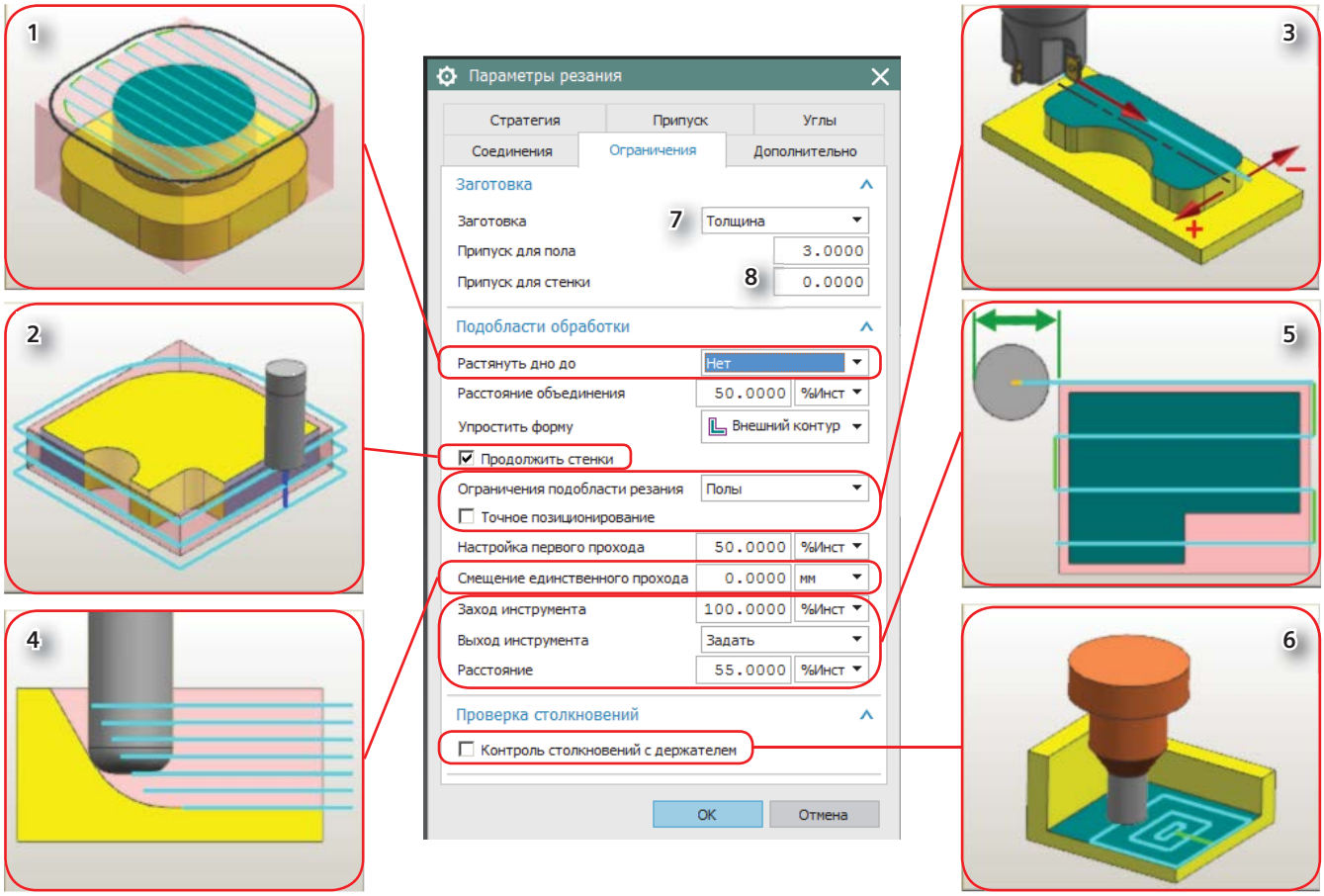


Рис. 4.25. Диалоговое окно Параметры резания – Ограничения

- Создайте операцию FLOOR_WALL, в качестве нижней плоскости области укажите дно паза, флаг **Стенки автоматически** должен быть включен.
- Остальные параметры оставьте по умолчанию и сгенерируйте операцию.
- Если параметр **Растянуть дно** установлен в значение **Нет** (рис. 4.25, 1), то результат будет как на рис. 4.27.
- Один из проходов короче другого, так как этого достаточно для обработки указанной грани.
- Измените значение параметра на **Растянуть до наружной линии заготовки** и снова сгенерируйте операцию.
- Проходы будут растянуты, но стенки, определенные автоматически, ограничат направления растягивания (рис. 4.28).

Текущее состояние заготовки здесь показано полупрозрачным. Если это первая операция, то проходы через всю заготовку более технологичны.

- Снимите флаг **Стенки автоматически** в основном диалоговом окне операции и снова сгенерируйте операцию.
- Результат симуляции траектории показан на рис. 4.29.

Дно было растянуто по всем направлениям до контура заготовки. Это вариант обработки только пола (стенки не заданы явно и не определяются автоматически). Можно создавать копии операции и менять параметры в копии, в этом случае обратите внимание на способ задания заготовки (параметр 7 на рис. 4.25), который должен быть выбран как **Толщина**, чтобы операции не учитывали ЗвПО.
В операции можно задать только стенки, не задавая дна.

- Создайте новую операцию, в операции укажите стенки как на рис. 4.30.
- Используйте шаблон резания **Профиль**.
- В **Параметрах резания – Ограничения** задайте припуск на стенках 11 мм (рис. 4.31, должно быть больше радиуса инструмента, иначе будет сообщение об ошибке).

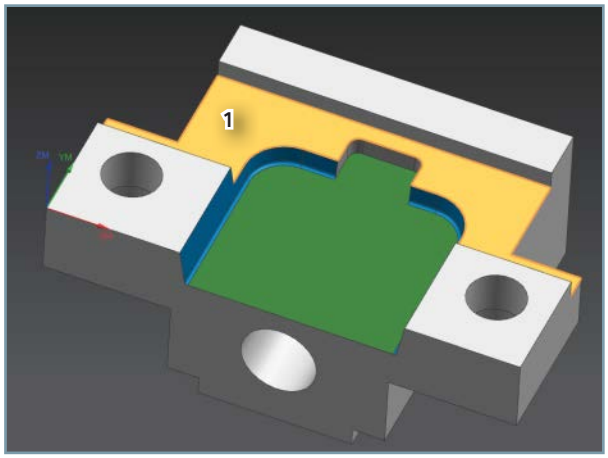


Рис. 4.26. Пример для иллюстрации дополнительных параметров операции

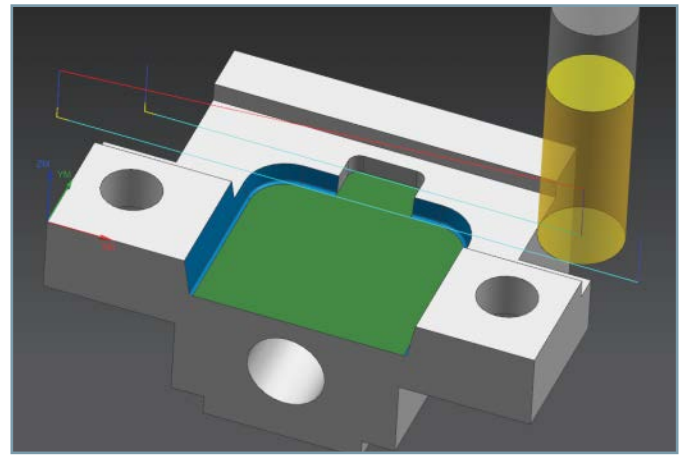


Рис. 4.27. Иллюстрация действия параметра Растянуть дно – не растягивать

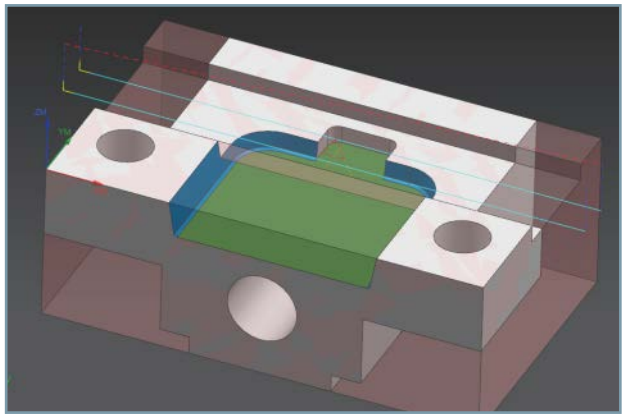


Рис. 4.28. Иллюстрация действия параметра Растянуть дно – до наружной линии заготовки

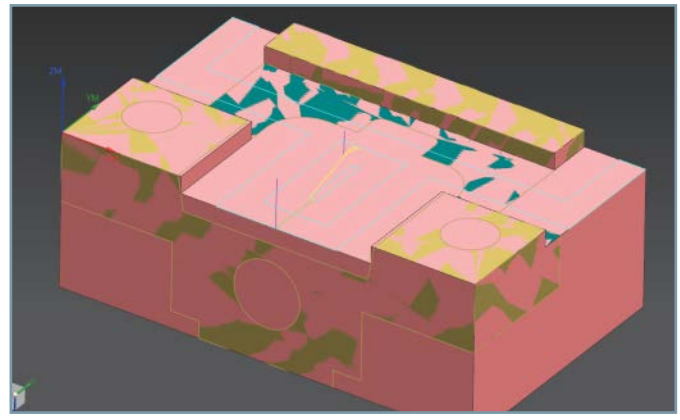


Рис. 4.29. Иллюстрация действия параметров Растянуть дно – до наружной линии заготовки – и выключенного параметра Стенки автоматически

Еще один параметр надо изменить, если дно не указывается, – это ориентация инструмента.

- По умолчанию параметр установлен в значение **Нормально к первой грани** (рис. 4.32),
- измените его на **Ось +ZM**.
- Сгенерируйте операцию, результат будет как на рис. 4.30.
- Проходы выполнены вдоль низа стенки (на уровне пола, хотя пол не задан).
- Включите параметр **Продолжить стенки** (2, рис. 4.25) и сгенерируйте операцию снова.
- Результат будет как на рис. 4.33.
- Стенки объединены, образуя как бы единую стенку.

Операция может использоваться для обработки внешних стенок, то есть там, где пол не существует. В этом случае полезен параметр Смещение глубины –Z (1) в основном диалоговом окне операции (рис. 4.34). Это смещение от низа стенки.

- Создайте новую операцию,
- в качестве обрабатываемой области укажите только стенку, как на рис. 4.35.
- Задайте смещение глубины –35 мм (1, знак минус – вверх, возможно смещение и вниз)
- и сгенерируйте операцию.
- Результат показан на этом же рисунке.

Возможен и многопроходный вариант, для этого надо задать Припуск для пола и глубину резания, не равную 0 (2). Впрочем, мы это уже рассматривали.

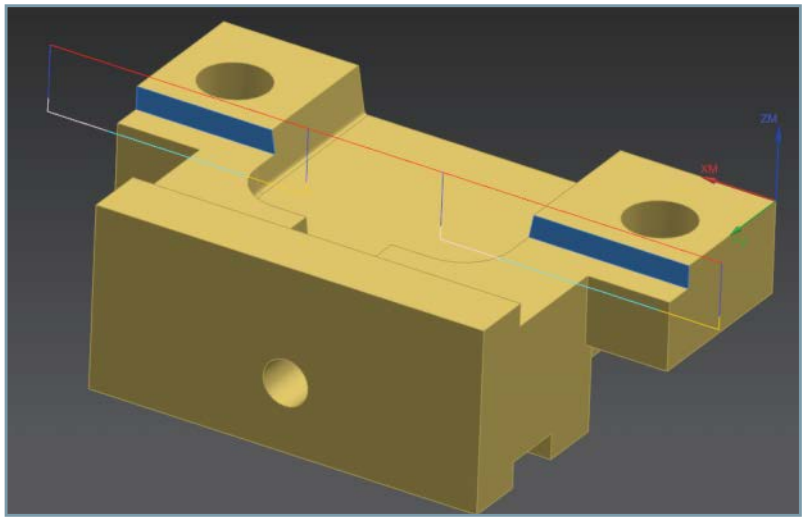


Рис. 4.30. Вариант операции с указанием только стенок

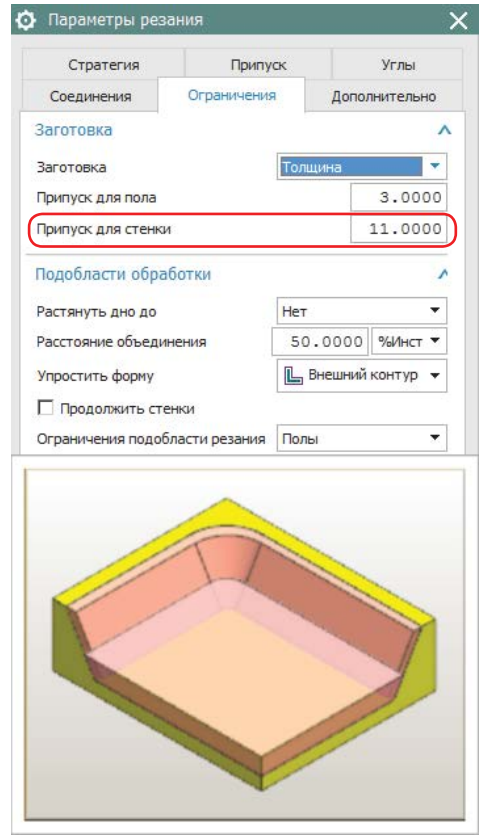


Рис. 4.31. Влияние параметра припуск на стенке

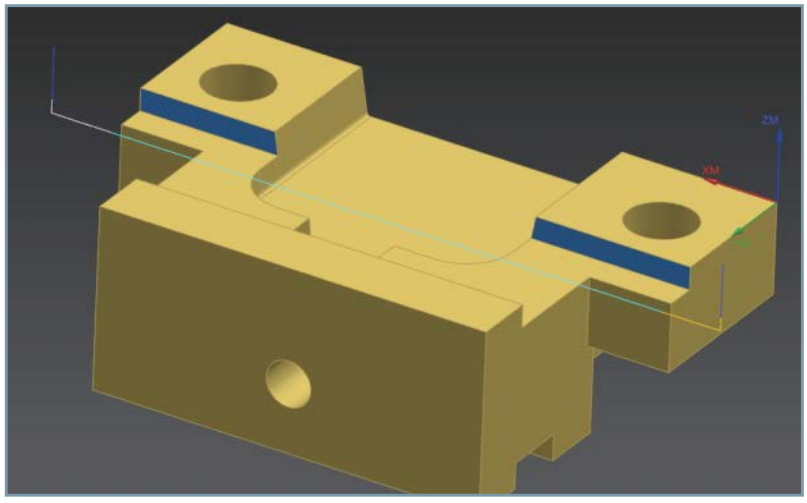


Рис. 4.33. Иллюстрация действия параметра продолжить стенки

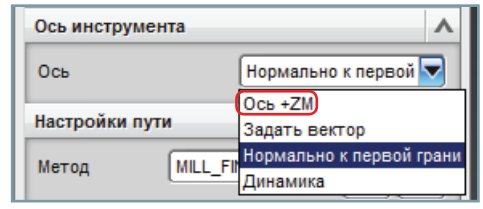


Рис. 4.32. Изменение ориентации инструмента для случая, когда пол не задан

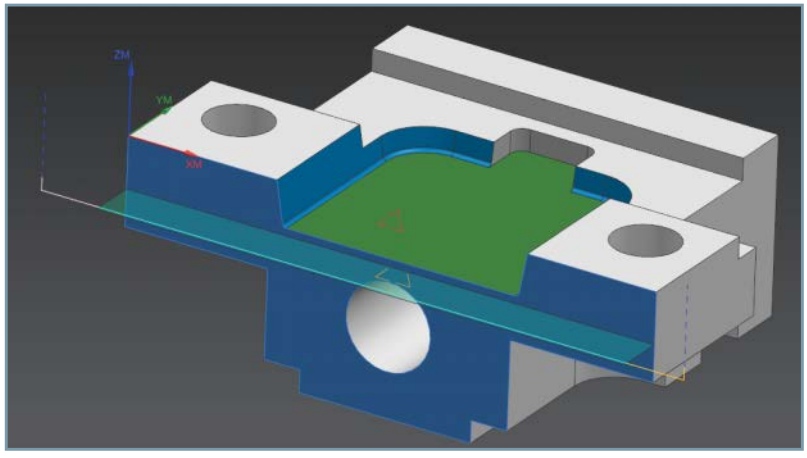


Рис. 4.35. Иллюстрация действия параметра Смещение глубины –Z для внешних стенок

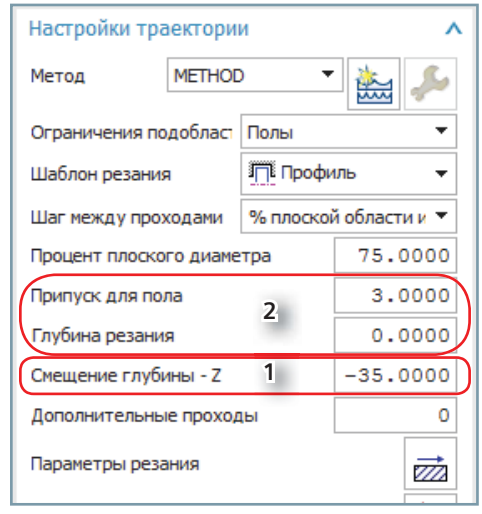


Рис. 4.34. Параметр Смещение глубины –Z для внешних стенок

Операция поддерживает наклонные стенки и может использовать конический инструмент. Если плоская грань ограничена вертикальными стенками, то параметр **Ограничение подобласти резания** (рис. 4.36) установлен в значение Пол и многопроходный вариант рассчитывается от пола копированием проходов вверх с шагом, равным глубине резания (1). Если стенка имеет небольшой уклон и обработка неокончательная, то можно поступить так же. Если нужно учесть наклонную стенку на каждом уровне, то этот параметр следует установить в значение Стенки (2). Параметр **Точное позиционирование** имеет нюансы использования, связанные с формой инструмента, соотношением радиуса скругления инструмента и радиуса скругления стенки (см. документацию). Можно однозначно сказать, что при использовании конического инструмента он должен быть включен. Данный параметр увеличивает время расчета операции, следует это учитывать.

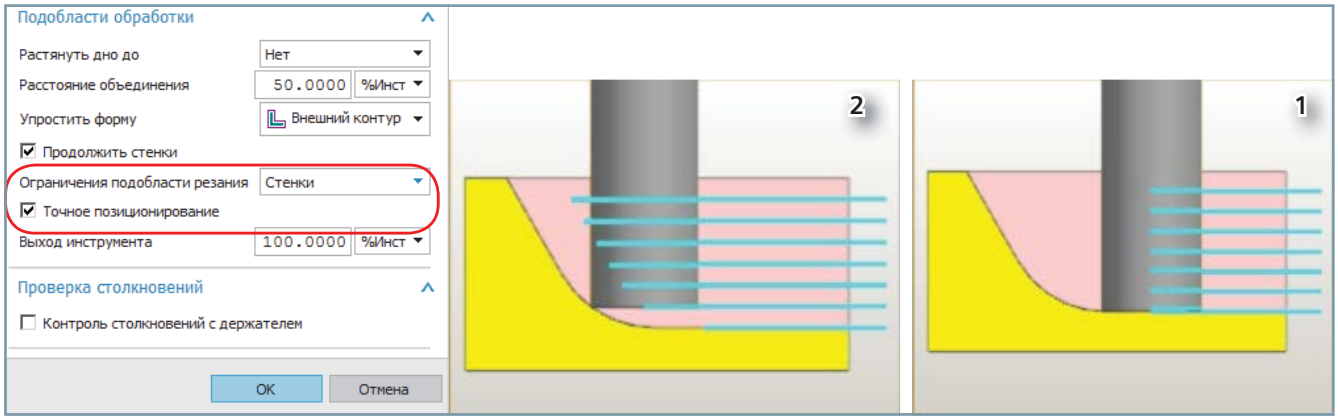


Рис. 4.36. Поддержка наклонных стенок в операции

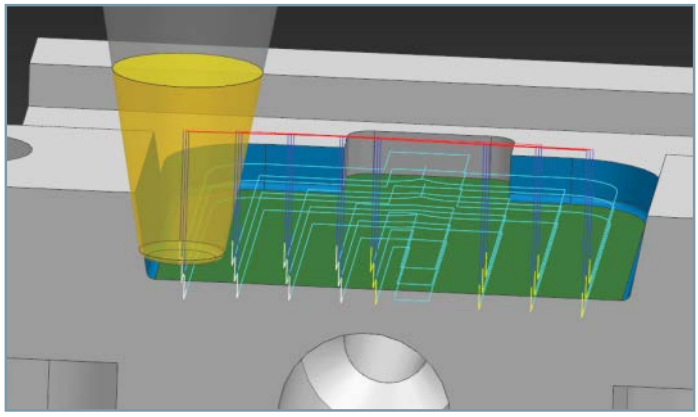


Рис. 4.37. Поддержка конического инструмента в операциях (стенки автоматически)

- Продолжим работу с этим же примером. Обработаем карман, показанный зеленым цветом.
- Стенки кармана наклонные, между стенками и дном есть скругление.
- Будем использовать конический инструмент подходящей геометрии для окончательной обработки стенок в этой же операции (рис. 4.37).
- Создайте новую операцию FLOOR_WALL_IPW для получения результата как на рисунке. Стенки для начала могут быть заданы автоматически.
- Сделаем вариант операции с явным заданием стенок. Причем скругления надо выбрать вместе со стенками (рис. 4.38)
- и включить параметр Продолжить стенки (2, рис. 4.25).
- Результат показан на рис. 4.39.

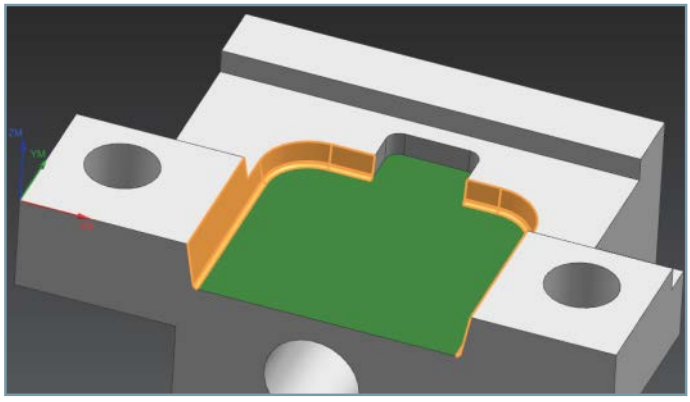


Рис. 4.38. Поддержка конического инструмента в операциях (стенки заданы явно)

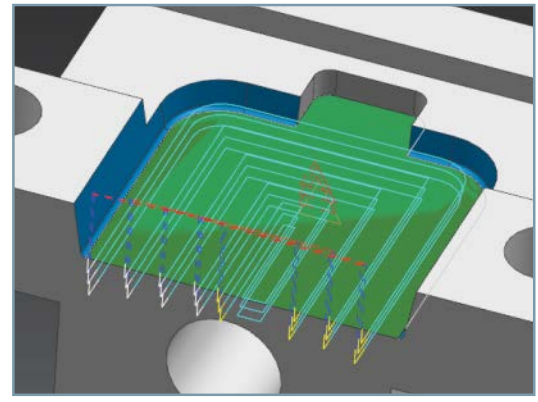


Рис. 4.39. Поддержка конического инструмента в операциях (с параметром Продолжить стенки)

Операция обработки граней на основе границ (FACE_MILL)

Выше было сказано, что новая операция FLOOR_WALL в NX 9.0 заменила операцию FACE_MILLING_AREA, используемую в предыдущих версиях. Новые операции работают с гранями. Операция же, которая работает с границами, осталась, но слегка измененилась.
Операция FACE_MILLING отличается типом геометрических групп, которые описывают обрабатываемые грани. В этом типе операции используется геометрическая группа **Границы грани** вместо **Области резания** (рис. 4.40).
Работа с границами будет кратко описана в главе 7, посвященной операции PLANAR_MILL. В целом работа с границами более трудоемка, но сами операции в ряде случаев оказываются более гибкими. Во всяком случае, прибегайте к использованию границ тогда, когда операции на основе граней не дают нужного результата.
Совсем не сказать о границах нельзя и по причине преемственности версий. Операции на основе границ активно использовались в старых версиях продукта. В современных версиях потребность в таких операциях существенно меньше.

- Откройте пример post_test_setup_1.prt.
- В этом проекте уже выполнена инициализация, задана деталь в группе WORKPIECE и создан инструмент.
- Создайте операцию FACE_MILLING.
- В диалоговом окне операции выполните команду **Задайте границы грани**.

Появится диалоговое окно задания границ грани (рис. 4.41), основной метод выбора границ – Грани (1), но он может быть изменен. При повторном выборе команды задания границ грани появится другое диалоговое окно (рис. 4.42), которое позволяет добавить новые границы (2) или удалить имеющиеся границы (3).

- Укажите верхнюю грань.
- Нажмите **ОК** и **Генерировать** в основном диалоговом окне операции.
- Результат показан на рис. 4.43.

Границы определяются по ребрам указанной грани.

- Добавьте еще одну границу. Для этого выполните команду **Добавить новый набор** (2 на рис. 4.42), метод выбора – **Кривая**, диалоговое окно изменится (рис. 4.44).
- Установите переключатель **Сторона инструмента** в значение **Снаружи** (4), режим выбора кривых – **Касательные кривые** (5) и укажите одну из кривых, как на рисунке.

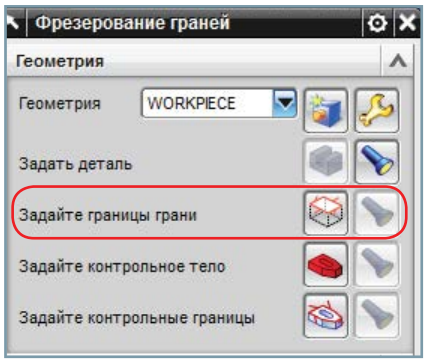


Рис. 4.40. Операция обработки плоских граней на основе границ

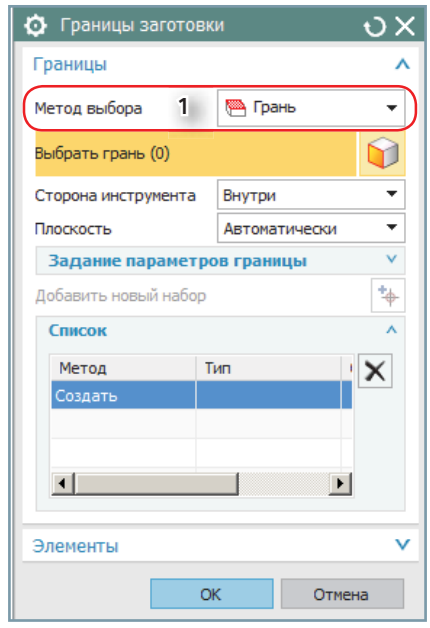


Рис. 4.41. Диалоговое окно задания границ грани (если границы не заданы)

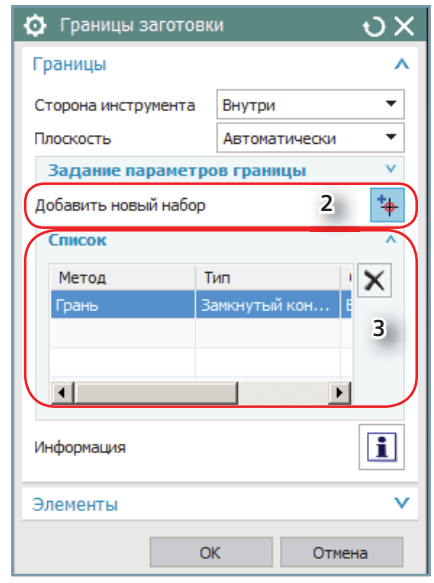


Рис. 4.42. Диалоговое окно задания границ грани (если границы существуют)

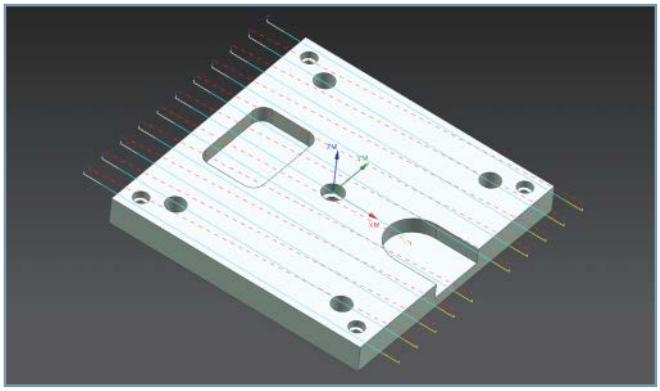


Рис. 4.43. Пример операции обработки плоских граней на основе границ

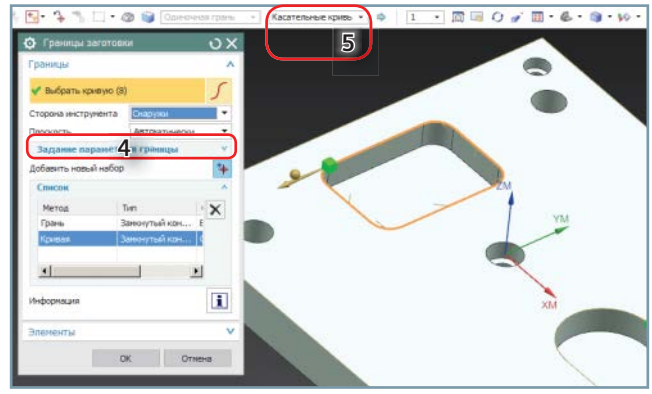


Рис. 4.44. Задание границ на основе кривых

- Будет выбран весь контур, определяющий верхние ребра кармана.
- Нажмите **ОК** и **Генерировать** в основном диалоговом окне операции. В результате из траектории исключены движения над карманом.
- Создайте копию операции, в копии удалите границу 1 командой 6, а для границы 2 измените **Сторону инструмента** на значение **Внутри** (7 на рис. 4.45) и нажмите **ОК**.

При попытке сгенерировать операцию появится сообщение об ошибке. Это произошло потому, что по умолчанию инструмент устанавливается перпендикулярно к первой указанной грани, а грань у нас уже не используется для задания границы.

- Измените Ось инструмента на значение +ZM (8 на рис. 4.46), для наглядности измените и шаблон резания (9).
- Сгенерируйте операцию, результат показан на этом же рисунке.

Результат слегка абстрактный (такая обработка не требуется), но он показывает, как используются границы для обработки области резания, которую нельзя задать гранями.

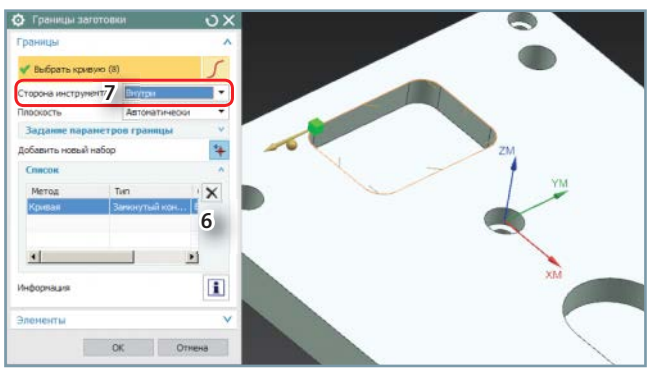


Рис. 4.45. Сменна направления границы

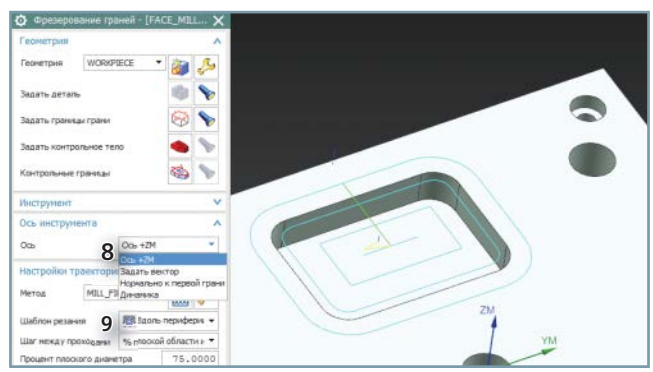


Рис. 4.46. Границами можно задать область обработки, не связанную с каким-либо элементом модели

Подход к контуру

В этом разделе разберем еще одну полезную возможность при обработке контура – смену точки подхода к контуру. Задача обычно актуальна для замкнутых контуров.

- Продолжим работать с предыдущим примером. Создайте операцию обработки кармана.
- Можно использовать любую из операций – FLOOR_WALL или FACE_MILL.
- Шаблон резания – **Профиль**.
- В группе параметров **Вспомогательные перемещения** необходимо задать подвод и отвод по дуге (1 на рис. 4.47).

- Так как возможность использовать дугу имеется только в открытой области, установите для закрытой области **Как для открытой** (2) и задайте параметры дуги.
- Нажмите **ОК** и **Генерировать операцию**.
- Результат показан на рис. 4.47.

По умолчанию в качестве точки входа выбирается середина самой длинной стороны. Для смены точки входа в группе **Вспомогательные перемещения** (**Параметры без резания**) имеется параметр **Начальные точки области** (3 на рис. 4.48).

- Укажите точку, как на рис. 4.48. Точка привязана к ребру, поэтому не забывайте об опциях привязки.
- Нажмите **ОК** и перегенерируйте траекторию.
- В качестве точки подхода к контуру будет использована точка, принадлежащая контуру и являющаяся самой близкой к указанной.

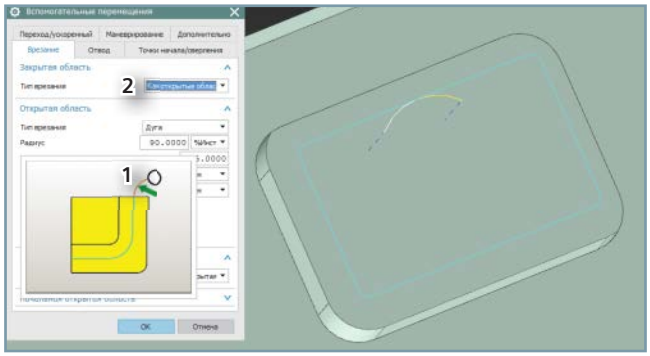


Рис. 4.47. Задание подхода к контуру по дуге

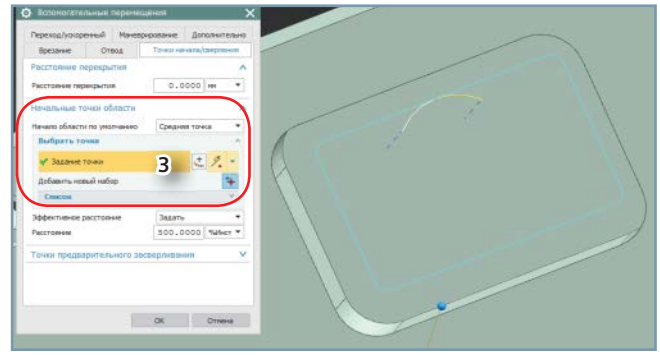


Рис. 4.48. Смена точки подхода к контуру

При работе с контурами иногда для наглядности полезно включить 2D отображение инструмента на траектории.

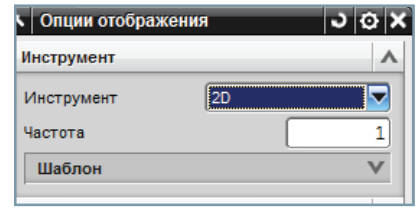


Рис. 4.49. Фрагмент диалогового окна опций отображения

- Выполните команду **Параметры – Изменить отображение** в нижней части диалогового окна операции.
- Появится новое диалоговое окно **Опции отображения**.
- Укажите **Инструмент** – 2D (рис. 4.49).
- Параметр **Частота,** равный 1, задает частоту отрисовки инструмента (1 – в каждом кадре, для сложных траекторий лучше использовать значения, большие 1).
- Нажмите **ОК** и **Генерировать** в основном диалоговом окне операции. Траектория показана на рис. 4.50.

Обработка поднутрений

Важной особенностью операций FLOOR_WALL и FACE_MILLING является возможность обработки поднутрений грибковой фрезой. Рассмотрим эту возможность.

- Откройте пример face_milling_undercut_setup_1.prt.
- В этом проекте уже выполнена инициализация, задана деталь в группе WORKPIECE.
- В качестве инструмента задана грибковая (Т-образная) фреза, ее параметры показаны на рис. 4.51.
- Создайте операцию FLOOR_WALL.
- Для обработки поднутрений в **Параметрах резания** включите параметр **Разрешить поднутрения** (рис. 4.52) и сгенерируйте операцию.
- Результат операции показан на рис. 4.53.

При обработке поднутрений обратите внимание на параметры врезания и отвода: вертикальные движения инструмента должны выполняться вне выступающих частей детали. В данном случае использовано врезание вдоль оси X.

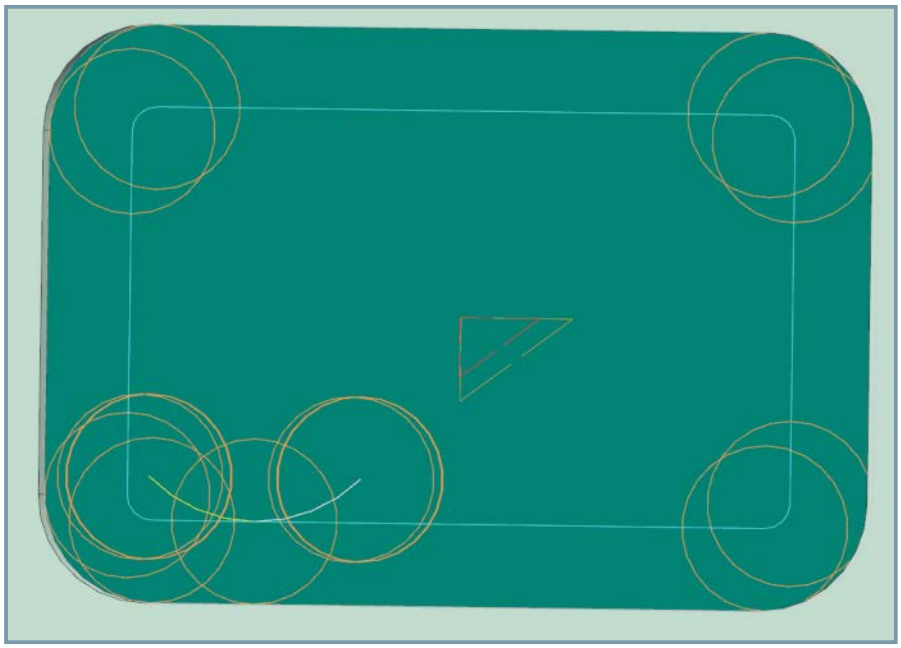


Рис. 4.50. Рисование инструмента в 2D с помощью опций отображения

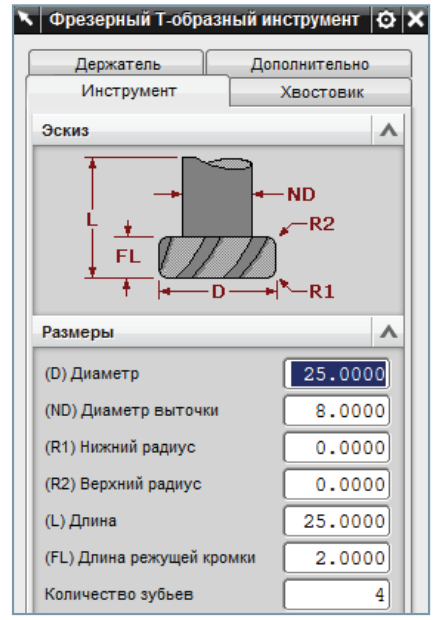


Рис. 4.51. Создание Т-образного инструмента для обработки поднутрений

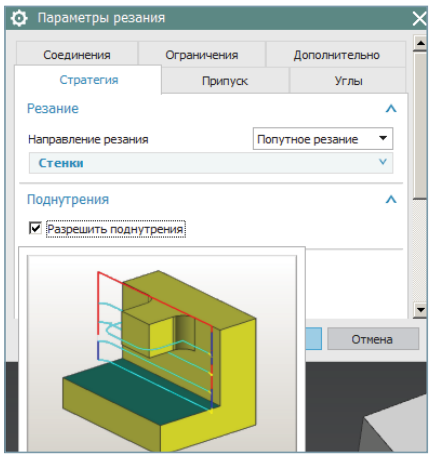


Рис. 4.52. Расположение параметра, разрешающего обработку поднутрений

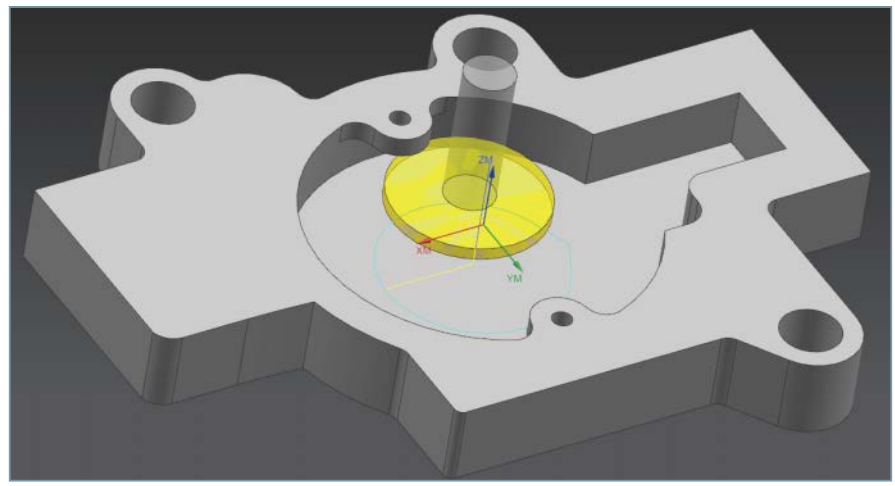


Рис. 4.53. Обработка поднутрений Т-образным инструментом

Обработка наклонных граней

Рассмотрим еще одну важную особенность операций фрезерования граней – возможность обработки наклонных граней без создания дополнительных систем координат. Здесь мы хотим подчеркнуть, что в операциях этого типа инструмент по умолчанию позиционируется перпендикулярно указанной грани. Это уже не 3-осевая, а 3+2-осевая обработка, подробнее она рассмотрена в главе 13.

- Откройте пример prihvat1_setup_1.prt. В этом проекте уже выполнена инициализация, задана деталь в группе WORKPIECE.
- Создайте операцию FLOOR_WALL_IPW. В качестве области обработки укажите наклонную грань и сгенерируйте траекторию (рис. 4.54).
- Инструмент будет установлен по нормали к грани, это потому, что установкой по умолчанию для оси инструмента является параметр **Нормально к первой грани**.
- Нажмите **ОК**, чтобы сохранить операцию.

- Скопируйте операцию.
- В новой операции задайте глубину резания 3 мм и выполните команду **Отобразить**.
- Ничего не будет найдено. Это произошло потому, что весь припуск уже снят первой операцией (а мы используем операцию с отслеживанием ЗвПО).
- Переместите новую операцию вперед и задайте в ней припуск 1 мм.
- В этом случае команда **Отобразить** должна показывать результат как на рис. 4.55.

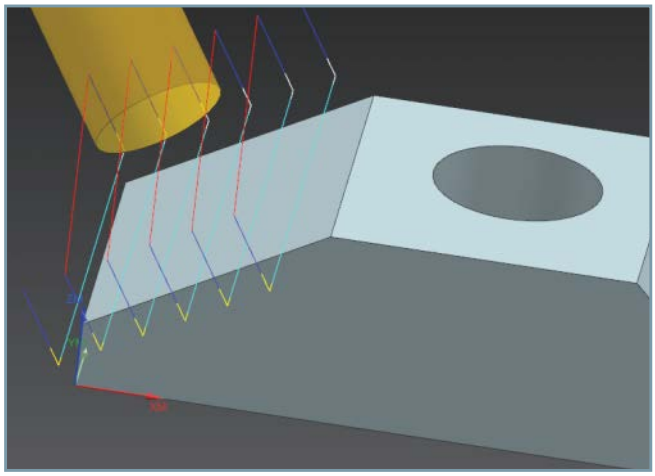


Рис. 4.54. Обработка наклонных граней

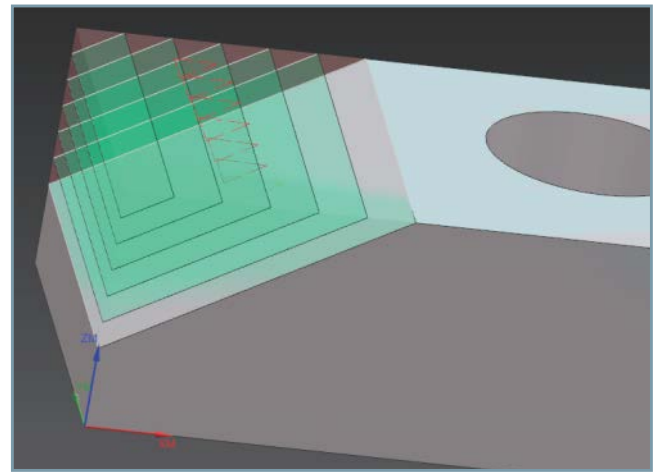


Рис. 4.55. Черновая обработка наклонных граней (с учетом ЗвПО)

Операции фрезерования граней широко используются в 5-осевой позиционной обработке. Подробнее этому будет посвящена глава 13.

Операция SOLID_PROFILE_3D

Другой вариант обработки вертикальных стенок – использовать чистовую операцию SOLID_PROFILE_3D . Эта операция не использует ЗвПО, и специальный припуск можно не задавать.
Инструмент в операции SOLID_PROFILE_3D следует вдоль верхних или нижних ребер выбранных граней. Строго говоря, это 3-осевая операция, но часто используется и на 2,5-осевых задачах.

Примечание. Если используется неплоское ребро, то операция будет 3-осевой.

- Откройте пример top_clamp_setup_1.prt.

Команда операции расположена в группе mill_contour (рис. 4.56). Диалоговое окно операции показано на рис. 4.57.
Как видно, в группе геометрии задаются стенки. Специфическими параметрами этой операции являются **Подъем** (где указывается тип кромки выбранных граней – верхняя или нижняя) и **Смещение глубины – -Z**.

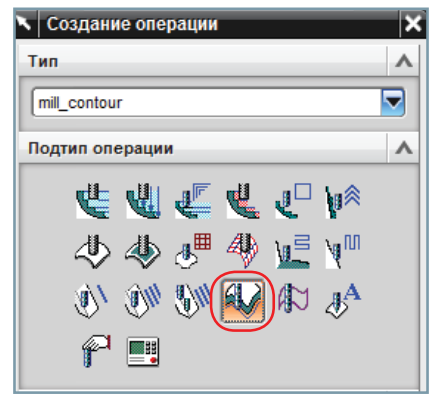


Рис. 4.56. Расположение команды создания операции SOLID_PROFILE_3D

- Создайте операцию SOLID_PROFILE_3D. Укажите грань, как на рис. 4.58, и генерируйте операцию. Результат показан на рис. 4.59.

Существует возможность следовать верхней кромке, также возможен многопроходный вариант.

- Создайте траекторию для многопроходного варианта обработки. Для этого в **Параметрах резания** включите параметр **Несколько глубин** и задайте смещение глубины и приращение (рис. 4.60).
- Значения 30 и 10 соответственно дают нам 3 прохода (рис. 4.61).

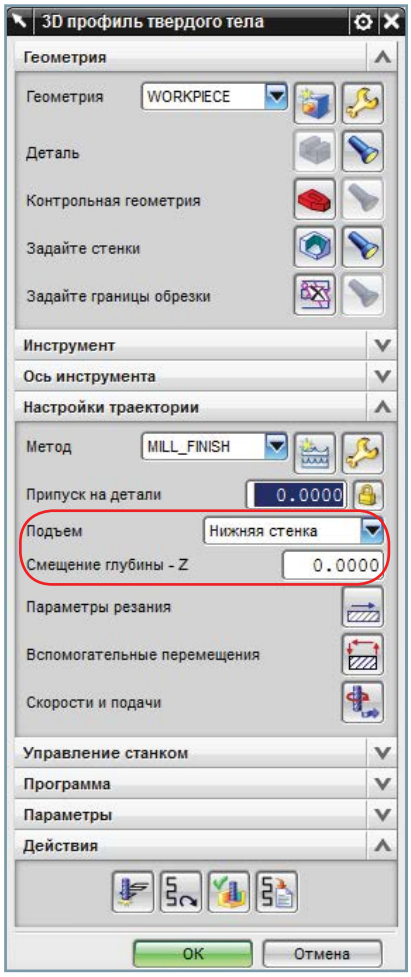


Рис. 4.57. Диалоговое окно операции SOLID_PROFILE_3D

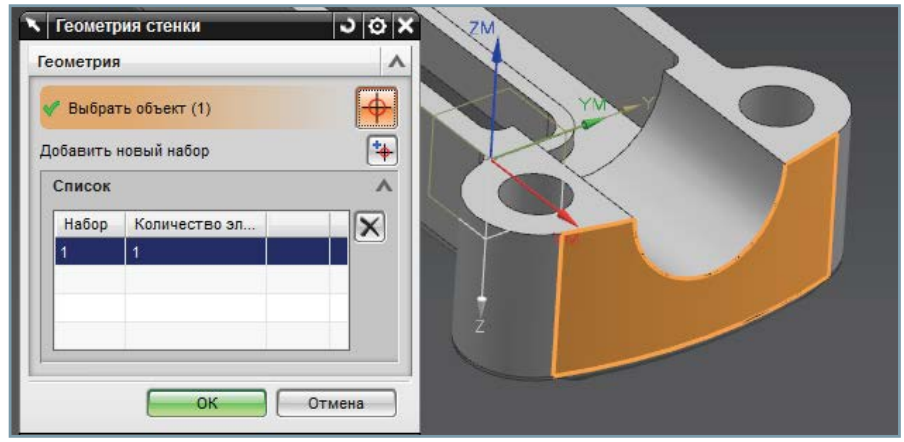


Рис. 4.58. Указание грани для операции SOLID_PROFILE_3D

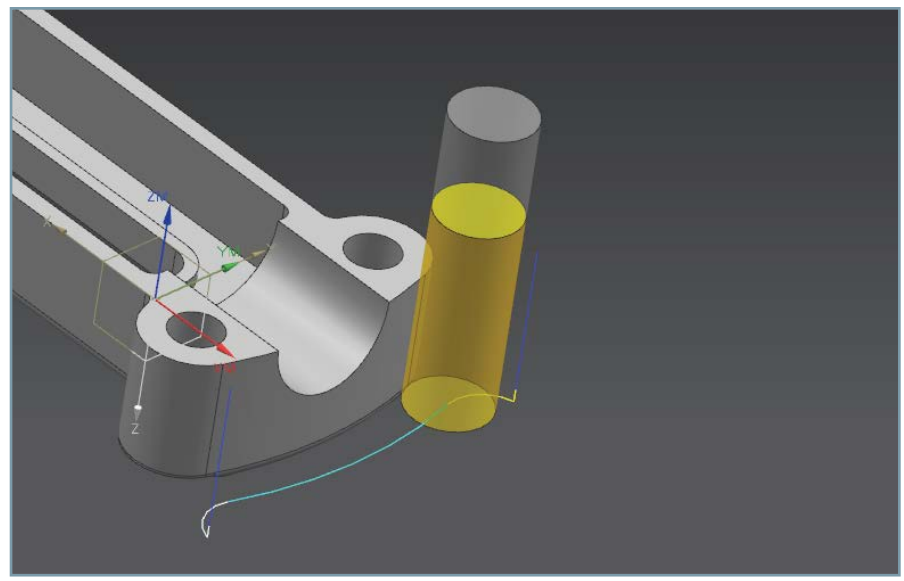


Рис. 4.59. Результат обработки грани операцией SOLID_PROFILE_3D

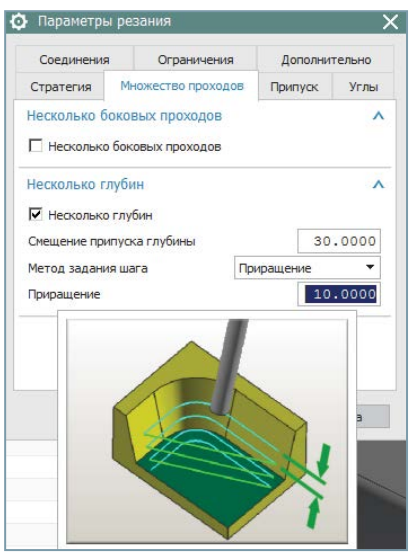


Рис. 4.60. Вкладка для использования множества проходов

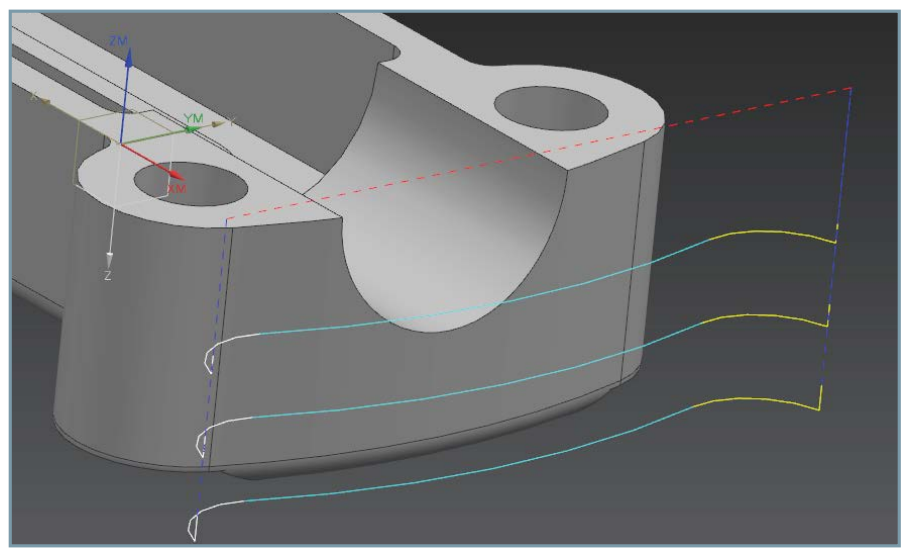


Рис. 4.61. Многопроходный вариант обработки грани операцией SOLID_PROFILE_3D

Глава 5

2.5-осевое фрезерование: обработка по Z-уровням

Содержание главы

– 2.5-осевое фрезерование: обработка по Z-уровням
– Операция ZLEVEL_PROFILE
– Операция ZLEVEL_CORNER

2.5-осевое фрезерование: обработка по Z-уровням

Операция ZLEVEL_PROFILE

Этот тип операции широко используется при обработке оснастки. Поверхности штампов и пресс-форм обычно не имеют вертикальных поверхностей, что обусловлено необходимостью извлечения изделия в процессе штамповки или литья, они имеют уклон. Работа по Z-уровням является предпочтительной, с точки зрения условий резания при обработке стенок детали. Операция позволяет автоматически разделить поверхности на наклонные и ненаклонные (также можно сказать крутые и пологие), поскольку она применяется обычно для наклонных поверхностей. Чаще всего эти операции являются получистовыми и чистовыми.
Команды операции ZLEVEL_PROFILE находятся в группе mill_contour (рис. 5.1):
1 – ZLEVEL_PROFILE – базовая операция обработки по Z уровням,
2 – ZLEVEL_CORNER – модификация базовой операции с настройками по доработке углов CAVITY_MILL.

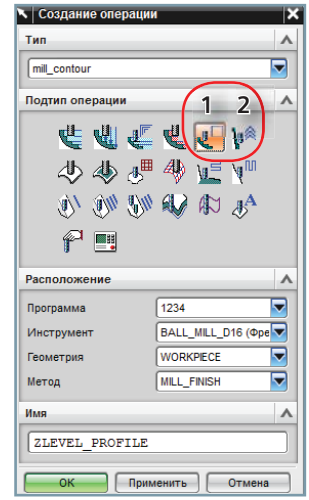


Рис. 5.1. Расположение команд операции ZLEVEL_PROFILE

- Продолжаем работать с примером game_remote_setup_2.prt.
- Создайте операцию ZLEVEL_PROFILE, указав родительские группы, как на рис. 5.1.
- Используем шаровый инструмент.

Появится диалоговое окно операции (рис. 5.2). Эта операция во многом похожа на операцию CAVITY_MILL с шаблоном резания **Профиль**, но имеет некоторые особенности. Как видно из блока геометрии, данная операция не работает с заготовкой. Шаблон резания не указан, так как он всегда один – **Профиль**. Но появились новые параметры: **Управление наклонами**, **Расстояние объединения** и **Минимальная длина резания** (выделены рамкой).
Управление наклонами как раз и позволяет разделить наклонные и ненаклонные участки детали. Если значение **Нет** заменить на **Только наклон**, будет показано новое поле для задания угла наклона поверхностей (рис. 5.3). Этот угол измеряется между направлением оси инструмента (в 3-осевой обработке это ось Z) и нормалью к грани в каждой точке, по умолчанию угол равен 65°. Параметры **Расстояние объединения** и **Минимальная длина резания** позволяют уменьшить фрагментацию проходов траектории и устранить ненужные подъемы и опускания инструмента.
Уровни резания задаются аналогично операции CAVITY_MILL. В **Параметрах резания** существуют некоторые новые параметры, которые рассмотрим в процессе освоения операции.

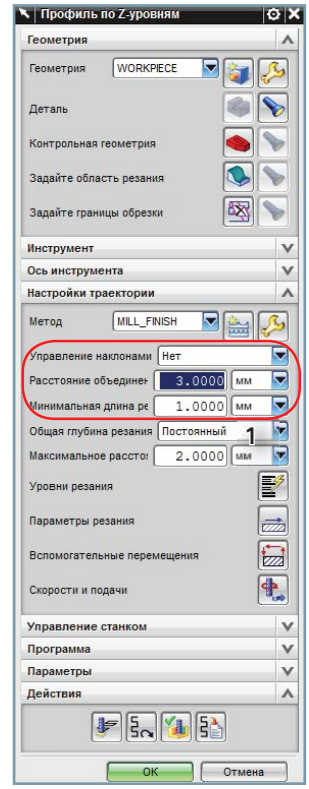


Рис. 5.2. Диалоговое окно операции ZLEVEL_PROFILE

- Геометрическая группа **Область резания** нам уже знакома.
- Задайте в ней две грани поверхности разъема, которые не являются плоскими (считается хорошим правилом обрабатывать поверхность разъема отдельными операциями).
- Отмените управление наклонами и задайте шаг между уровнями (максимальное расстояние) равным 2 мм (1 на рис. 5.2). Нажмите **Генерировать операцию**.
- Результат показан на рис. 5.4.
- Плоские участки разъема обработайте самостоятельно, используя операцию FLOOR_WALL или FACE_MILLING и концевую фрезу диаметром 20 мм.
- Результат визуализации работы всех операций показан на рис. 5.5.

Обратите внимание, что на пологих участках разъема (показаны желтым) высота гребешка становится слишком большой. Для обработки таких участков служат контурные операции, которые будут рассмотрены позже.
Теперь обработаем все грани полости.

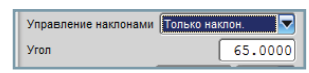


Рис. 5.3. Фрагмент диалогового окна операции для управления наклонами

- Сделайте копию операции ZLEVEL_PROFILE и переопределите в ней группу **Область резания** в соответствии с рис. 5.6.
- Сгенерируйте операцию и выполните верификацию.

Обратите внимание, что плоские участки полости не обработаны. Можно снова применить операцию FACE_MILLING_AREA для них, но если эти участки небольшие по размеру,

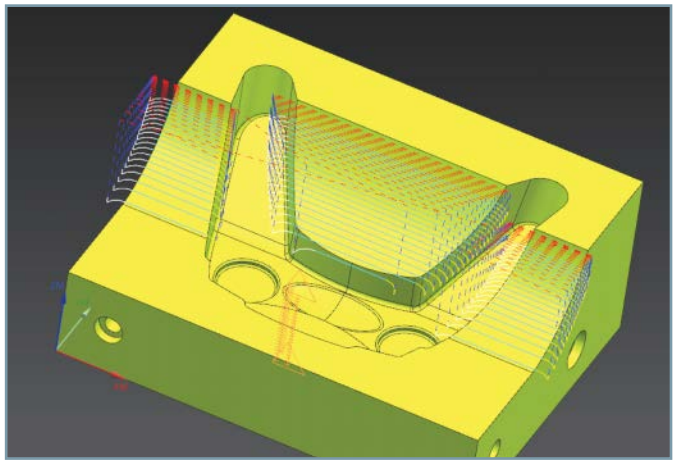


Рис. 5.4. Пример операции ZLEVEL_PROFILE

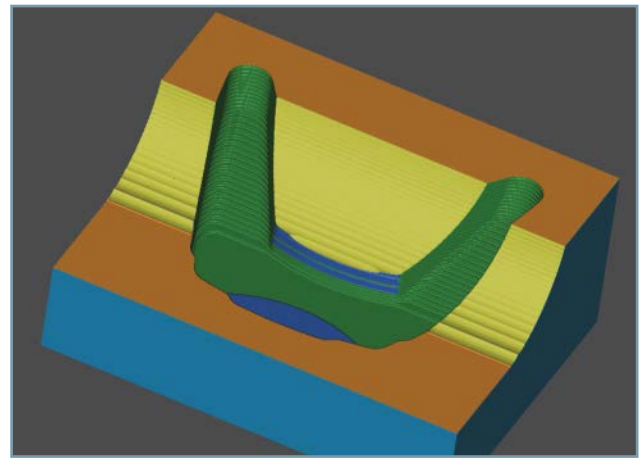


Рис. 5.5. Результат визуализации всех операций

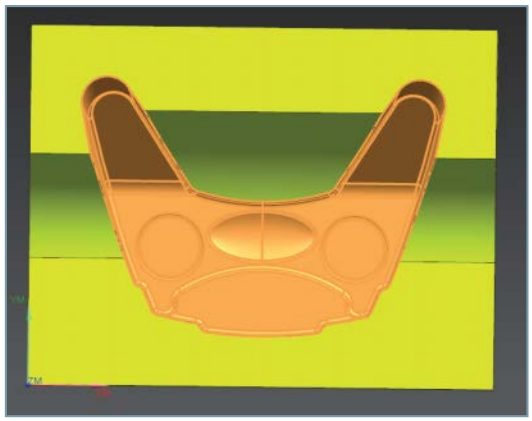


Рис. 5.6. Управление областью резания в операции ZLEVEL_PROFILE

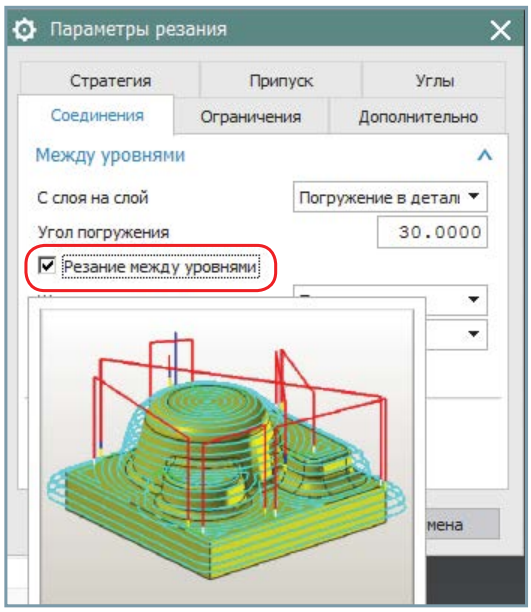


Рис. 5.7. Дополнительный параметр, разрешающий резание между уровнями

то проще их обработать той же шаровой фрезой, что и наклонные участки. Считаем, что они у нас небольшие.

Операция ZLEVEL_PROFILE для таких случаев имеет специальный флажок **Резание между уровнями**, который находится в **Параметрах резания** (рис. 5.7). Если он установлен, то резание продолжается на пологих и плоских участках с использованием шаблона **Смещение по поверхности**. Шаг этого смещения может отличаться от шага между уровнями. По умолчанию эти шаги равны.

- Установите флажок и сгенерируйте операцию снова.
- Результат показан на рис. 5.8.

В группе параметров резания имеются другие параметры, специфические для данной операции. Рассмотрим их.

Направление резания возможно не только попутное или встречное (как в операции CAVITY_MILL), но и смешанное (рис. 5.9).

Это позволяет минимизировать холостые движения инструмента (и это в ряде случаев допустимо, если припуск на обработку небольшой, что характерно для чистовых операций).

Флажок **Продолжить резание, пока инструмент имеет контакт** полезен, если на изделии существуют поднутрения или вырезы. Обратите внимание, что эта операция не обрабатывает поднутрения. Установленный флажок добавляет проходы по воздуху, но минимизирует прерывания резания и уменьшает фрагментацию рабочих ходов. Контекстно-зависимые рисунки прямо в диалоговом окне операции поясняют сказанное (рис. 5.10).

Флажок **Обкатка инструмента по ребрам** продлевает рабочие ходы так, чтобы инструмент обкатывал кромку (рис. 5.11). Он полезен, если такая кромка больше не будет обрабатываться другой операцией.

Переходы между уровнями возможны 4 типов (рис. 5.12): в соответствии с общими настройками вспомогательных движений, **По обрабатываемой геометрии** (1), **Погружение в деталь** (2), **Смещенное погружение в деталь**. Два последних типа перехода характерны для высокоскоростной обработки, так как сглаживают острые углы траектории.

Параметр **Обрезка по** (**Параметры резания** – **Ограничения**) позволяет исключить проходы вокруг силуэта детали (рис. 5.13).

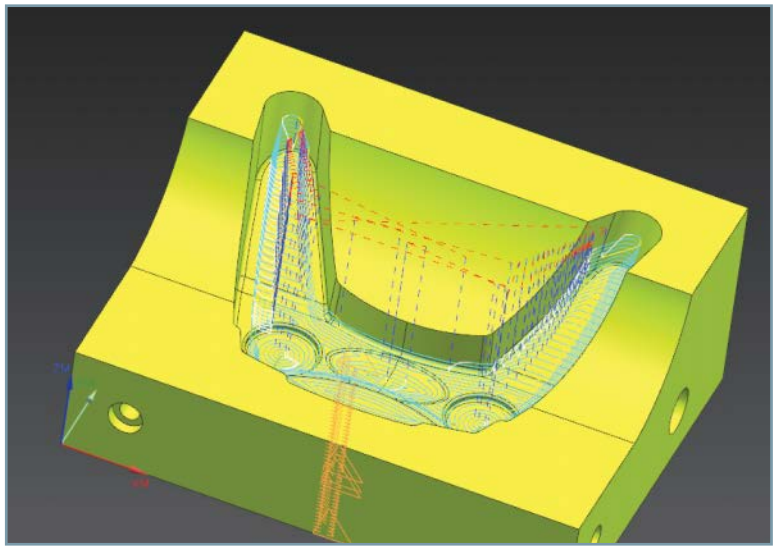


Рис. 5.8. Обработка наклонных и ненаклонных участков модели разными стратегиями в одной операции улучшает условия резания и минимизирует холостые ходы инструмента

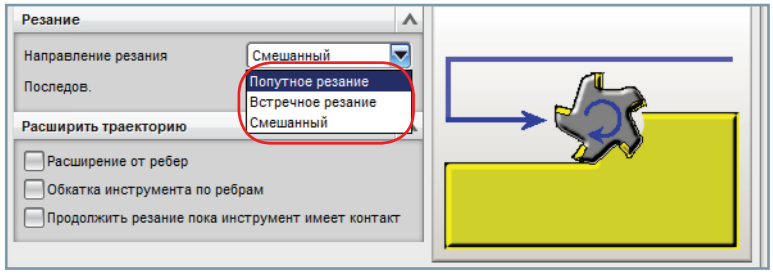


Рис. 5.9. В этой операции возможно смешанное направление резания

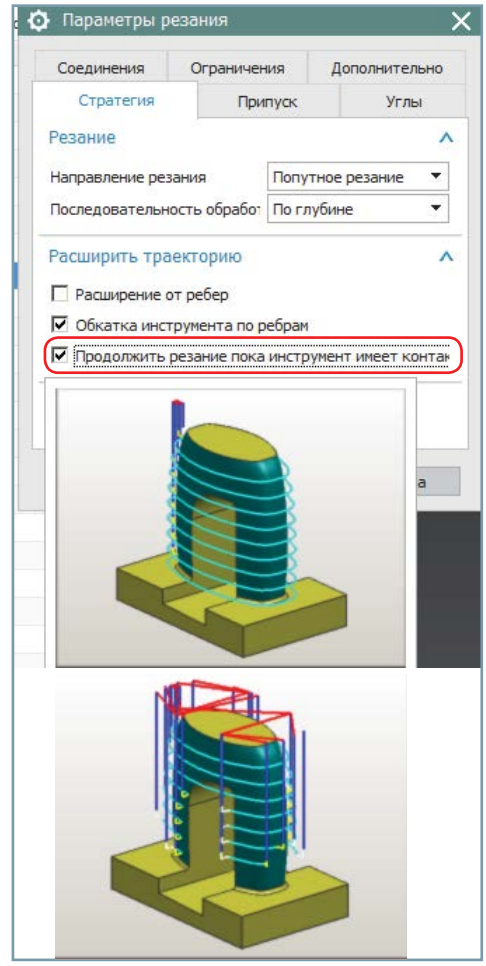


Рис. 5.10. Действие флага Продолжить резание, пока инструмент имеет контакт

Операция ZLEVEL_CORNER

Как уже отмечалось, эта операция является частным случаем операции ZLEVEL_PROFILE. Она служит для доработки углов меньшего радиуса, расположенных главным образом на наклонных участках модели.
Для расчета области доработки используется ссылка на предыдущий инструмент (рис. 5.14 показывает фрагмент диалогового окна операции). Обратите внимание, что операция ссылается на инструмент, а не на другую операцию (сама предыдущая операция может и не существовать).
Ссылочный инструмент можно выбрать, создать или изменить прямо в диалоговом окне операции. Также в этой операции включено управление наклонами по умолчанию.
Существуют некоторые отличия в **Параметрах резания**. Отсутствует флажок **Резание между уровнями**. Не все значения параметра перехода между уровнями доступны (два последних значения используются на кольцевых проходах, но не на доработке углов). Имеется параметр **Перекрытие** (рис. 5.15), который как раз важен при доработке углов. Смысл этого параметра виден по рис. 5.16.

- Создадим операцию ZLEVEL_CORNER. Для доработки будем использовать шаровый инструмент диаметром 4 мм (радиус в углах модели 2 мм, что было определено через анализ геометрии).
- В качестве ссылочного используйте шаровый инструмент диаметром 16 мм (он использовался ранее), шаг задайте равным 2 мм.
- Генерируйте операцию (рис. 5.16).

Не все углы данной модели доработаны, так как многие из них расположены на пологих участках. Для доработки таких углов позднее воспользуемся другой операцией.

Примечание. Доработка углов подробно рассмотрена в главе 11, посвященной 3-осевым контурным операциям.

- Сохраните модель для дальнейшего использования.

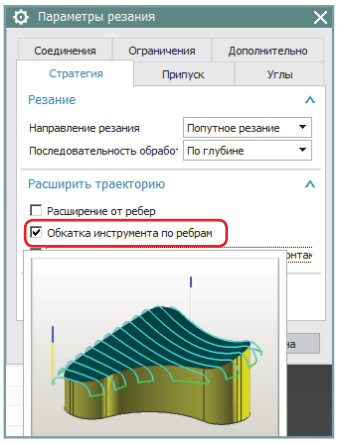


Рис. 5.11. Действие флага Обкатка инструмента по ребрам

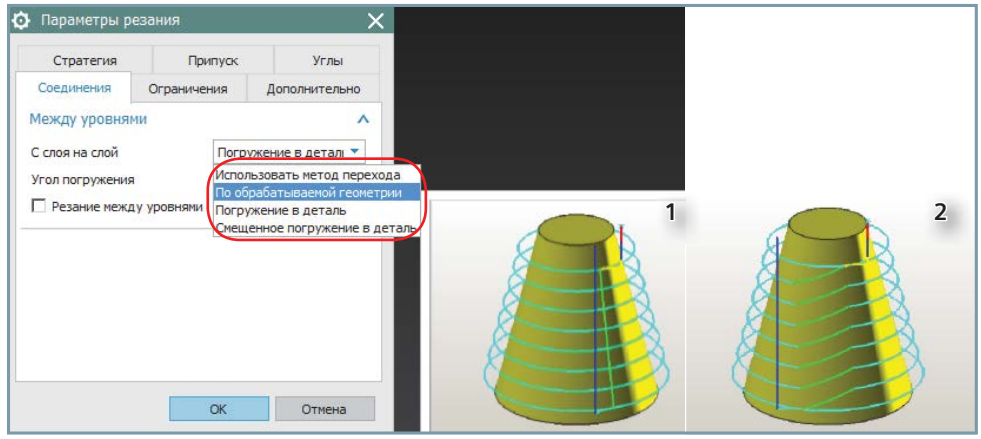


Рис. 5.12. Возможные переходы между уровнями

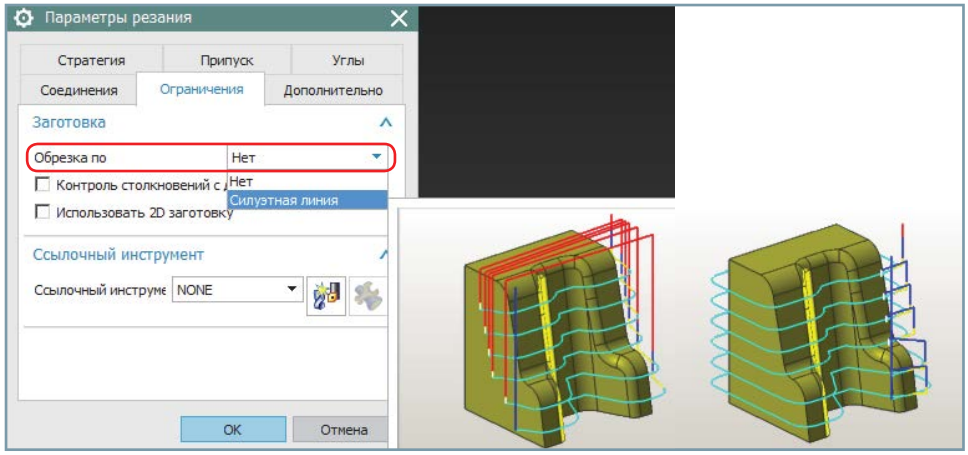


Рис. 5.13. Действие параметра Обрезка по силуэтным линиям

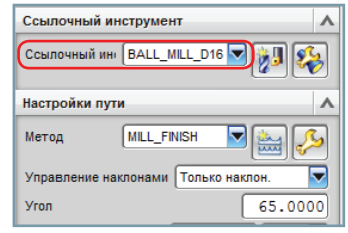


Рис. 5.14. Вариант операции для доработки углов на наклонных участках модели использует ссылку на предыдущий инструмент

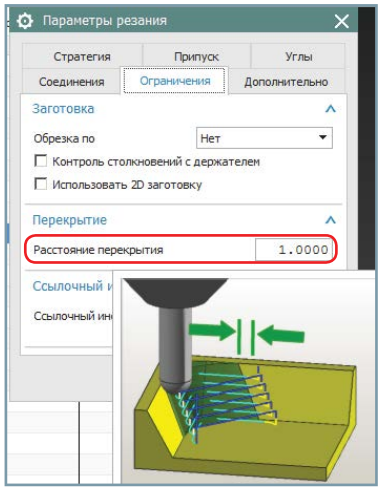


Рис. 5.15. Параметр Перекрытие позволяет сгладить стыки областей доработки

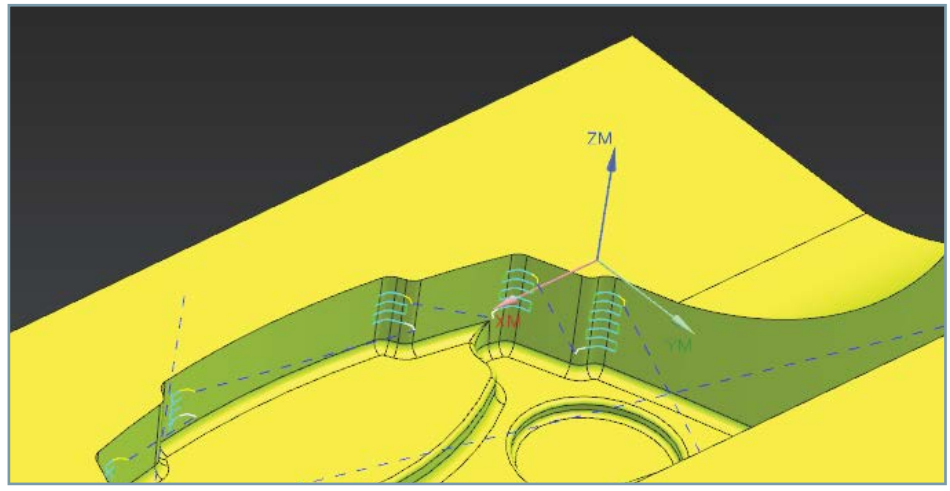


Рис. 5.16

Глава 6

Обработка с использованием границ – PLANAR_MILL

Содержание главы

- Обработка контуров
- Обработка тел на основе границ
- Коррекция инструмента

Обработка с использованием границ – PLANAR_MILL

Операция PLANAR_MILL удаляет материал плоскими уровнями, перпендикулярными фиксированной оси инструмента, то есть это 2.5-осевая операция. Но, в отличие от FACE_MILL, этот тип операций не работает с твердыми телами или гранями, он работает с границами, это более трудоемко, но зато в некоторых случаях более гибко. Операция была весьма популярна в старых версиях продукта, сейчас потребность в ней снижается. Теперь ее можно отнести к тонким методам обработки (или низкоуровневый доступ). Обычно эти операции используются тогда, когда операции на основе твердых тел не дают нужного результата. Для задания границ могут использоваться как проволочные объекты (линии, дуги, кривые), так и грани твердого тела. Инструмент может обходить границу как снаружи, так и изнутри. Это задается как сторона материала, и можно считать, что обрабатывается бобышка или карман. Границы являются плоскими и перпендикулярны оси инструмента. Дополнительно задается уровень пола. Операции могут быть как однопроходными, так и многопроходными.

Команды операций PLANAR_MILLING находятся в группе mill_planar (рис. 6.1). Их пять, но все они представляют одну и ту же операцию с преднастроенными параметрами.

Базовая операция PLANAR_MILL (1) и операция PLANAR_PROFILE (2) используются наиболее часто.

Операция имеет довольно много параметров, разбирать их подробно не позволяют рамки книги. Поэтому разберем операцию кратко.

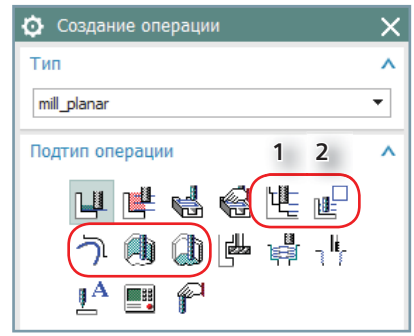


Рис. 6.1. Расположение команд операции PLANAR_MILL

Обработка контуров

- Начнем с обработки контура, то есть у нас вообще нет твердотельной модели.
- Откройте файл planar_cont1.prt. У нас имеются два контура, лежащих на уровне Z = 0 (рис. 6.2).
- Выполните команду создания операции PLANAR_MILL, диалоговое окно создания операции появится (рис. 6.3).

В группе **Геометрия** отсутствуют привычные геометрические группы **Детали**, **Заготовки**, **Области резания** и др. Вместо них присутствуют новые геометрические группы:

1) Граница детали;
2) Граница заготовки;

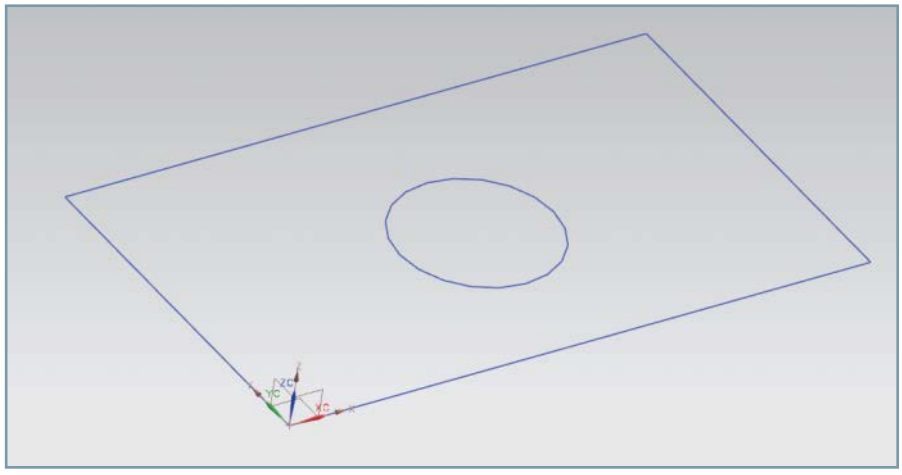


Рис. 6.2. Пример для иллюстрации обработки контуров

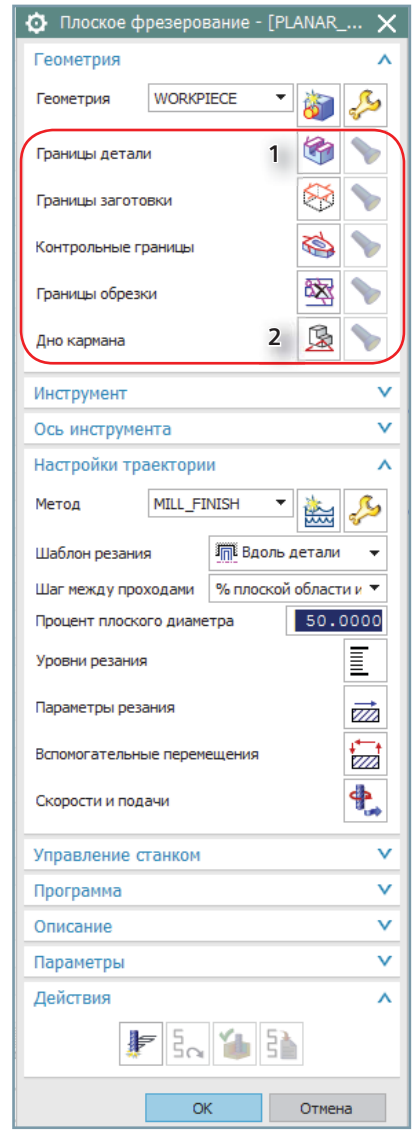


Рис. 6.3. Диалоговое окно операции PLANAR_MILL

3) Контрольная граница;
4) Граница обрезки;
5) Дно кармана.

Для обработки контура достаточно задать **Границу детали** (1) и **Дно кармана (2)**. Считаем, что необходимо обработать карман, заданный внешним контуром.

- Выполните команду задания границы детали (1).
- Новое диалоговое окно появится (рис. 6.4).
- Если модель представлена твердым телом, то чаще границы задают выбором граней.
- В нашем случае переключите **Режим** (3) на параметр **Кривые/Ребра**, вид диалогового окна изменится (рис. 6.5).
- Измените сторону материала – **Снаружи** (4) и выберите кривые внешнего контура. Можно их выбрать по одной, а можно задать опцию выбора **Связанные кривые** и указать одну из кривых.
- Весь контур будет выбран.
- Нажмите **ОК** два раза.
- Теперь надо задать **Дно кармана**. Выполните команду задания дна кармана. Новое диалоговое окно появится (рис. 6.6).
- Задавать дно гранью тела является предпочтительной опцией, но в данном случае измените **Тип плоскости** на XC–YC.
- В графической области экрана при этом появится маркер плоскости.
- Можно задать смещение от уровня Z = 0 как динамически, так и в специальном поле. Выполним обработку на уровне Z = 0.
- Нажмите **ОК**.

Обратите внимание, что в основном диалоговом окне операции стали активными фонарики около геометрических групп **Границы детали** и **Дно кармана** – объекты заданы и могут быть отображены.

- **Шаблон резания** задайте как **Профиль** и нажмите **Генерировать**.
- Операция будет создана. Однако врезание (подход к контуру) лучше изменить. При обработке контура чаще принято задавать врезание по касательной или по дуге.

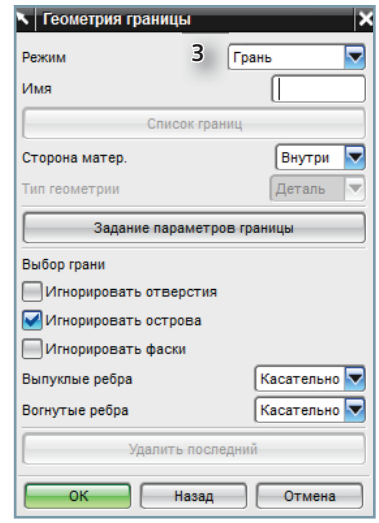


Рис. 6.4. Диалоговое окно задания границ (выбор по грани)

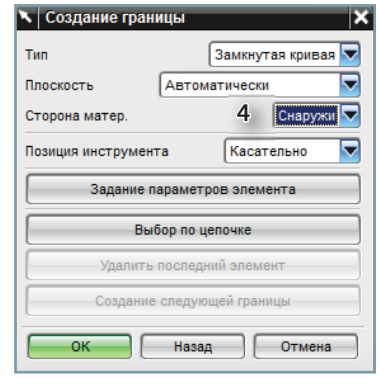


Рис. 6.5. Диалоговое окно задания границ (выбор кривыми)

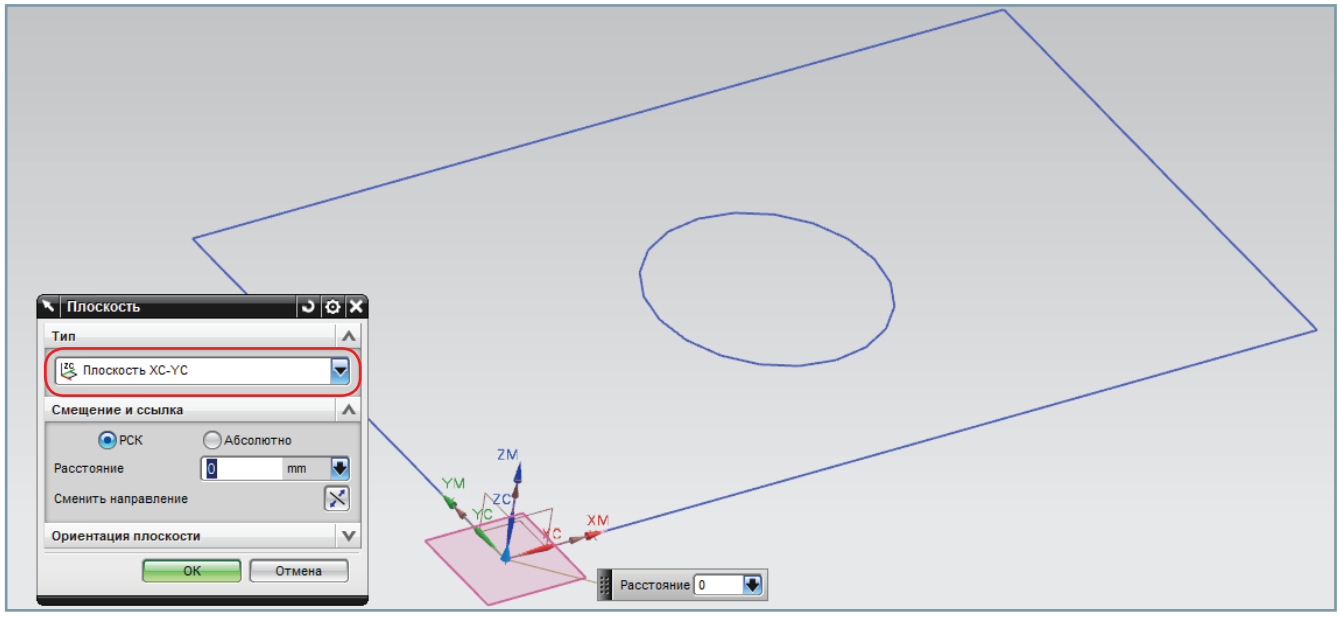


Рис. 6.6. Задание дна кармана как уровень плоскости XY

- Измените тип **Врезания** в открытой области на **Дуга** (во **Вспомогательных перемещениях**) и перегенерируйте операцию.
- Врезание и отвод по дуге будут добавлены (рис. 6.7).
- Нажмите **ОК**, чтобы сохранить операцию.

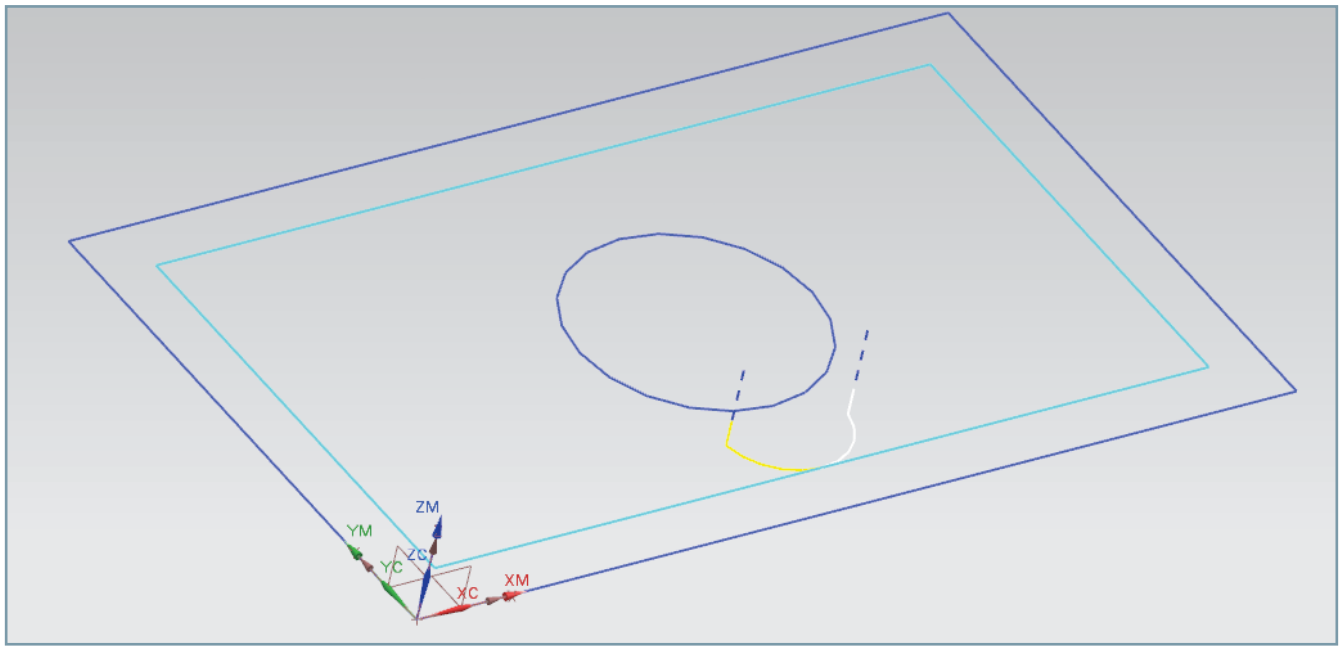


Рис. 6.7. Пример операции обработки контура

Большая часть **Параметров резания**, **Вспомогательных перемещений**, **Шаблонов резания** нам уже знакома. Разберем специфические параметры этой операции.

- Создайте копию операции в **Навигаторе операций** и переименуйте ее в PLANAR_MILL_MULTILEVEL. (Переименование – необязательный шаг, но желательно его выполнить, чтобы потом было легче ориентироваться в проекте. В нашем случае это имя используется в книге для описания дальнейших шагов.)
- В копии переопределите уровень дна Z = -10 и снова перегенерируйте операцию.
- Выполните команду **Уровни резания**. Новое диалоговое окно появится (рис. 6.8). Уровни резания в этой операции отличаются от тех, что использовались в операциях CAVITY_MILL и ZLEVEL_PROFILE.
- Задайте **Тип** – **Постоянный** и **Глубина резания** 2 мм.
- Нажмите **ОК** и перегенерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 6.9.

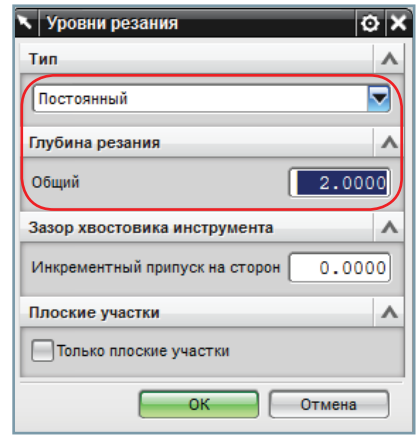


Рис. 6.8. Диалоговое окно задания уровней резания

Количество проходов явно не задается, а определяется расстоянием от уровня дна до уровня границы и глубиной резания. Это важно помнить, когда будем определять границы на твердом теле. В данном случае это расстояние равно 10 мм, глубина резания равна 2 мм, что дает нам 5 проходов.

- Сделайте еще одну копию первой операции PLANAR_MILL, переименуйте ее в PLANAR_MILL_OFFSET.
- Измените шаблон резания на **Вдоль периферии** и сгенерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 6.10.

Управление эквидистантными проходами осуществляется в параметрах резания. Один из них – **Направление шаблона** – показан на рис. 6.11. Он задает, от внутренних или от наружных проходов начнётся обработка. Траекторию можно улучшить, скруглив углы траектории и переходы между контурами. Эти установки также содержатся в **Параметрах резания** – вкладка **Углы** (рис. 6.12).

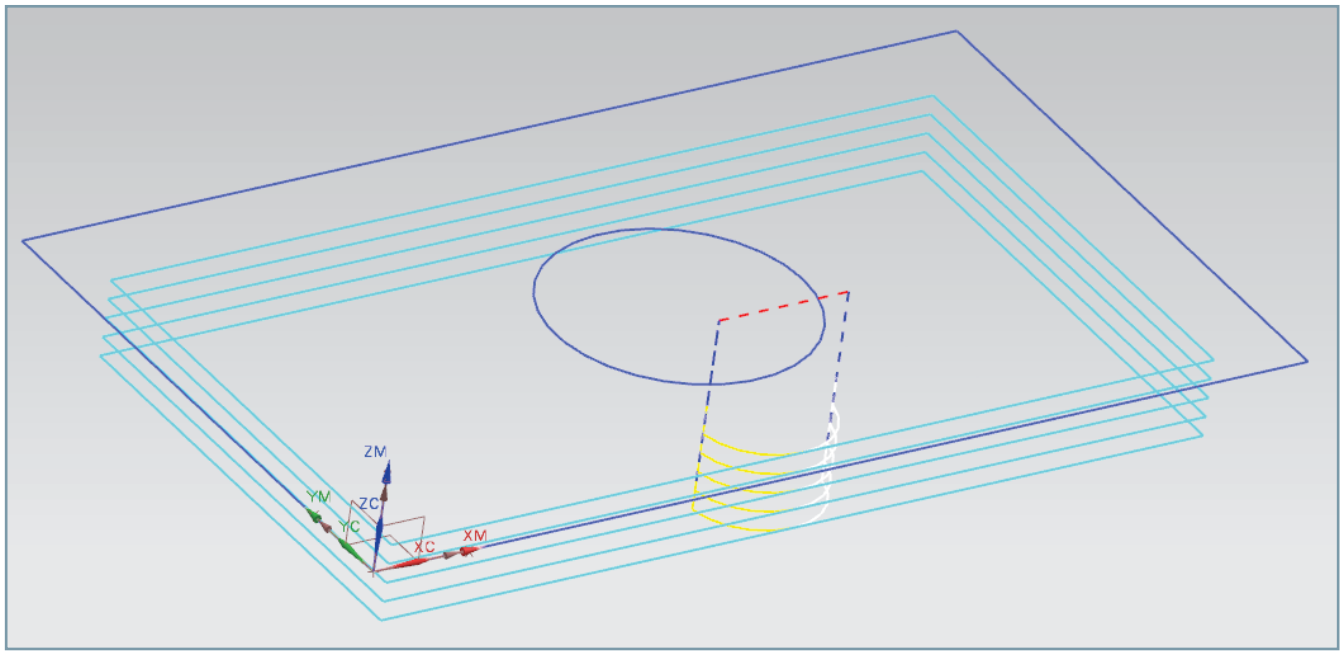


Рис. 6.9. Пример многоуровневой операции обработки контура (как бы кармана)

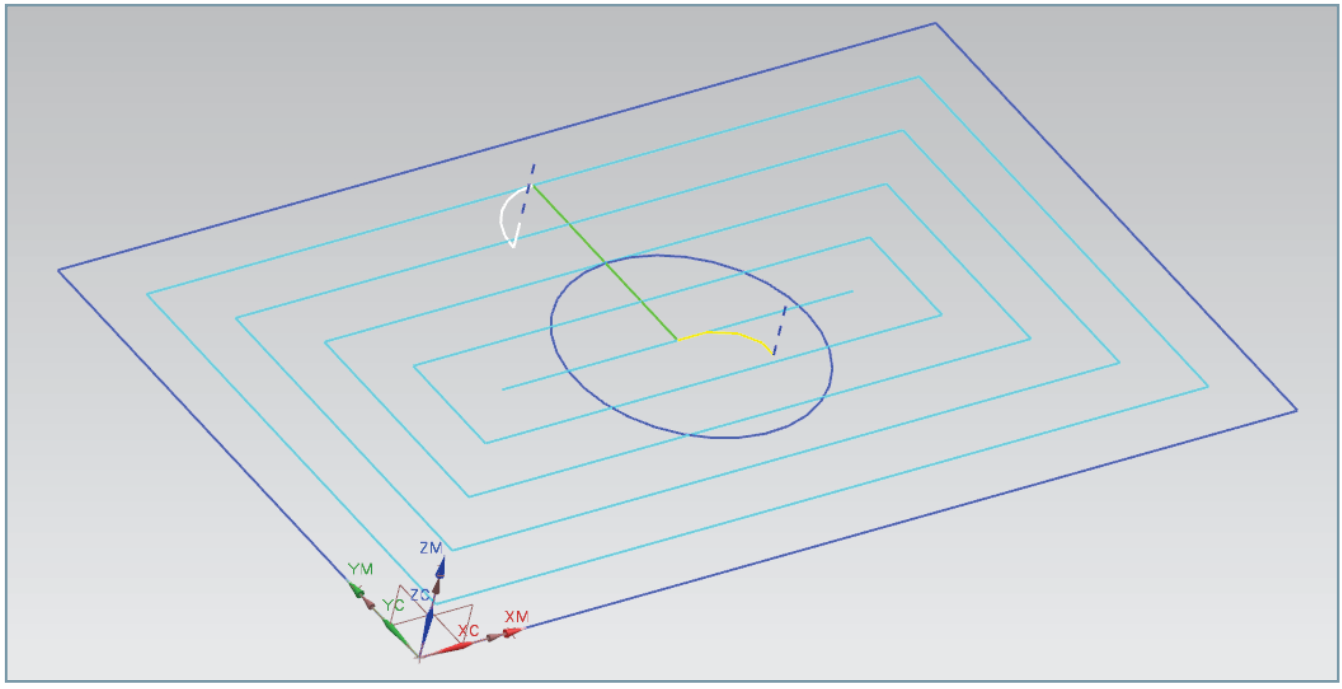


Рис. 6.10. Эквидистантный съем материала внутри контура

- Измените настройки, как показано на рис. 6.11 и 6.12, и сгенерируйте операцию (рис. 6.13).
- Обратите внимание, что за счет скруглений в траектории углы остаются недоработанными.
- После этой операции требуется чистовой проход без сглаживания углов (такая операция у нас уже создана, и она показана на рис. 6.7).

Границ в операции может быть несколько. Видно, что в рассмотренных операциях внутренний контур в виде окружности игнорируется. Добавим его к описанию границ.

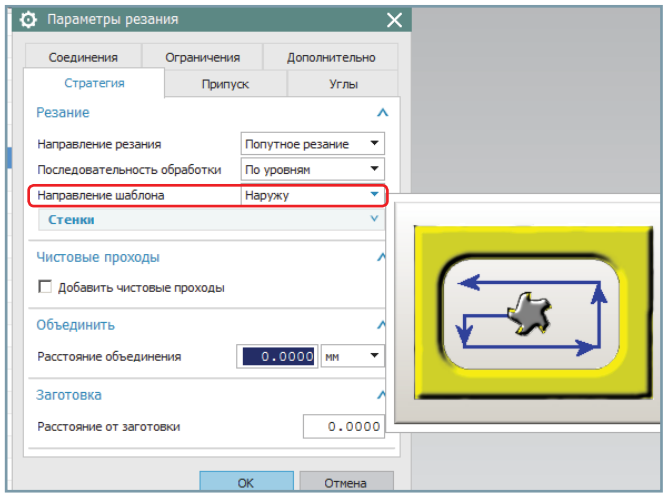


Рис. 6.11 Параметр направления шаблона при эквидистантной обработке

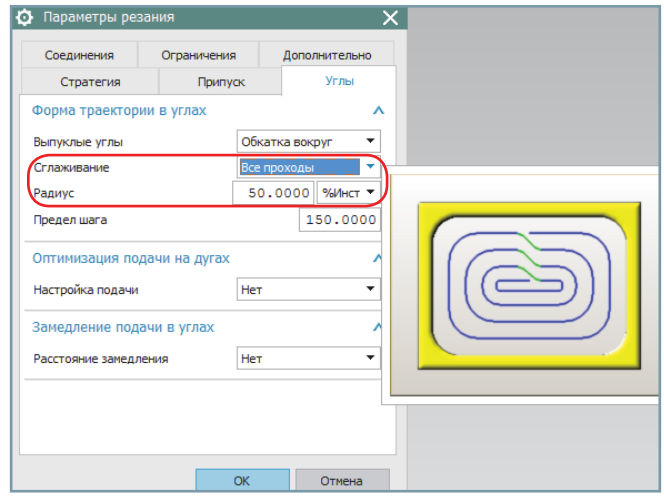


Рис. 6.12. Сглаживание острых углов и переходов между контурами улучшает условия резания

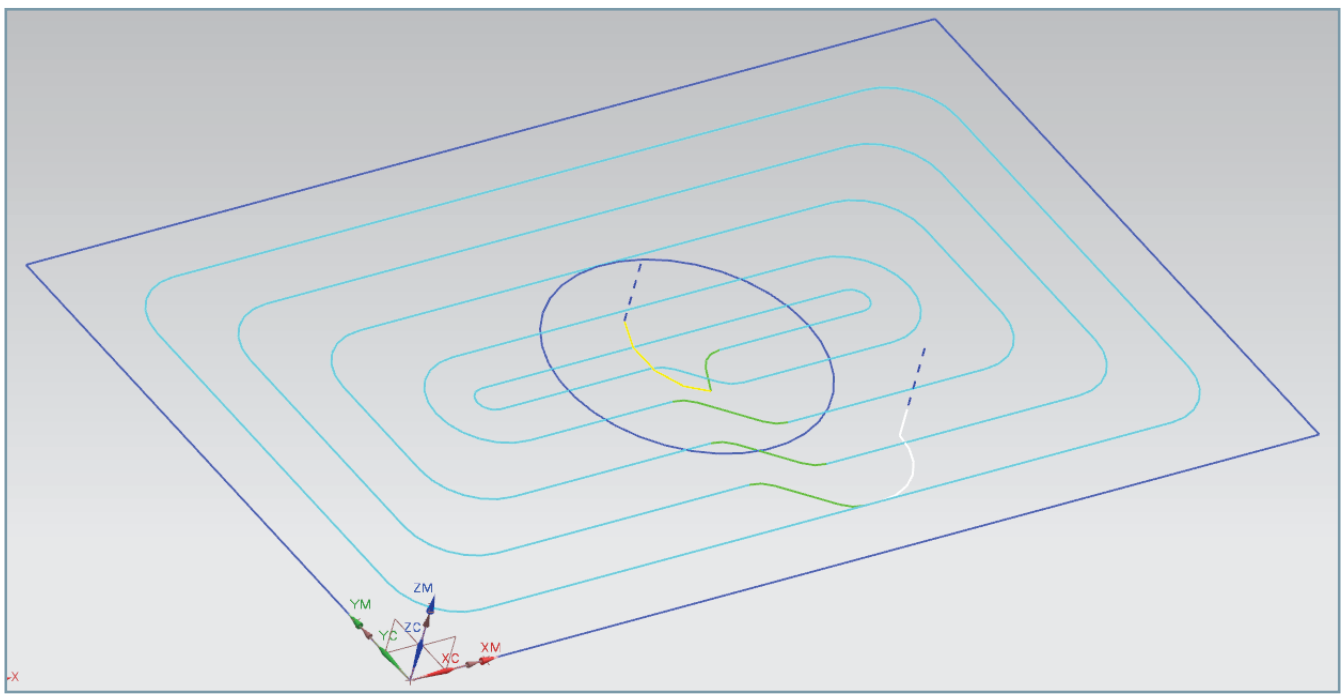


Рис. 6.13. Вариант операции со сглаживанием острых углов и переходов

- Дважды щелкните по операции PLANAR_MILL_OFFSET в навигаторе операций. В появившемся диалоговом окне выполните команду задания границы детали.
- Новое диалоговое окно появится (рис. 6.14).

Это окно допускает редактирование существующих границ в целом (1), переключение между границами, если их больше одной (2), добавление новых границ (3). Заметим, что границы в NX состоят из сегментов (элементов границы), и в режиме редактирования к ним возможен доступ (4).

Примечание. Работа с границами на уровне сегментов в книге не рассматривается.

- Выполните команду **Добавить** (3), новое диалоговое окно появится (рис. 6.15).
- Сделайте установки как на рисунке и укажите окружность.

- Нажимайте **ОК**, пока не вернетесь в основное диалоговое окно операции.
- Перегенерируйте операцию. Результат показан на рис. 6.16.
- Как видно, операция учитывает оба контура.

Появилась необходимость проверки наших программ с имитацией съема материала (верификации). Исходная заготовка для верификации берется из геометрической группы WORKPIECE. В рассмотренных ранее операциях, где обработка строилась на основе твердых тел, заготовка была задана, так как она нужна нам была для расчета операций. В операциях PLANAR_MILL для расчета заготовка не требуется, а для верификации все равно требуется.

- Перейдите в модуль моделирования и создайте блок в точке –-5 –5 –5 размерами 110×70×10.
- Вернитесь в модуль обработки и задайте блок как заготовку (рис. 6.17).

Как видно из навигатора операций, статус операций изменился на **Требуется пересчет** (красный перечеркнутый кружок рядом с названием операций). Это стандартное поведение NX при изменении родительского объекта.

- Перегенерируйте все операции из контекстного меню операций или всей группы WORKPIECE.
- Переключите вид **Навигатора операций** на **Вид программ**.
- Мышкой перетащите операцию PLANAR_MILL_MULTILEVEL в группу **Неиспользуемые объекты**.
- Операции PLANAR_MILL и PLANAR_MILL_OFFSET перетащите в группу PROGRAM и поменяйте местами.
- Выполните верификацию группы PROGRAM (рис. 6.18).

Как видно по рисунку, операция, которая отрисовывается зеленым (PLANAR_MILL), дорабатывает углы. Но она и задевает центральную бобышку при врезании и отводе (так как внутренний контур при расчете операции не учитывался). Исправим ситуацию.

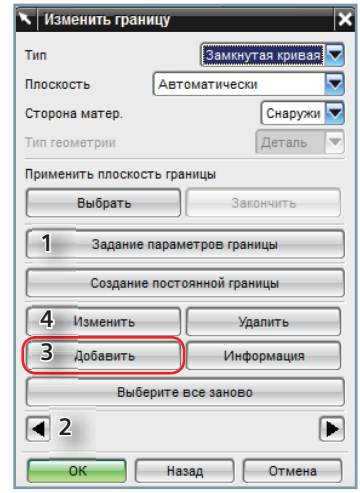


Рис. 6.14. Диалоговое окно редактирования границ

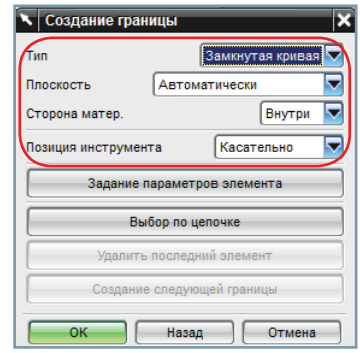


Рис. 6.15. Задание параметров второй границы

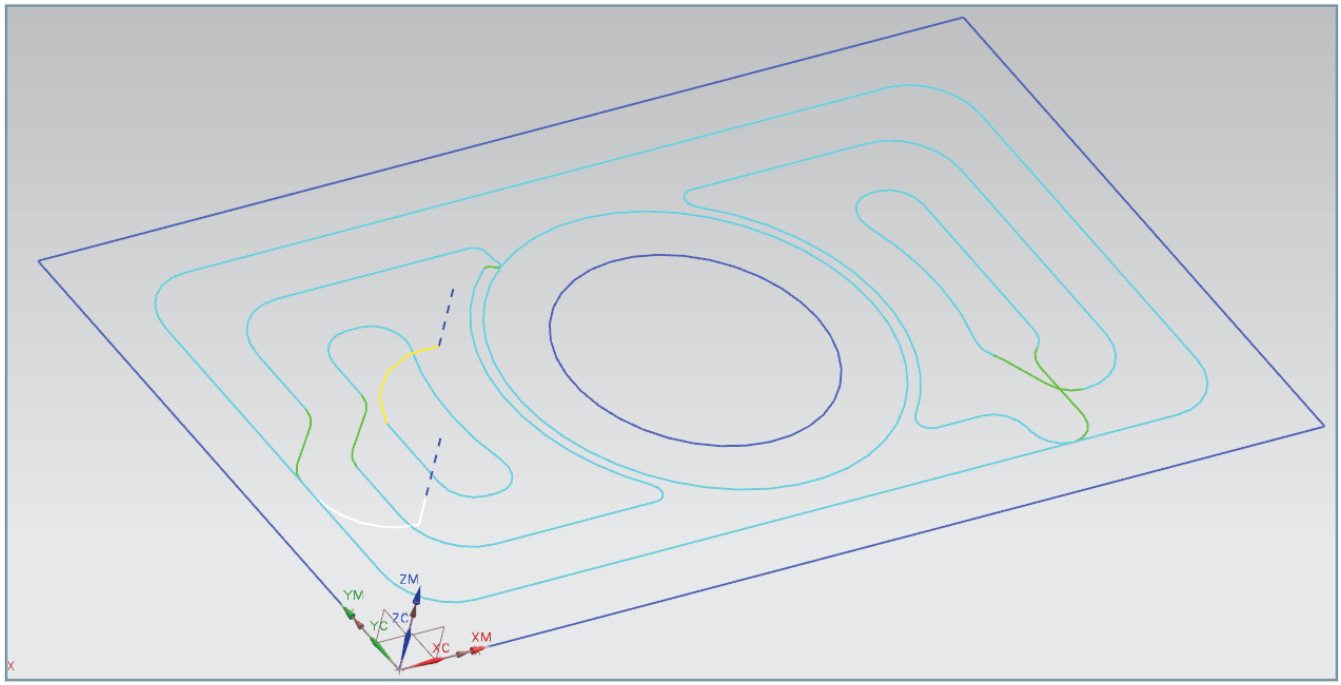


Рис. 6.16. Вариант операции, учитывающий два контура

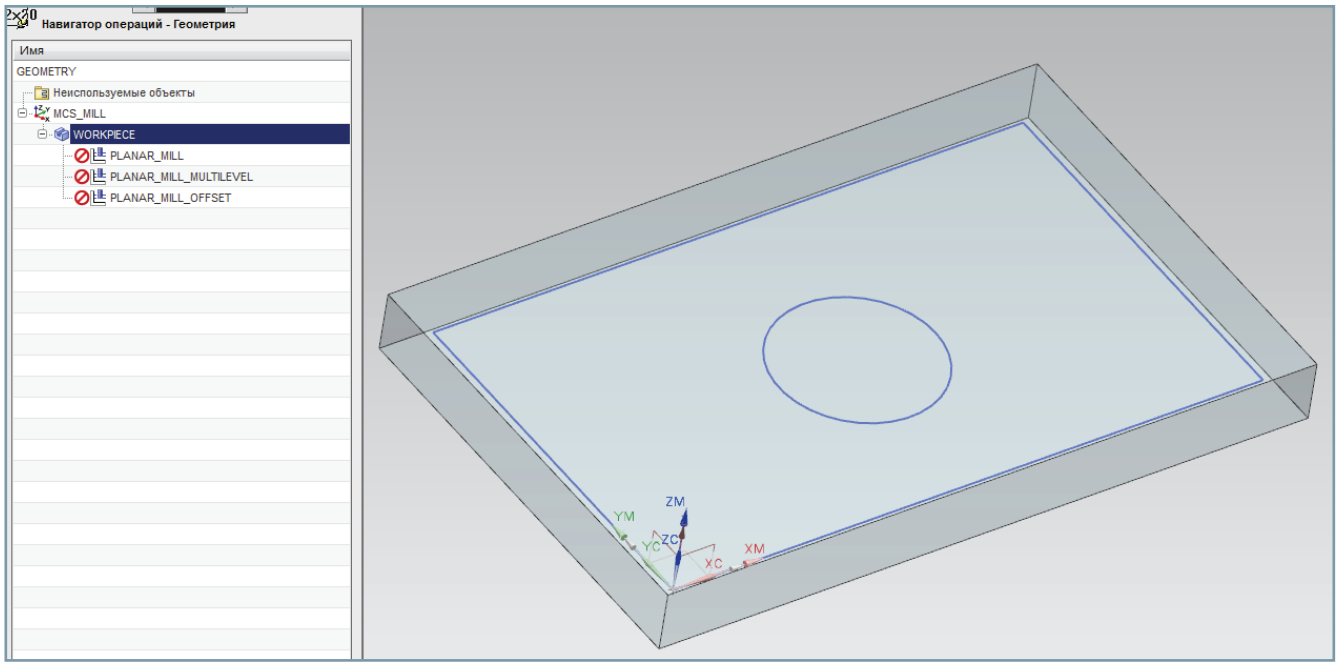


Рис. 6.17. Для визуализации съема материала требуется заготовка (хотя для расчета в этой операции она не требовалась)

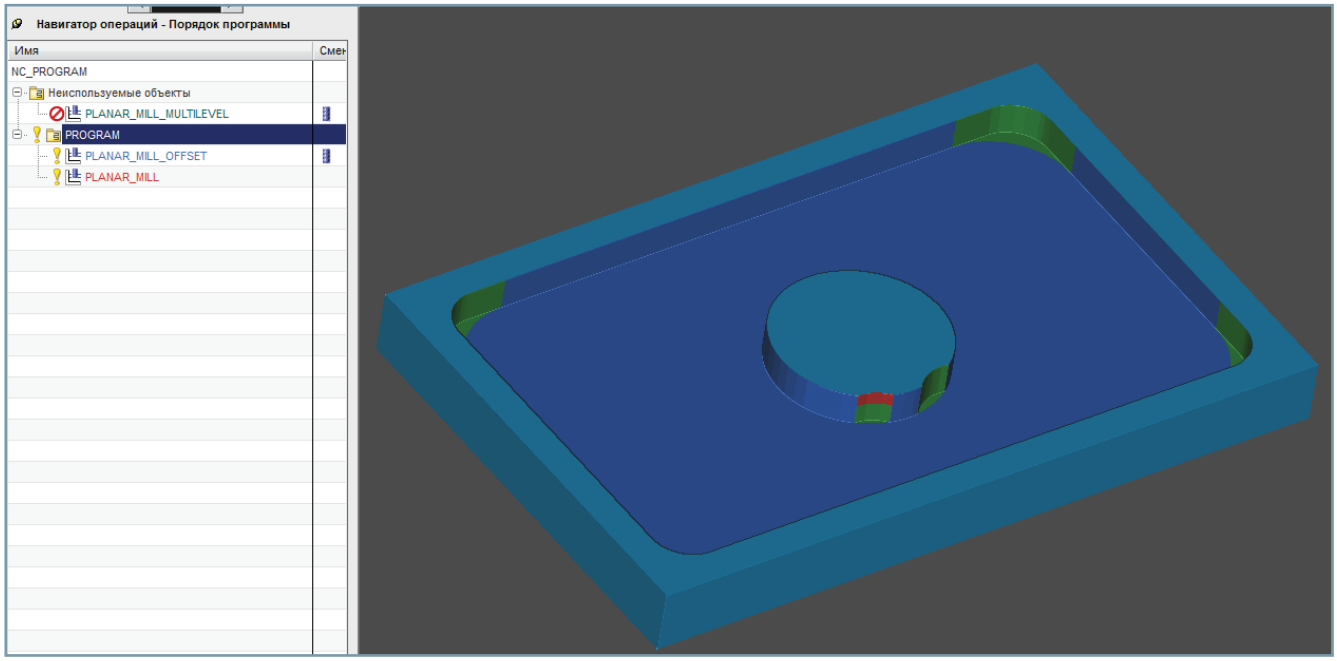


Рис. 6.18. Верификация всех операций группы PROGRAM

- Зададим внутренний контур как **Контрольную границу**.
- Выполните команду задания контрольной границы (1 на рис. 6.19).
- Диалоговое окно задания границы нам уже знакомо, задайте внутренний контур как контрольная граница и перегенерируйте операцию. Движения врезания и отвода изменятся. Повторите верификацию для группы PROGRAM – проблема исправлена.

Как альтернативу можно было бы перенести точку врезания в другое место аналогично тому, как это было сделано при рассмотрении операций FACE_MILL.
Рассмотрим теперь применение операций PLANAR_MILL на твердотельной модели детали. Это существенно проще.

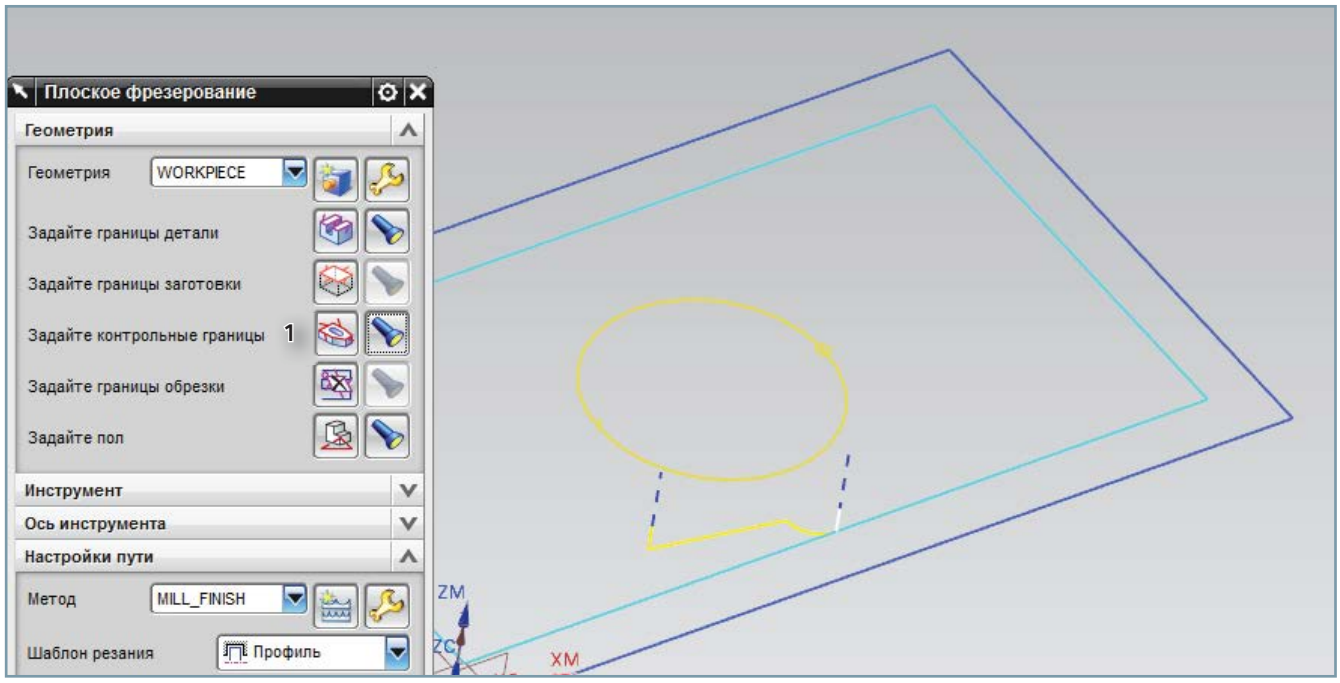


Рис. 6.19. Использование контура как контрольной границы

Обработка тел на основе границ

- Откройте пример face_milling_undercut_setup_2.prt.

Эта модель нам уже знакома. Сейчас нам необходимо создать один контур для обработки детали снаружи.

- Выполните команду создания операции PLANAR_PROFILE.
- В диалоговом окне выполните команду задания границы детали, диалоговое окно задания границ появится (рис. 6.20).

Режим – **Грань** (1) нас теперь устравает, так как граница будет задана гранью тела. **Сторона материала** – **Внутри** (2) нас также устраивает, поскольку нам нужна обработка снаружи границы. Флаги **Игнорировать отверстия** и **Игнорировать острова** (3) необходимо включить (до указания грани), так как нам не нужны внутренние контуры грани. Отверстиями в этой операции считаются все внутренние контуры с материалом снаружи, а островами – с материалом внутри.

- Укажите верхнюю грань (рис. 6.21) и нажмите **ОК**.

Для задания уровня пола можно использовать нижнюю грань детали.

- Выполните команду задания **Дна кармана** (**Пола)**.
- Новое диалоговое окно появится (рис. 6.22).
- Поле выбора грани активно, поэтому просто укажите нижнюю грань, маркер плоскости будет отображен, сейчас можно задать смещение от указанного уровня перемещением маркера стрелки или явно в поле задания смещения.

Положительное направление смещения отсчитывается по нормали к грани, но это направление можно реверсировать специальной командой в диалоговом окне задания грани (4).

- Нажмите **ОК** и генерируйте операцию. Результат показан на рис. 6.23.

Разберем вариант задания границы ребрами тела.

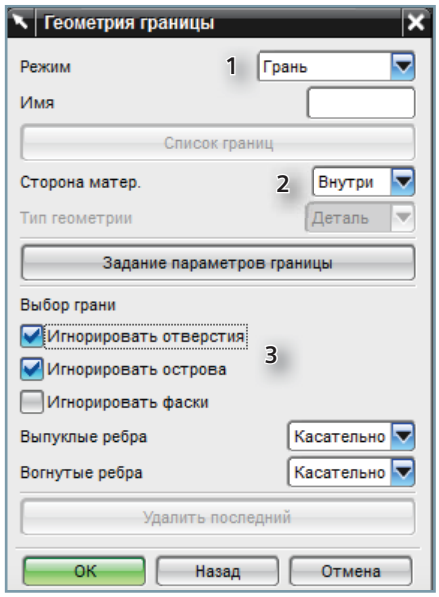


Рис. 6.20. Параметры диалогового окна задания границ на основе граней тела

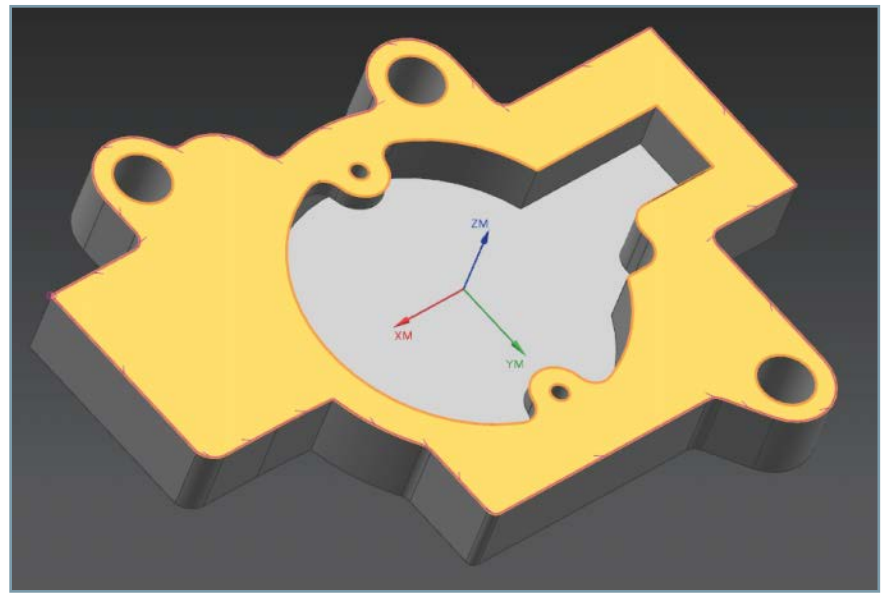


Рис. 6.21. Указанная грань подсвечена

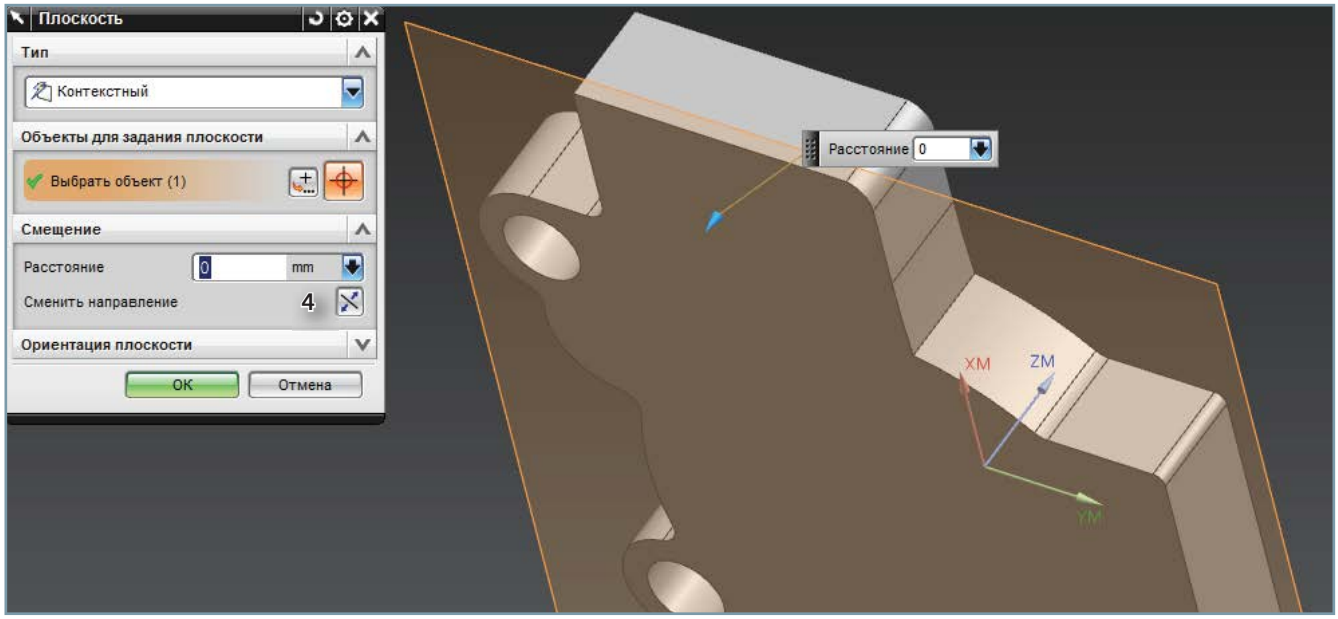


Рис. 6.22. Для обработки снаружи в качестве пола указываем нижнюю грань модели

- Создайте новую операцию PLANAR_PROFILE. Пол задайте по нижней грани, как и раньше.
- Выполните команду задания границы детали, диалоговое окно задания границ появится. Установите **Тип** – **Открытый** (1), **Сторона материала** – **Справа** (2) и укажите ребра, как на рис. 6.24.
- Нажмите **ОК**.

Для открытых границ важно направление границы, именно от него и определяется сторона материала (справа или слева), при этом действует общее правило NX: при указании первого элемента (ребра) границы направление границы будет установлено в сторону ближайшего конца ребра. Однако если направление неверное, то можно просто поменять сторону материала. При отображении границ (например, фонариком в основном диалоговом окне операции) начало границы маркируется кружочком.

- Генерируйте операцию (рис. 6.25).

Границы в операциях PLANAR_MILL можно задавать, используя и ребра, и кривые, не относящиеся к телу детали. Проиллюстрируем это.

- Постройте вспомогательную прямую, привязываясь к крайним точкам ребер модели.
- Создайте новую операцию, указав границу детали, как на рис. 6.26.
- Результат операции показан на этом же рисунке.

Коррекция инструмента

Для плоских контуров часто необходимо использовать коррекцию на радиус инструмента.
В NX все операции, которые работают в уровнях, поддерживают коррекцию на радиус инструмента.
Продолжаем работать с этим примером.

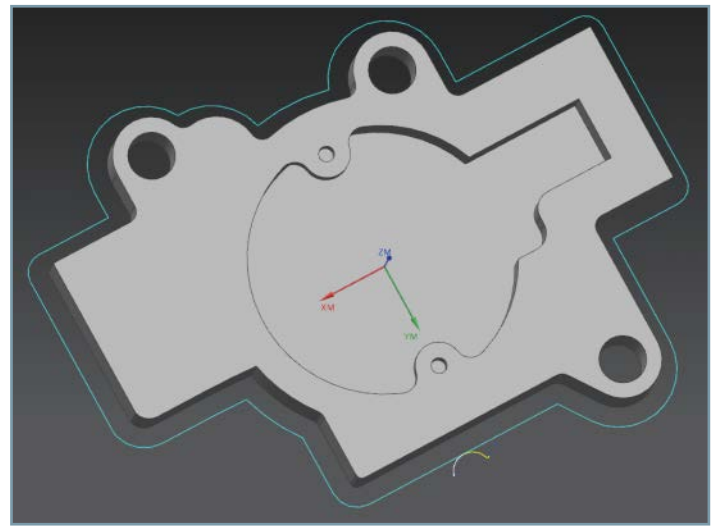


Рис. 6.23. Траектория инструмента – контур как результат обхода модели снаружи

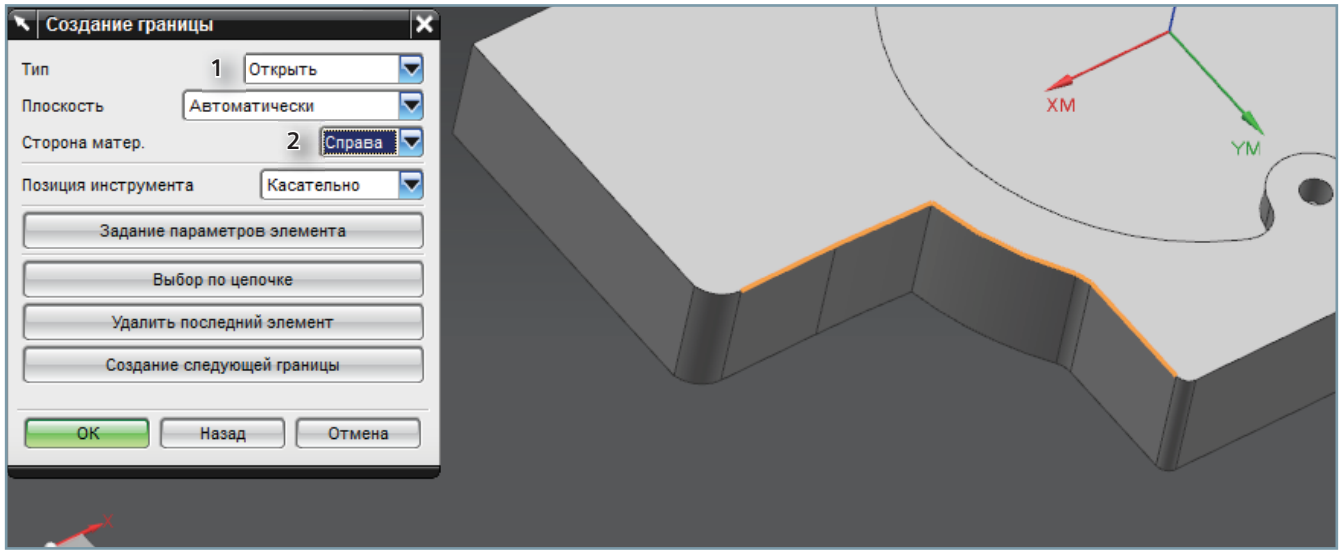


Рис 6.24 Задание границы ребрами

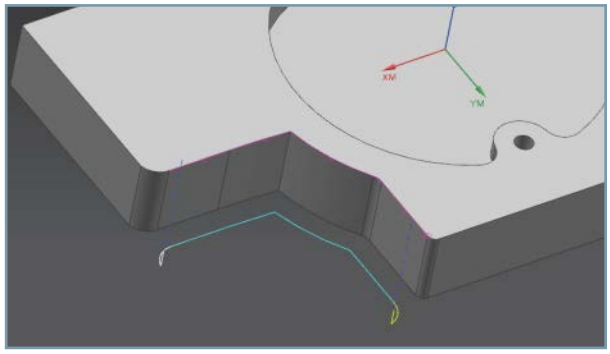


Рис. 6.25. Результат обработки по указанным ребрам

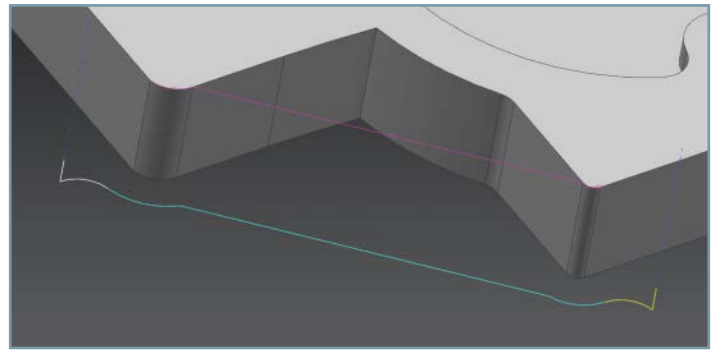


Рис. 6.26. Возможна комбинация кривых и ребер при создании границ

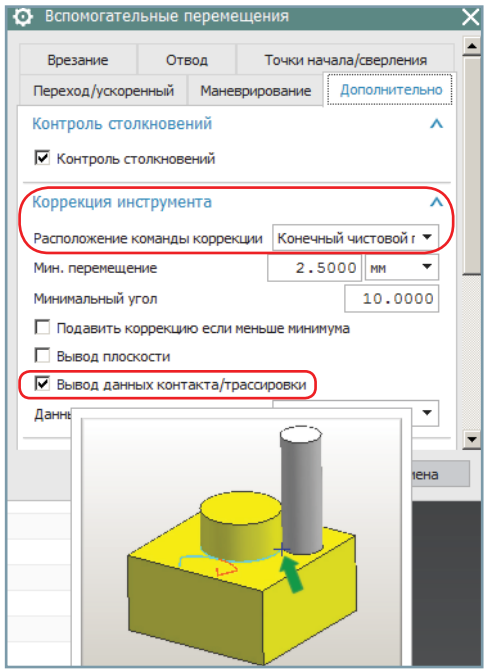


Рис. 6.27. Расположение команды коррекции инструмента

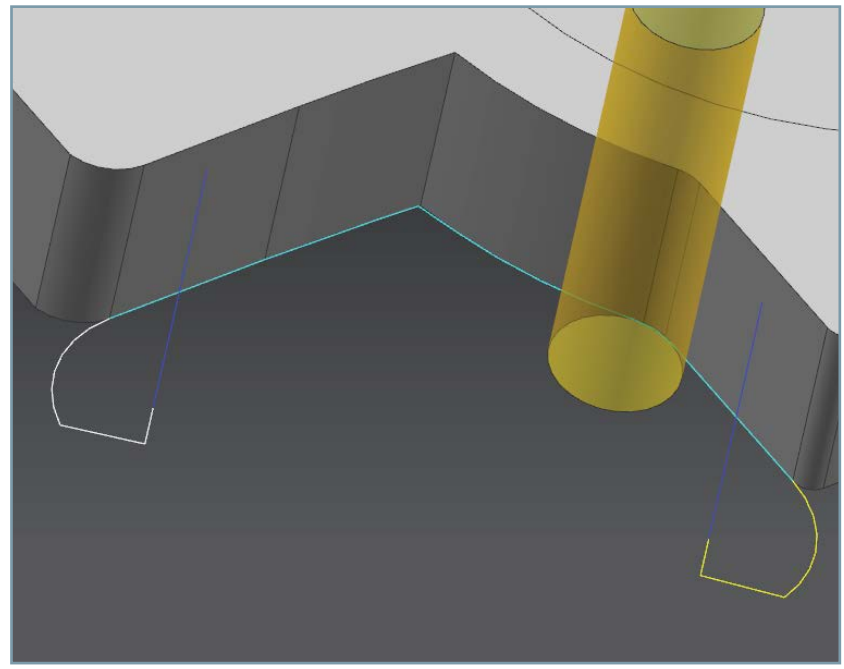


Рис. 6.28. Траектория, выполненная с коррекцией на радиус

Примечание. 3D-коррекция рассмотрена в главе 10, посвященной контурным операциям.

- Создайте копию операции, показанной на рис. 6.25 (копирование операций заметно ускоряет работу, так как в копии уже заданы границы, уровень дна и другие параметры).

Параметры коррекции находятся в диалоговом окне **Вспомогательных перемещений**, вкладка **Дополнительно** (рис. 6.27).

- Задайте параметры, как показано, и генерируйте операцию (рис. 6.28).

В результате в программу выводится фактически обрабатываемый контур. В начале врезания и после отвода добавляются дополнительные прямолинейные движения, на которых включается и выключается коррекция. Инструмент при верификации такой траектории позиционируется касательно к ней.
При постпроцессировании будут добавлены соответствующие коды (для иллюстрации это G41 и G40 в тексте программы на рис. 6.29).

```
%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
N0030 T02 M06
N0040 G0 G90 X34.6301 Y38.0471 S0 M03
N0050 G43 Z10. H02
N0060 Z-9.7
N0070 G1 Z-12.7 F250. M08
N0080 G41 X31.1377 Y41.7249 D02
N0090 G3 X25.1377 Y33.9789 I2. J-7.746
N0100 G1 Y21.3415
N0110 G3 X25.9657 Y18.9046 I4. J0.0
N0120 G2 X31.4486 Y8.1819 I-26.328 J-20.2257
N0130 G1 X32.259 Y5.469
N0140 X35.087 Y5.3315
N0150 G3 X43.1139 Y5.1365 I8.0268 J165.0912
N0160 G1 X54.3078
N0170 G3 X62.0538 Y11.1365 I0.0 J8.
N0180 G40
N0190 G1 X58.376 Y14.6289
N0200 Z-9.7
N0210 G0 Z10.
N0220 M02
%
```

Рис. 6.29. Пример управляющей программы с командами управления коррекцией инструмента

Глава 7

Библиотеки, события пользователя, постпроцессоры

Содержание главы

- Библиотека инструментов
- Библиотека режимов резания
- События пользователя
- Операция Управление станком
- Постпроцессирование
  - Настройка постпроцессора
- Цеховая документация

Библиотеки, события пользователя, постпроцессоры

Библиотека инструментов

В предыдущих разделах инструменты создавались путем явного указания их параметров. В этом разделе разберем возможности использования библиотеки инструментов.
Стандартная установка NX содержит библиотеку режущего инструмента, вспомогательного инструмента (держателей), а также библиотеку режимов резания. Эти библиотеки заполнены некоторой информацией и могут использоваться как основа для построения вашей собственной библиотеки. Подобный вариант подходит для небольших библиотек.
Для больших и сложных библиотек лучше использовать «Менеджер ресурсов», который обеспечивает большую функциональность по созданию и классификации данных. Кратко этот вопрос рассмотрен в главе 20.

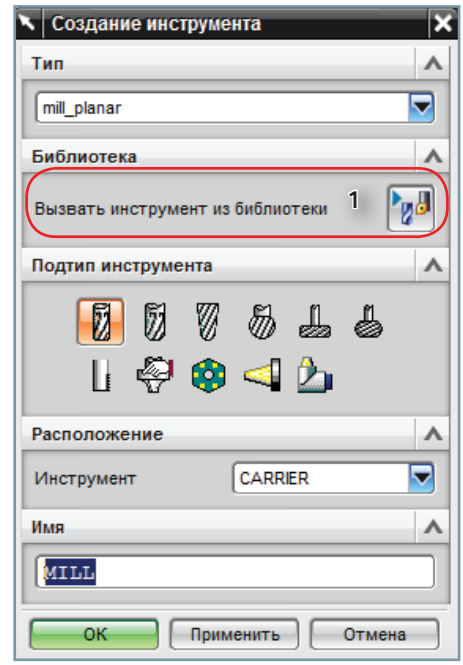


Рис. 7.1. Команда вызова инструмента из библиотеки

- Откройте пример game_remote_setup_2fin.prt. Выполните команду создания нового инструмента.
- В появившемся диалоговом окне (рис. 7.1) нажмите **Вызвать инструмент из библиотеки** (1), в новом диалоговом окне для выбора класса библиотеки (рис. 7.2) выберите **Монолитная концевая фреза** (2)
- Нажмите **ОК**.
- Появится диалоговое окно поиска по критериям (рис. 7.3).
- Задайте **Диаметр** = 6 (3), выполните команду **Количество найденных** (4), в скобках будет указано количество найденных инструментов, и затем нажмите **ОК**.
- Выберите инструмент ugt201_014 в открывшемся диалоговом окне (рис. 7.4) и нажмите **ОК**.
- Инструмент будет извлечен из библиотеки и добавлен в проект.
- Диалоговое окно создания инструмента снова появится. Так как нам больше создавать инструменты не надо, нажмите **Отмена**.
- Инструмент в библиотеке может быть связан с держателем (патроном, оправкой).
- Если инструмент в библиотеке связан с держателем, то держатель также извлекается из библиотеки.
- Найдите в **Навигаторе операций** вновь созданный инструмент UGT201_014 и дважды щелкните по нему.
- Инструмент будет показан в графической области, и диалоговое окно с его параметрами откроется (рис. 7.5).

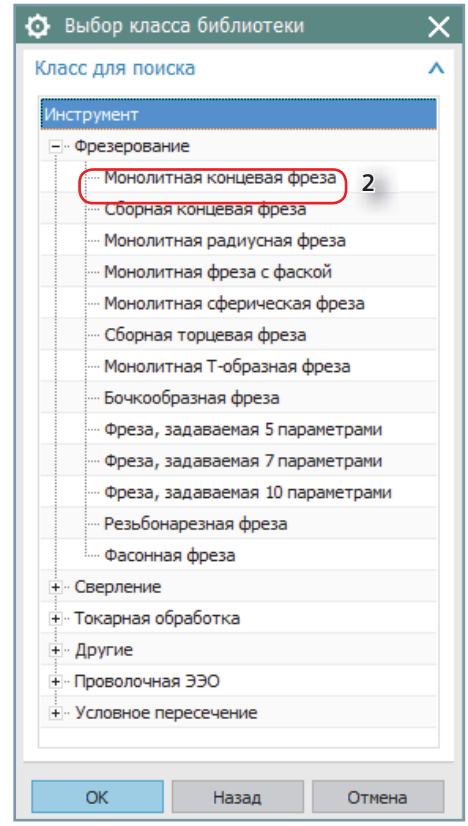


Рис. 7.2. Диалоговое окно выбора класса библиотеки

Диалоговое окно инструмента содержит 4 вкладки, вкладка **Инструмент** нам уже знакома, **Хвостовик** не задан, содержимое вкладки **Держатель** показано на рис. 7.5, вкладка **Дополнительно** содержит некоторые параметры **рабочих и вспомогательных перемещений**, которые наследуются в операцию (рис. 7.6). Держатель может быть сконструирован из нескольких ступеней, в данном случае он задан тремя ступенями (1).
Теперь рассмотрим возможность экспорта инструмента в библиотеку.
Добавим к инструменту BALL_MILL_D16 хвостовик, держатель и экспортируем его в библиотеку. Параметры хвостовика показаны на рис. 7.7, держатель задан двумя ступеньками и показан на рис. 7.8.

- Задайте хвостовик и держатель для инструмента UGT201_014.

В нижней части диалогового окна имеется группа параметров для экспорта инструмента в библиотеку, причем на вкладке **Инструмент** имеется команда **Экспорта режущего инструмента** (рис. 7.9), а на вкладке **Держатель** – для **Экспорта держателя** (рис. 7.10). После выполнениия экспорта в диалоговом окне отображается новое библиотечное имя инструмента и держателя.

- Выполните экспорт инструмента. При экспорте инструмента автоматически произойдёт и экспорт держателя.
- Закройте диалоговое окно инструмента.

Попутно рассмотрим одну очень полезную возможность по определению необходимого вылета инструмента из держателя. Этот функционал работает, только если задан держатель.

- Из контекстного меню операции ZLEVEL_PROFILE_COPY выполните **Траектория** – **Отчет о кратчайшем инструменте**.
- Сообщение (рис. 7.11) о необходимом вылете появится.

Библиотека режимов резания

Работу библиотеки режимов резания проиллюстрируем на примере операции ZLEVEL_PROFILE_COPY.

- Продолжаем работать с примером game_remote_setup_2fin.prt.
- Откройте диалоговое окно этой операции и выполните команду **Скорости и Подачи**.
- Новое диалоговое окно появится (рис. 7.12).

В нем, помимо полей для явного задания скорости резания , подачи или частоты вращения шпинделя, имеется команда **Задание режимов резания**, которая и служит для назначения режимов обработки из библиотеки. Помимо скорости резания и подачи, назначается и шаг обработки.

- Выполните команду **Задание режимов резания**. Обратите внимание на значения скорости резания и подачи, которые отображаются в диалоговом окне.

Некоторые поля диалогового окна связаны формулами, например можно задать скорость резания, а частота вращения шпинделя определится автоматически (можно и наоборот).

- Нажмите **ОК** и перегенерируйте операцию.

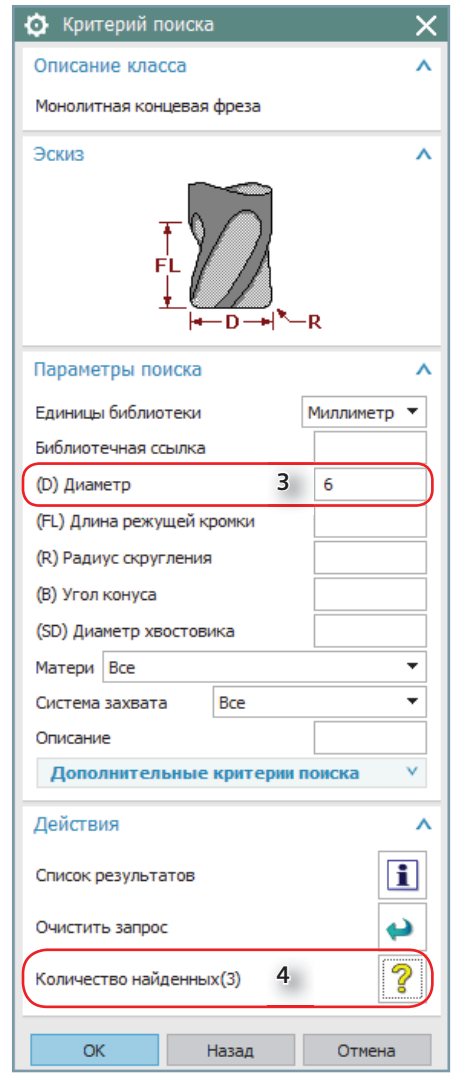


Рис. 7.3. Диалоговое окно поиска по критериям

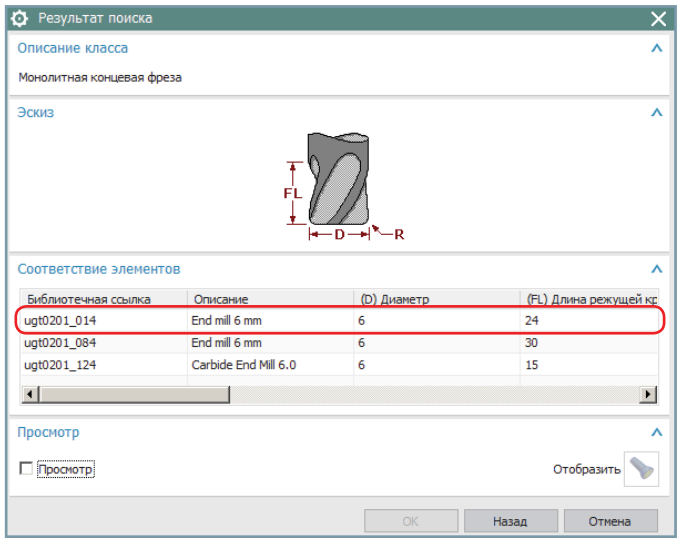


Рис. 7.4. Диалоговое окно с результатами поиска

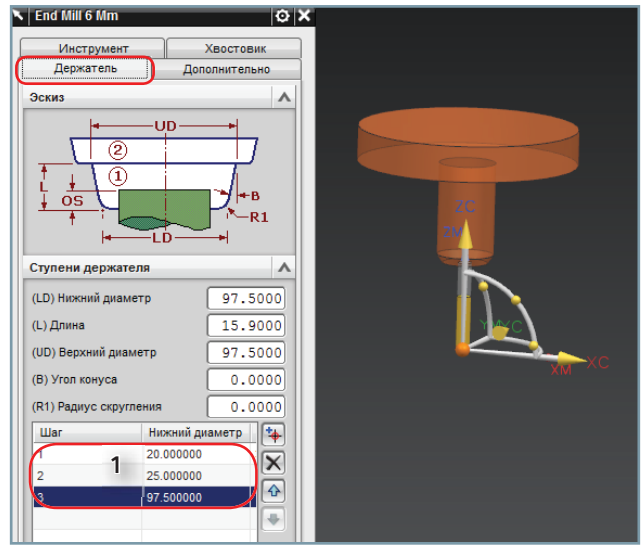


Рис. 7.5. Диалоговое окно задания параметров инструмента

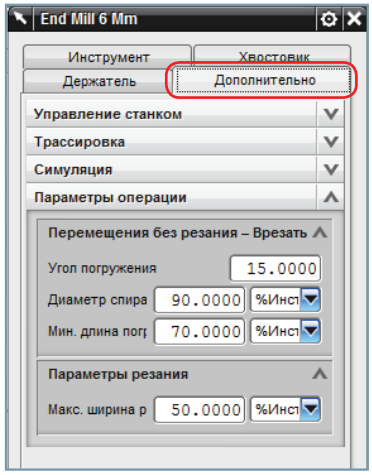


Рис. 7.6. Диалоговое окно задания параметров инструмента – вкладка Дополнительно

Можно убедиться, что количество проходов стало существенно больше, так как применено новое значение шага между проходами. Если при запуске команды **Задание режимов резания** режимы резания не назначены, это означает, что для данных условий резания запись в библиотеке отсутствует.

Что же принимается во внимание? Это прежде всего материал детали, материал инструмента, диаметр и длина инструмента. Кроме этого, учитывается и метод обработки. В нашем случае использован метод, предназначенный для высокоскоростной обработки, которая предполагает работу с малым сечением среза и отсутствие резкого изменения нагрузки. В некоторых каталогах режущего инструмента используется термин **Схема обработки**, вот со схемой и можно связать метод обработки в NX.

Посмотрим, где задаются материал детали, инструмента и метод обработки.

Материал детали задается в геометрической группе WORKPIECE (рис. 7.13), **Материал инструмента** – в диалоговом окне задания инструмента (рис. 7.14), **Метод резания** – в диалоговом окне задания метода (рис. 7.15).

Выбор и редактирование осуществляются при запуске команды редактирования. В названии материалов и метода присутствует обозначение HSM (High Speed Machining – высокоскоростная обработка), так принято в именах объектов библиотеки в стандартной поставке.

Возможны изменение и пополнение библиотеки режимов обработки. Диалоговое окно для редактирования библиотеки вызывается из правой части ленточного меню **Изменить библиотеку данных обработки** (рис. 7.16). Это редко используемая команда, поэтому она по умолчанию имеется только в выпадающем списке.

Окно имеет несколько вкладок (рис. 7.17): **Материал детали** (1), **Материал инструмента** (2), **Метод резания** (3), **Данные обработки** (4). Для сочетания выбранного материала детали, инструмента, метода (5) в основном окне (6) отображаются режимы резания построчно для различных сочетаний диаметра и длины инструмента. Промежуточные табличные значения интерполируются. Для изменения данных во всех вкладках служат команды **Встравить**, **Изменить**, **Удалить**, расположенные в нижней части диалогового окна (7).

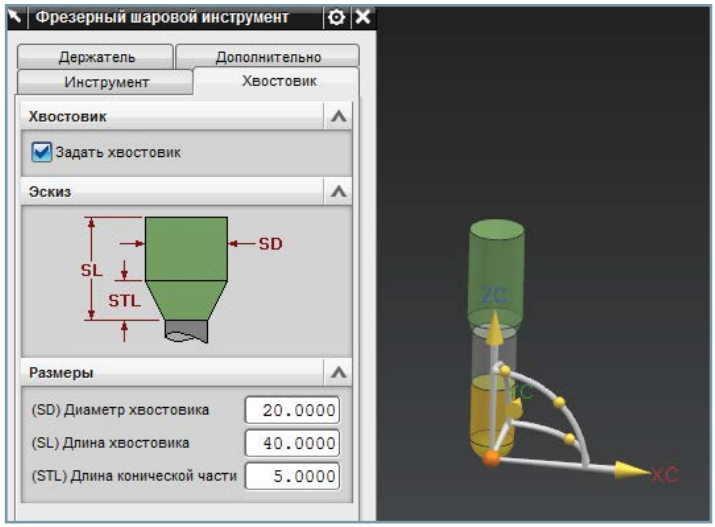


Рис. 7.7. Диалоговое окно задания параметров инструмента – вкладка Хвостовик

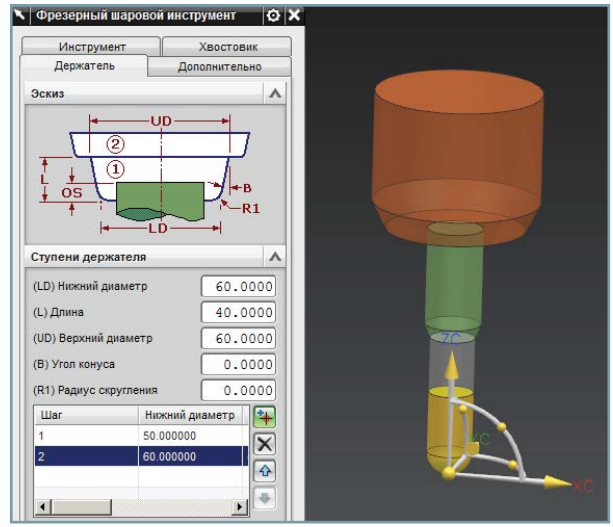


Рис. 7.8. Диалоговое окно задания параметров инструмента – вкладка Держатель

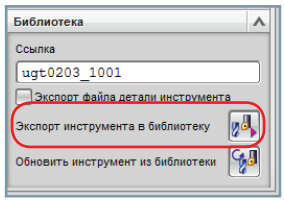


Рис. 7.9. Команда Экспорта режущего инструмента в библиотеку

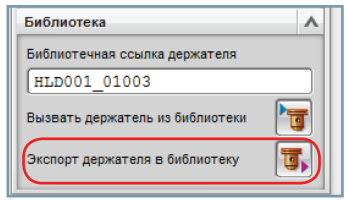


Рис. 7.10. Команда Экспорта держателя в библиотеку

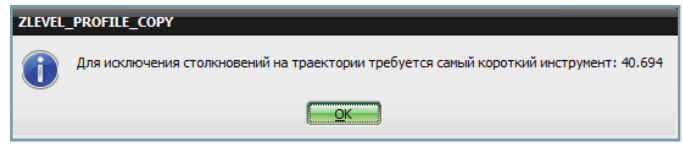


Рис. 7.11. Результат работы функции определения необходимого вылета инструмента

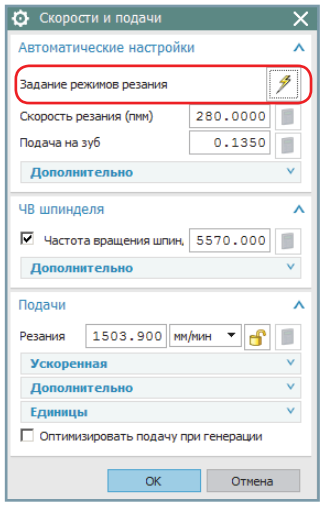


Рис. 7.12. Команда вызова режимов обработки из библиотеки

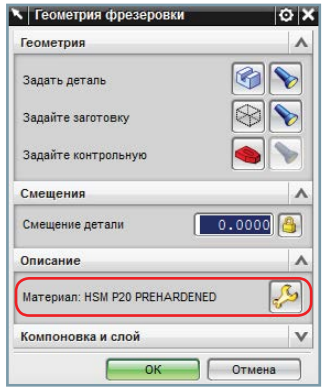


Рис. 7.13. Команда задания материала детали

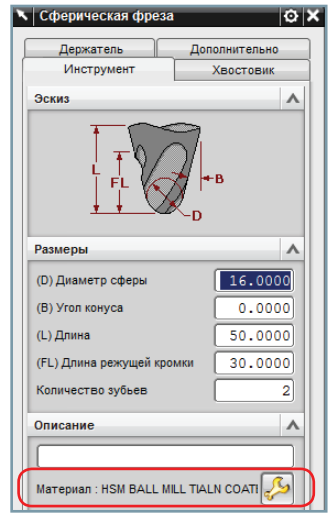


Рис. 7.14. Команда задания материала инструмента

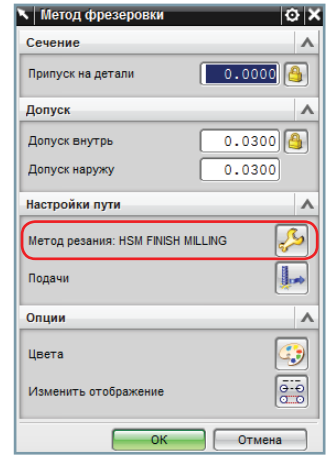


Рис. 7.15. Команда задания метода резания

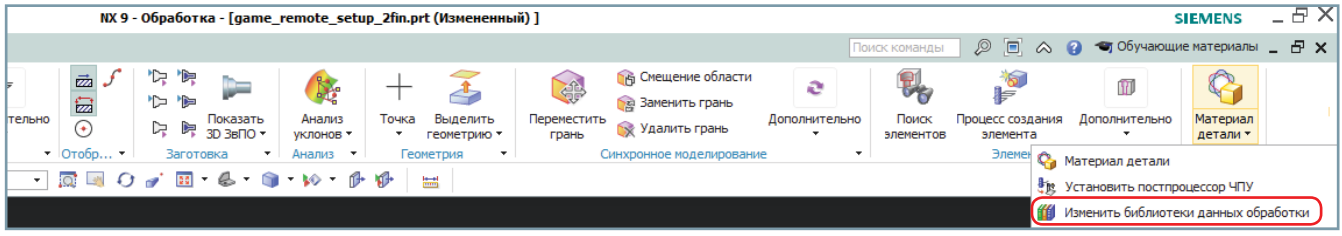


Рис. 7.16. Расположение команды Изменить библиотеку данных обработки в ленточном меню

События пользователя

События управления станком (UDE – User Define Event) предназначены для программирования в траектории инструмента команд станка, необходимость которых может определить только пользователь. Например, необходимость подачи СОЖ зависит от многих факторов, в одних случаях её требуется включать, в других – нет. Таким способом также задаются технологические команды, такие как зажим/разжим стола, управление вспомогательными механизмами и т. д. Также с помощью событий пользователя осуществляется выбор рабочего органа станка или режима работы в многофункциональных станках.

Диалоговое окно любой операции содержит команды задания событий пользователя. Они находятся в группе параметров **Управление станком** (рис. 7.18). События могут быть записаны в начале или в конце траектории инструмента.

- Добавим к операции ZLEVEL_PROFILE_COPY сообщение оператору. Выполните команду **Задать/Изменить** (1).
- Появится новое диалоговое окно (рис. 7.19).
- Выберите **Operator Message** и нажмите **Добавить новое событие** (2).

Многие события имеют диалоговое окно с параметрами события для события «сообщение оператору» это текст сообщения.

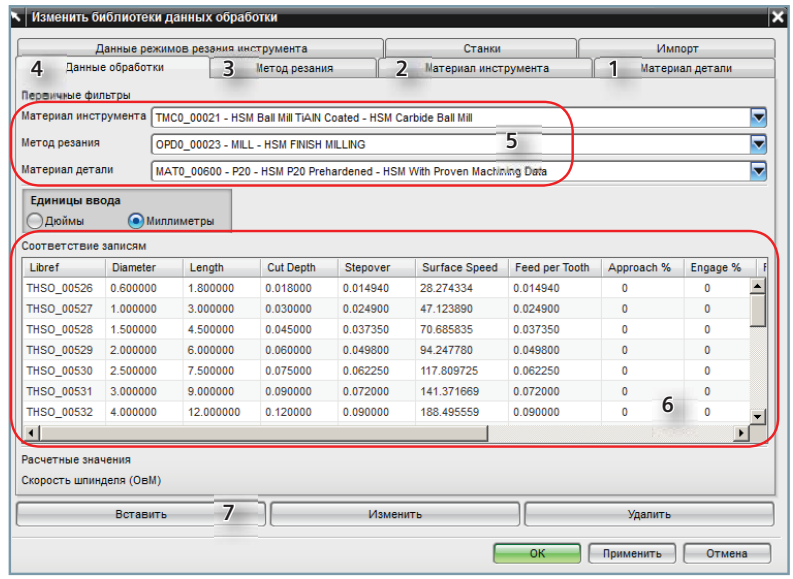


Рис. 7.17. Диалоговое окно библиотеки данных обработки

- Введите сообщение Proverka 2 (3) в новом диалоговом окне (рис. 7.20).

Это как раз тот случай, когда нельзя использовать русские буквы, поскольку сообщение будет вставлено в программу как комментарий, а большинство станков не допускает использования русских букв.

- Нажмите **ОК**.

Событие будет отображаться в окне **Использованные события**, при выборе этого события (рис. 7.21) будет активна команда **Редактирования события** (4), с помощью которой можно изменить текст в нашем случае. Нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию. При постпроцессировании наше сообщение будет вставлено как комментарий (рис. 7.22).

Операция Управление станком

В диалоговом окне создания операций NX имеется специальная команда для задания операций, не связанных с перемещением инструмента (рис. 7.23).
В ней имеется возможность задания **Событий пользователя**. Через эту команду можно создавать операции, не содержащие траектории движения инструмента, а содержащие только технологические команды.

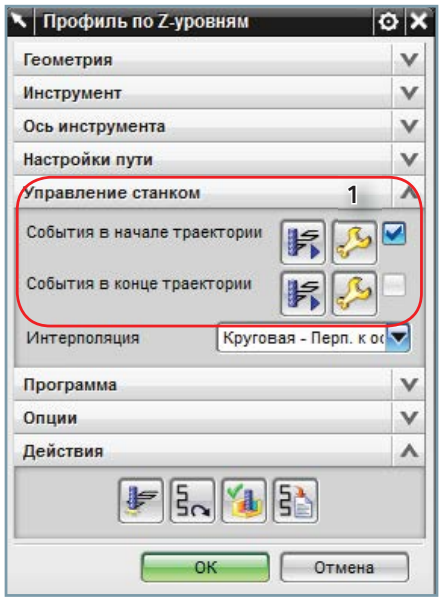


Рис. 7.18. Группа параметров Управление станком позволяет связать события пользователя с операцией

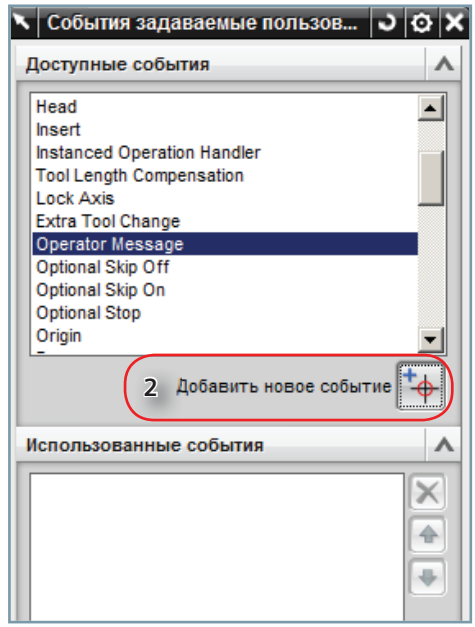


Рис. 7.19. Диалоговое окно задания событий пользователя

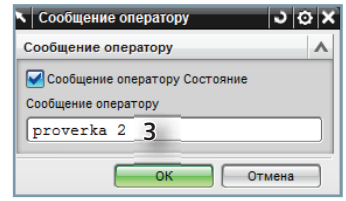


Рис. 7.20. Диалоговое окно конкретного события пользователя (в данном случае Сообщение оператору)

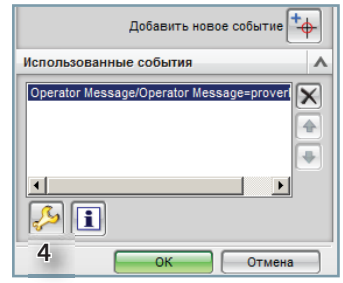


Рис. 7.21. Расположение команды редактирования существующего события пользователя

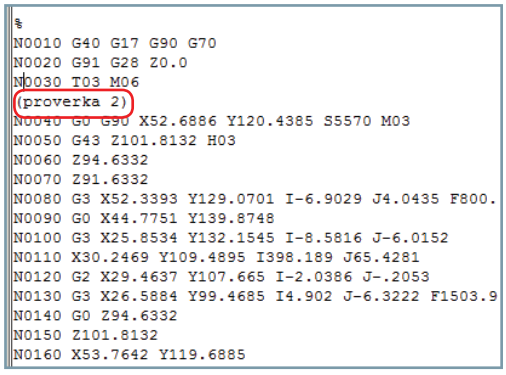


Рис. 7.22. Пример текста УП с выводом сообщения оператору

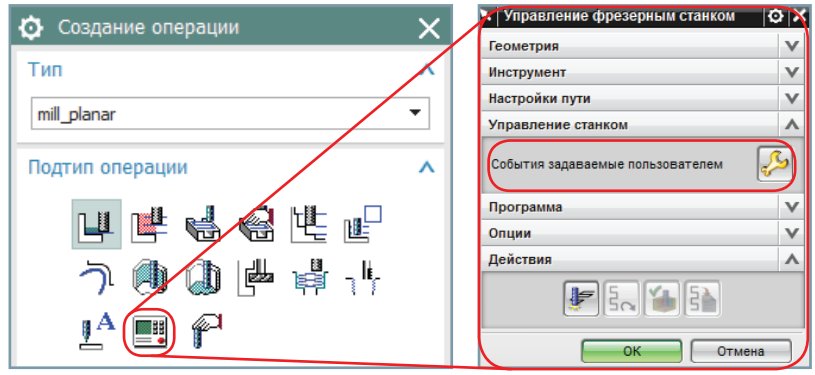


Рис. 7.23. Команда вызова операции управления станком и ее диалоговое окно

Постпроцессирование

Постпроцессирование – это процесс преобразования траектории движения инструмента в управляющую программу (УП) в формате конкретного станка.
Команда постпроцессирования (1) показана на рис. 7.24, там же показана команда вывода цеховой документации (2).
В главе 1 постпроцессирование уже выполнялось, но там все было сделано почти по умолчанию. В этом разделе рассмотрим параметры диалогового окна для постпроцессирования, добавим новые постпроцессоры. Также разберем вопросы организации операций для постпроцессирования в NX.

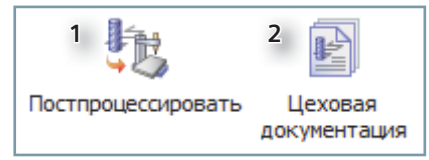


Рис. 7.24. Команды постпроцессирования и вывода цеховой документации

- Продолжаем работать с примером game_remote_setup_2fin.prt.

На рис. 7.25 показан вид программ навигатора операций.
Объект **Группа программ** (в нашем случае группа 1234) служит для группирования программ, в том числе и для постпроцессирования. Если вызвать команду постпроцессирования для группы 1234, то в УП будут выведены 6 операций, причем в том порядке, в каком они находятся на виде программ. Как видно по рисунку, операции FLOWCUT в группу 1234 не входят и в УП выведены не будут. Если вызвать команду постпроцессирования для операции, то только одна операция выводится в УП. Вид программ содержит специальную группу **Неиспользуемые объекты**, переместите туда операции, которые сейчас не нужны, но и удалять которые вы не хотите.

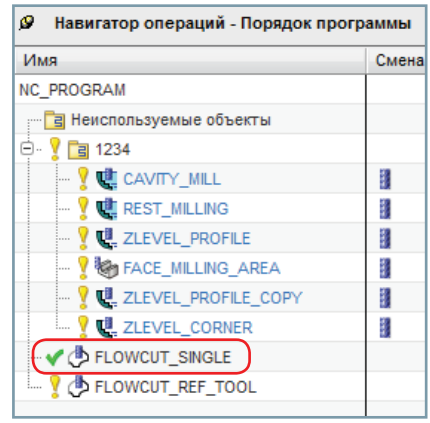


Рис. 7.25. Группа программ предназначена для структурирования операций перед постпроцессированием

- Для экспериментов с постпроцессором лучше использовать траекторию небольшого размера, чтобы текст УП был не очень большим, будем использовать операцию FLOWCUT_SINGLE.
- Выберите эту операцию, выполните команду **Постпроцессировать** (эта команда доступна и из контекстного меню).

Появится диалоговое окно для постпроцессирования (рис. 7.26). Верхнее окно (1) содержит список постпроцессоров. Команда **Поиск постпроцессоров** (2) позволяет добавить постпроцессор в список (но только на текущий сеанс работы в NX). Группа параметров **Выходной файл** (3) позволяет задать имя файла, расширение. Команда **Поиск выходного файла** (4) дает возможность задать папку для выходного файла. Группа параметров **Настройки** (5) задает единицы вывода, флаг **Вывод листинга** дополнительно выводит УП в информационное окно. Параметр **Инструмент просмотра** служит для отладки постпроцессоров (в книге не рассматривается).
Постпроцессор в NX – это обычно три файла, имеющие одинаковое имя и расширения def, tcl и pui. Файлы def и tcl – исполняемые, файл pui – интерфейсный, именно он указывается, если вы хотите добавить постпроцессор в список в этом диалоговом окне.

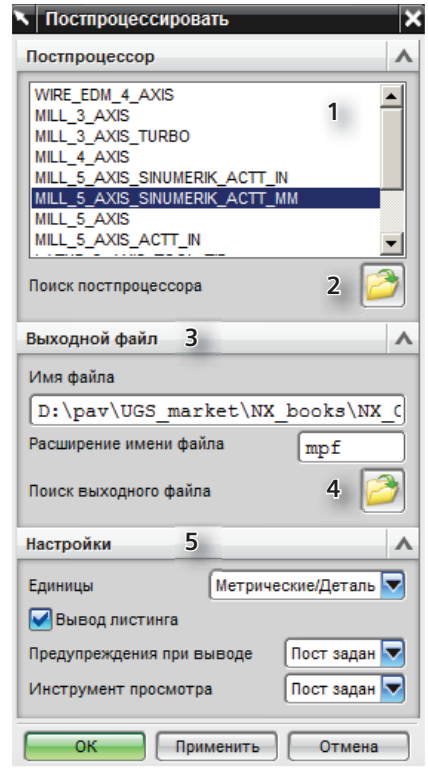


Рис. 7.26. Диалоговое окно для постпроцессирования

Примечание. Для добавления постпроцессора для постоянной работы используйте команду ленточного меню **Установить постпроцессор ЧПУ** (расположение видно на рис. 7.16).

- Выполните команду ленточного меню **Установить постпроцессор ЧПУ**.
- По умолчанию будет предложено найти постпроцессор в папке ..\MACH\resource\library\postprocessor.
- Выберите файл mill_3axis_Sinumerik_840D_mm.pui

Это файл для системы ЧПУ Sinumerik для 3-осевого фрезерного станка.

- Нажмите **OK**.
- В новом диалоговом окне (рис. 7.27) задайте имя постпроцессора (1).
- Стрелками справа можно переместить новый постпроцессор на нужную позицию (2).

- Нажмите **ОК**.
- Дополнительное сообщение появится, так как мы выбрали постпроцессор из системной папки NX, предназначенной для размещения постпроцессоров.
- При выборе постпроцессора из другой папки файлы постпроцессора копируются в системную папку.
- Скажите **Нет** во всех сообщениях, так как нам копирование не требуется.
- Выведите операцию на новый постпроцессор.
- Обратите внимание, что расширение файла – mpf, принятое для систем ЧПУ Sinumerik.

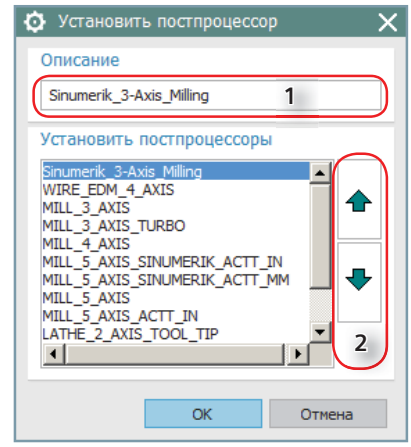


Рис. 7.27. При установке нового постпроцессора можно определить его место в списке

Настройка постпроцессора

Настройка постпроцессора выполняется в отдельном приложении Post Builder, доступном из меню операционной системы **Пуск** – **Программы** – **Siemens NX 9.0** – **Обработка (Manufacturing)** – **Генератор постпроцессоров (Post Builder)**. Это приложение отдельно не лицензируется и доступно при наличии любой CAM-лицензии.
Подробное рассмотрение этого приложения в задачу книги не входит. Рассмотрим его очень кратко.

- Запустите приложение.
- Диалоговое окно Генератора постпроцессора до загрузки самого постпроцессора показано на рис. 7.28.

Для смены языка интерфейса выполните команду **Опции** – **Язык** – **Русский** (это необходимо сделать до загрузки постпроцессора, после загрузки эта команда недоступна).

- Откройте постпроцессор mill_3axis_Sinumerik_840D_mm.pui.

Как уже говорилось, файл с расширением pui – это интерфейсный файл, позволяющий делать настройки исполняемых файлов tcl и def на инженерном уровне, то есть используя диалоговые окна, поля ввода, перетаскивание команд

Рис. 7.28. Диалоговое окно Генератора постпроцессора до загрузки самого постпроцессора

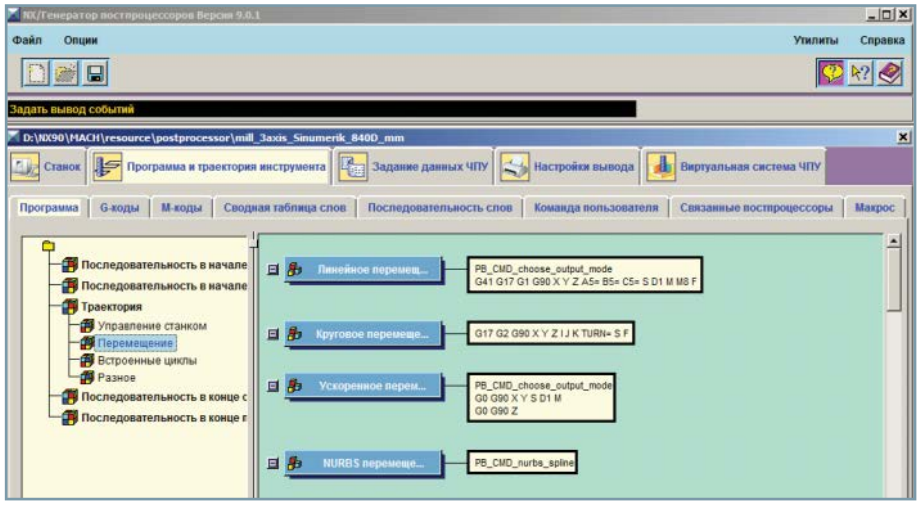


Рис. 7.29. Диалоговое окно Генератора постпроцессора

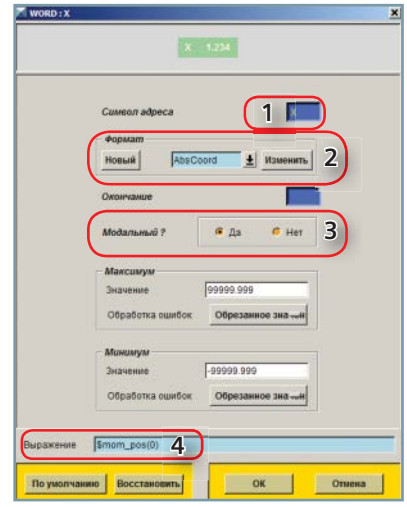


Рис. 7.30. Диалоговое окно для настройки формата вывода (пример)

мышью и т. п. Файлы tcl и def – текстовые, и их можно редактировать в принципе, но делать это можно только опытным пользователям, так как после этого постпроцессор уже не загрузится в Генератор постпроцессоров. Основной способ редактирования – использование Генератора постпроцессоров.

Окно приложения содержит различные вкладки, один из видов показан на рис. 7.29. Многие параметры можно изменить, используя специальные диалоговые окна и поля ввода. Например, на рис. 7.30 показано диалоговое окно для настройки формата вывода координаты X. Здесь можно изменить **Символ адреса** (1), **Формат числового значения** (2), **Модальность** (3). Формат числового значения Abs_Coord используется и для других координат, поэтому для его редактирования предусмотрено отдельное окно. Поле **Выражение** (4) указывает системную переменную, которая содержит координату X на каждом шаге обработки.

Однако не любые настройки можно сделать через меню. Например, как реализовать проверку условий или команды пересчета координат? В Post Builder для этого используются скрипты или процедуры. Можно сказать, что это уже не инженерный уровень настройки постпроцессора, здесь надо быть хотя бы немного программистом.

При просмотре текста УП вы наверняка обратили внимание, что в начале программы выводится много дополнительной информации в виде комментариев. Это все гибко настраивается. На рис. 7.31 показана настройка для вывода информации в начале операции (1). Здесь показаны команды вызова процедур с именами типа PB_CMD_x (Сокращение от PostBuilder CoMmanD), а также команды с именами MOM_ x (где x – переменная часть имени).

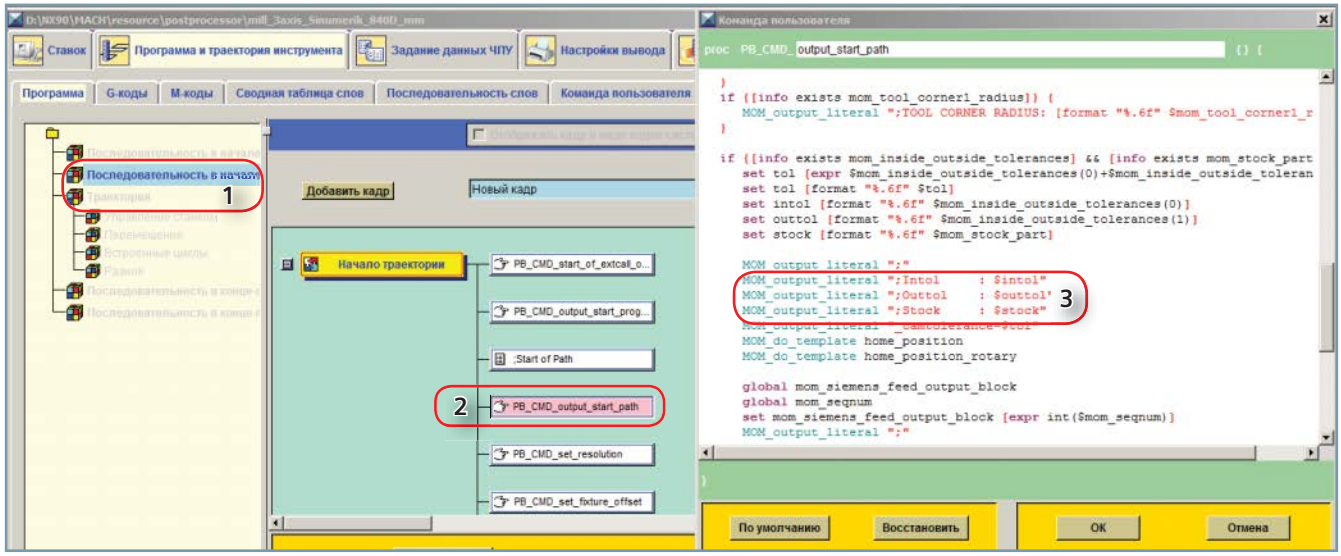


Рис. 7.31. Процедуры значительно расширяют возможности постпроцессора

- Много комментариев выводится процедурой PB_CMD_output_start_path (2).
- Дважды щелкните по этой процедуре, текст ее появится в отдельном диалоговом окне.
- Найдите в ней строки, которые выводят информацию по допуску и припуску в операции (3), и закомментируйте их символом #.
- Нажмите **OK** и сохраните постпроцессор.
- Повторите постпроцессирование в NX, используя тот же постпроцессор. При этом сам постпроцессор можно не закрывать в Генераторе постпроцессоров.
- Текст исходной УП показан на рис. 7.32. Информация о допусках (4) при повторном постпроцессировании выводиться не будет.

```
N10 ;Start of Program
N20 ;
N30 ;PART NAME    :D:\pav\UGS_market\NX_books\NX
N40 ;DATE TIME    :Tue Jan 28 14:07:49 2014
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G90 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: MILL_FINISH
N140 ;TOOL NAME : BALL_MILL_D4
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-Ball Mill
N160 ;TOOL DIAMETER      : 4.100000
N170 ;TOOL LENGTH        : 75.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 2.050000
N190 ;
N200 ;Intol      : 0.030000
N210 ;Outtol     : 0.030000
N220 ;Stock      : 0.000000
N230 _camtolerance=0.060000
N240 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N250 ;
```

4

Рис. 7.32. Пример текста УП с выводом параметров операции в виде комментариев

Цеховая документация

Цеховая документация – это сопроводительные документы для управляющих программ при передаче их в производство. В стандартной поставке автоматически генерируются список операций и список инструментов с необходимыми параметрами. Поддерживаются два формата для каждого документа: простой текстовый и HTML с возможностью настройки через Excel. Диалоговое окно вывода цеховой документации (рис. 7.33) вызывается командой 2 (рис. 7.24). Необходимо выбрать **Формат отчета**

(1) и задать папку для вывода (2). Параметр **Отобразить вывод** (3) открывает информационное окно для текстовых форматов отчета и окно интернет-браузера для форматов HTML и отображает документ.
Для примера на рис. 7.34 показан фрагмент списка операций.
На рис. 7.35 показан список инструментов, формируемый стандартным (но русифицированным) шаблоном.

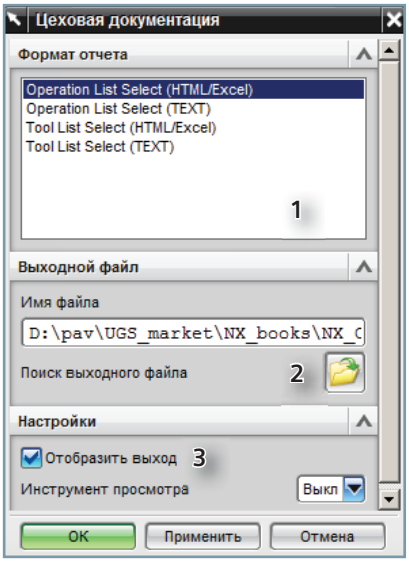


Рис. 7.33. Диалоговое окно вывода цеховой документации

Список программ

Номер	Имя операции	Тип	Программа	Режим обработки	Имя инструмента	Эскиз траектории
2	REST_MILLING	Cavity Milling	1234	MILL	MILL_D20	
3	ZLEVEL_PROFILE	Z-Level Milling	1234	MILL	BALL_MILL_D16	
4	FACE_MILLING_AREA	Volume Based 2.5D Milling	1234	MILL	MILL_D20	
5	ZLEVEL_PROFILE_COPY	Z-Level Milling	1234	MILL	BALL_MILL_D16	
6	ZLEVEL_CORNER	Z-Level Milling	1234	MILL	BALL_MILL_D4	

Разраб. : vedmid Проверил : vedmid Дата : Mon Jan 06 10:07:58 2014

Рис. 7.34. Пример цеховой документации – Список программ

Список инструментов

Имя	game_remote_setup_2fin	Имя чертежа:	–
Единицы:	MM	Номер детали:	–
Эскиз :		Описание :	

Номер инстр.	Имя инстр.	Описание инстр.	Диаметр инстр.	Корректор длины	Корректор смещения	Длина реж.части	Длина инстр.	Описание держателя	Время работы, мин.	Имя операции
2	MILL_D20	Milling Tool-5 Parameters	20.0000	2	2	50.0000	75.0000		137.19	REST_MILLING FACE_MILLING_AREA
1	MILL_D40	Milling Tool-5 Parameters	40.0000	1	1	50.0000	75.0000		64.86	CAVITY_MILL
3	BALL_MILL_D16	BALL_MILL	16.0000	3	3	30.0000	90.0000		26.59	ZLEVEL_PROFILE ZLEVEL_PROFILE_COPY
4	BALL_MILL_D4	Milling Tool-Ball Mill	4.1000	4	4	50.0000	75.0000		5.48	ZLEVEL_CORNER

Разраб. : vedmid Проверил : vedmid Дата : Thu Jan 09 16:26:50 2014

Рис. 7.35. Пример цеховой документации – Список инструментов

Глава 8

Обработка отверстий

Содержание главы

– Операция сверления
  ◦ Использование геометрических групп
  ◦ Нарезание резьбы метчиком
  ◦ Сверление отверстий произвольной ориентации
– Фрезерование отверстий
– Резьбофрезерование

Обработка отверстий

В этой главе рассмотрим как осевые операции, такие как сверление, растачивание, развертывание, нарезание резьбы метчиком и др., так и операции фрезерования отверстий и резьбофрезерования.
В осевых операциях инструмент позиционируется по оси отверстия, углубляется в деталь и выводится из отверстия. В программе обработки для таких операций обычно используются станочные циклы. Операции отличаются друг от друга типом цикла и набором параметров в нем.

Операция сверления

В NX 9.0 появились новые операции сверления. Эти операции заменили старые операции типа Drill (старые пока сохранились, но в будущих релизах исчезнут). Поэтому будем рассматривать новые операции.
Помимо прочего, новые операции унифицированы для использования как в ручном режиме, так и в модуле обработки на основе элементов. Обработка на основе элементов с автоматическим распознаванием элементов и созданием операций будет рассмотрена в главе 19.
Новые операции относятся к типу Hole_making (рис. 8.1). Осевые операции – это:

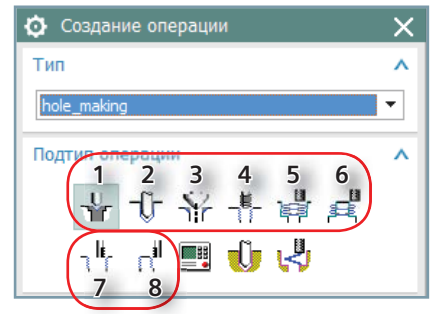


Рис. 8.1. Расположение команд операций обработки отверстий

1 – Центровка;
2 – Сверление;
3 – Зенковка;
4 – Нарезание резьбы (метчиком).

Операции фрезерования – это:

5 – Фрезерование отверстий;
6 – Фрезерование бобышек;
7 – Фрезерование резьбы в отверстии;
8 – Фрезерование резьбы на бобышке.

Операции 1–4 фактически представляют собой одну и ту же операцию с различными установками глубины сверления или типом и параметрами цикла. Рассмотрим базовую операцию сверления (2).

- Откройте пример head_holes_setup_1.prt. Нам необходимо выполнить сверление 6 отверстий.
- Выполните команду создания операции **Сверления** (2), используйте инструмент DRILLING_TOOL_D8, который уже создан, и геометрическую группу WORKPIECE, нажмите **OK**.
- Появится диалоговое окно операции сверления (рис. 8.2).

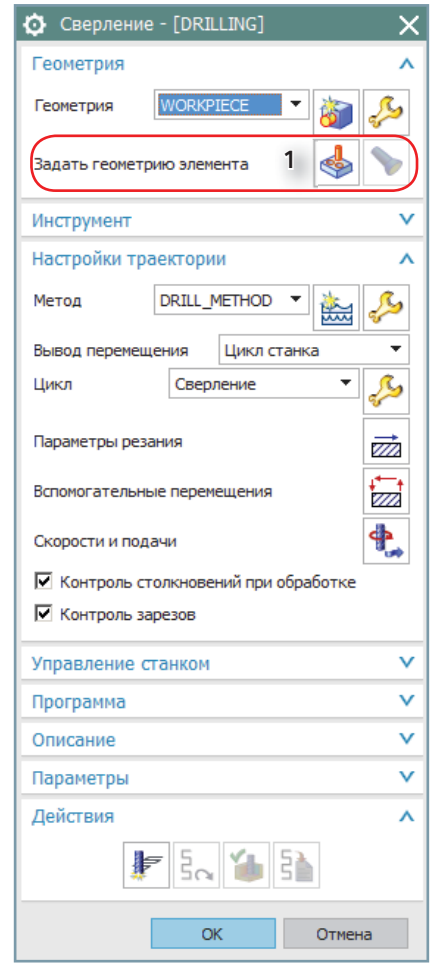


Рис. 8.2. Диалоговое окно операции сверления

В группе параметров **Геометрия** присутствует новый геометрический объект – **Задать геометрию элемента** (1). Отверстия – это один из элементов, поддерживаемых операцией. Элементы могут быть заданы тремя способами:

1) прямо в операции;
2) наследованием из геометрической группы, созданной заранее вручную;
3) наследованием из геометрической группы, созданной автоматически при распознавании.

- Мы рассмотрим все способы, начнем с первого.
- Выполните команду **Задать геометрию элемента**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 8.3).
- В диалоговом окне активно поле **Выбрать объект**, укажите одно из отверстий, NX при этом вычисляет геометрию элемента и показывает ее (рис. 8.4).

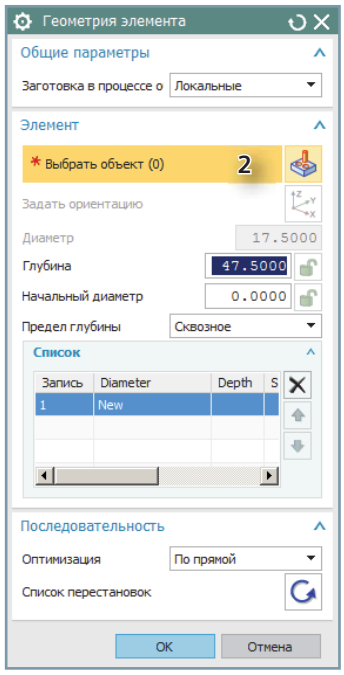


Рис. 8.3. Диалоговое окно задания геометрии элемента

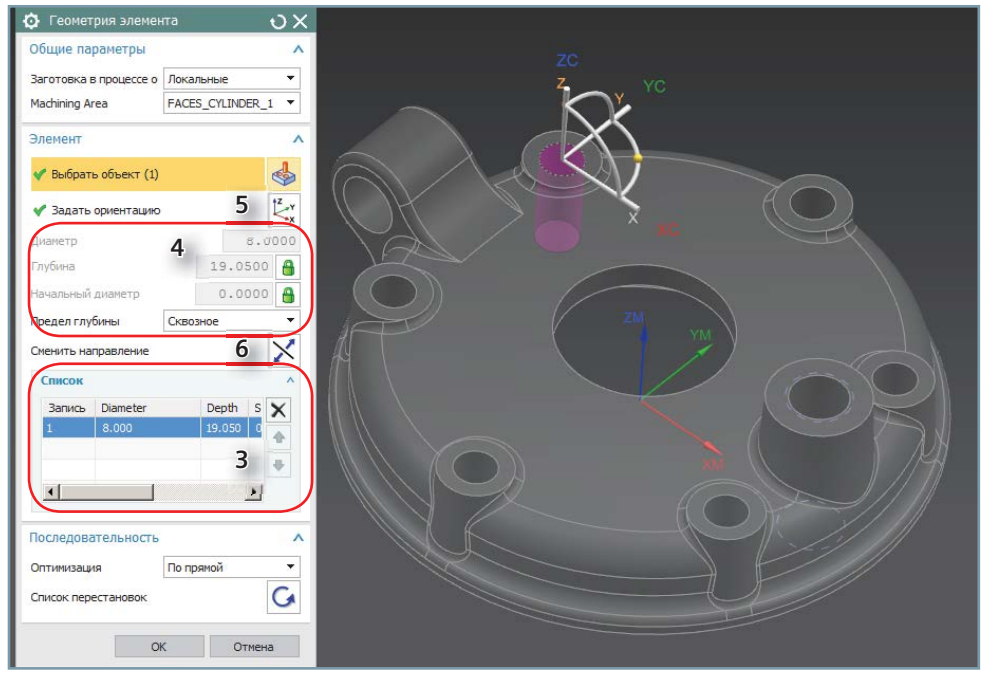


Рис. 8.4. Геометрия элемента подсвечивается в графическом окне

Параметры элемента отображаются в списке (3), также они отображаются в группе **Элемент** диалогового окна (4), но здесь они показаны серым цветом, то есть они наследованы с модели и обычно не редактируются (есть и другие способы задания элементов, в которых эти поля редактируемые).
Помимо диаметра и глубины отверстия, определяется его ориентация (5), для сквозных отверстий доступна команда **Сменить направление** (6), ее используют, если требуется сверление с противоположной стороны.
Замечание: на самом деле редактирование возможно, если нажать на зеленый замочек рядом с требуемым параметром (замкнутый замочек показывает, что параметр наследуется, иначе замочек показывается разомкнутым).

- Укажите остальные 5 отверстий, нажмите **ОК** в **диалоговом окне задания элементов**.
- Генерируйте операцию, результат показан на рис. 8.5.

Визуализация траектории с инструментом в нижней точке показана на рис. 8.6. В этой операции мы использовали многие параметры по умолчанию. Например, мы не задавали тип цикла, не задавали перебег сверла. Автоматически была определена и плоскость безопасности, переходы между отверстиями выполняются выше самой высокой бобышки. Рассмотрим эти параметры здесь.

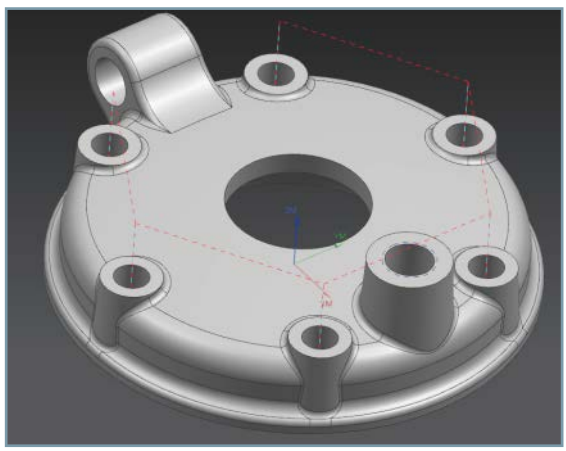


Рис. 8.5. Траектория операции сверления

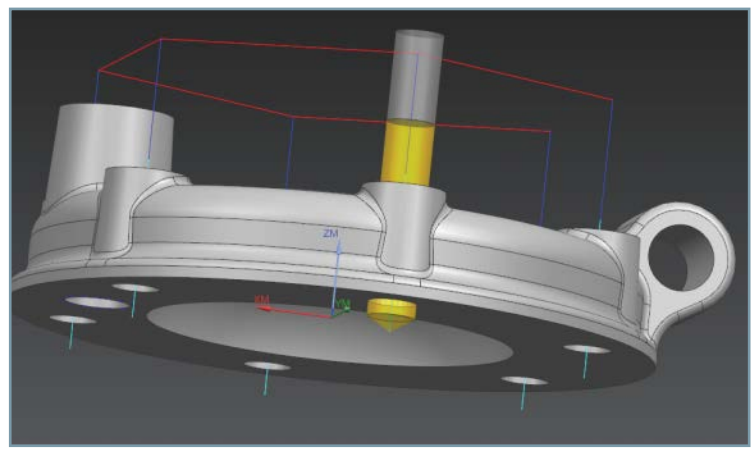


Рис. 8.6. Инструмент в нижней точке траектории сверления иллюстрирует действие параметра перебега

В основном диалоговом окне операции сверления можно задать тип **Цикла** (1 на рис. 8.7), можно заменить вывод цикла линейными перемещениями, изменив параметр **Вывод перемещений** (2). Параметры смещения начальной точки (3) и перебега (4) задаются в **Параметрах резания – Стратегия** (рис. 8.8).

В нашем случае перебег составил 2.5 мм, как и было задано, а верхнее смещение было увеличено, чтобы избежать столкновений с деталью. Параметр **Контроль столкновений** имеется в основном диалоговом окне операции, по умолчанию он включен. Параметры цикла доступны при нажатии на команду с изображением ключика рядом со списком циклов в диалоговом окне операции.

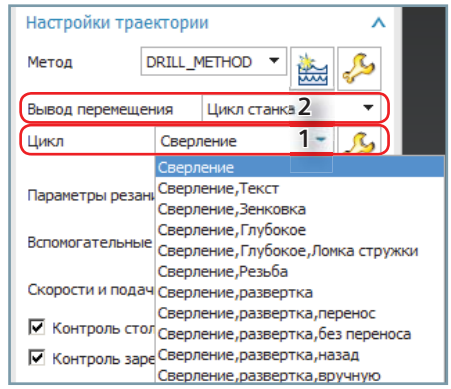


Рис. 8.7. Список циклов сверления в диалоговом окне операции

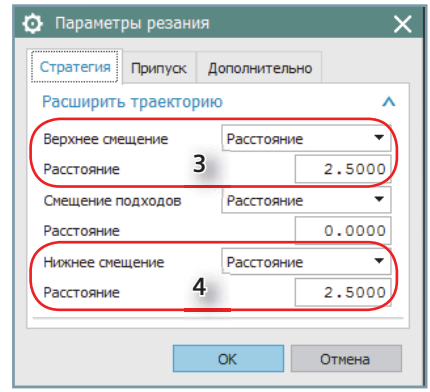


Рис. 8.8. Параметры смещения начальной точки и перебега задаются в параметрах резания

- Выполните постпроцессирование операции, чтобы проиллюстрировать вывод циклов.
- Наша текущая операция выполнена с использованием цикла стандартного сверления (цикла 81).
- Результат показан на рис. 8.9 для систем ЧПУ Fanuc и Sinumerik.

Использование геометрических групп

Очень часто для обработки отверстия требуется несколько операций, например центровка, сверление, развертывание или нарезание резьбы. Чтобы не задавать отверстия в каждой операции (многократно), можно их задать в специальной геометрической группе HOLE_BOSS_GEOM (1 на рис. 8.10), которая будет родительской для набора операций.

В NX активно используются и другие геометрические группы. Тип геометрических групп (2) обычно соответствует типу операций, с которыми мы работаем. В данном случае это Hole_making.

- Продолжим работать с примером head_holes_setup_1.prt. Предполагаем, что для каждого отверстия необходимы два перехода: центровка и сверление.
- Создайте новую геометрическую группу HOLE_BOSS_GEOM, родительской геометрией пусть будет WORKPIECE (3 на рис. 8.10).

```
%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
N0030 T01 M06
N0040 G0 G90 X-38.4948 Y22.225 S1000 M03
N0050 G43 Z31.2408 H01
N0060 G81 Z-6.7126 R31.2408 F250.
N0070 X0.0 Y44.45
N0080 X38.4948 Y22.225
N0090 Y-22.225
N0100 X0.0 Y-44.45
N0110 X-38.4948 Y-22.225
N0120 G80
N0130 M02
%
```

```
N490 G0 X-38.495 Y22.225 Z31.241 S1000 D1 M3
N500 F250.
N510 MCALL CYCLE81(31.2408,16.2408,15.,-6.7126)
N520 X-38.495 Y22.225
N530 X0.0 Y44.45
N540 X38.495 Y22.225
N550 Y-22.225
N560 X0.0 Y-44.45
N570 X-38.495 Y-22.225
N580 MCALL
N590 ;End of Path
```

Рис. 8.9. Пример УП с циклами сверления для систем ЧПУ Fanuc и Sinumerik

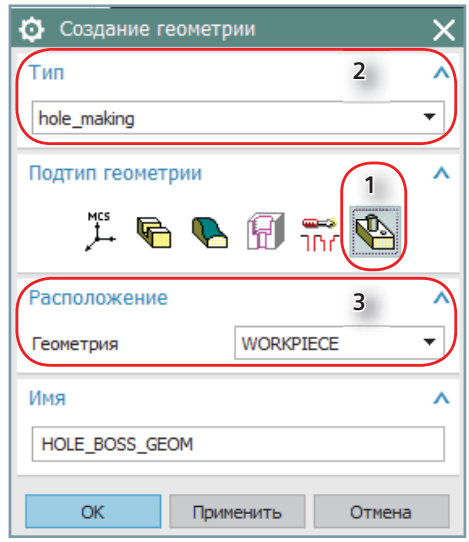


Рис. 8.10. Использование геометрических групп позволяет задать объекты обработки для группы операций

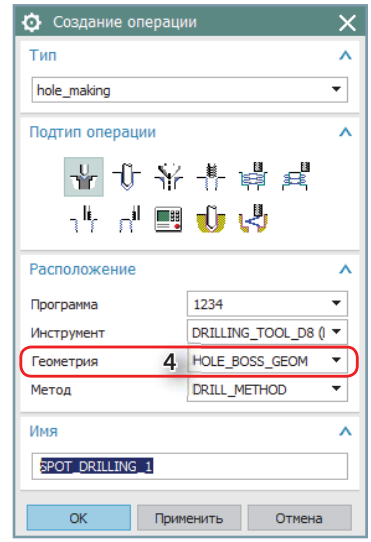


Рис. 8.11. Ссылка на геометрическую группу при создании операции

- После нажатия на **ОК** новое диалоговое окно появится, оно практически идентично показанному на рис. 8.3, за исключением дополнительного параметра **Тип** в верхней части окна, у нас должно быть Отверстие (эта геометрическая группа используется и для бобышек, поэтому и введен этот переключатель).
- Укажите те же 6 отверстий и нажмите **ОК**.
- Операции сверления поддерживают ЗвПО, поэтому переместите существующую операцию Drilling в **Неиспользуемые объекты** (на **Виде программ Навигатора операций**). Иначе при попытке обработать отверстия еще раз мы получим сообщение о том, что они уже обработаны.
- Создайте новую операцию центровки, при создании укажите HOLE_BOSS_GEOM в качестве родительского объекта (4 на рис. 8.11).
- Диалоговое окно операции идентично операции сверления (отличие состоит в задании глубины сверления по умолчанию).
- В самой операции, которая ссылается на HOLE_BOSS_GEOM, фонарик рядом с ней показывает, что геометрия определена и она наследуется, имя родительской геометрической группы также отображается.
- Генерируйте операцию.
- Создайте операцию сверления со ссылкой на HOLE_BOSS_GEOM и генерируйте операцию.

Рисунок 8.12 показывает расположение новых операций в Навигаторе операций. Наглядно видна иерархия объектов. Также показано, что при выборе геометрической группы HOLE_BOSS_GEOM в графической области подсвечиваются не только отверстия, в ней заданные, но и номера, соответствующие порядку обработки. Это очень наглядно при наличии большого количества и разных типов отверстий в проекте. Можно быстро просматривать проект, не открывая ни операций, ни геометрических групп.

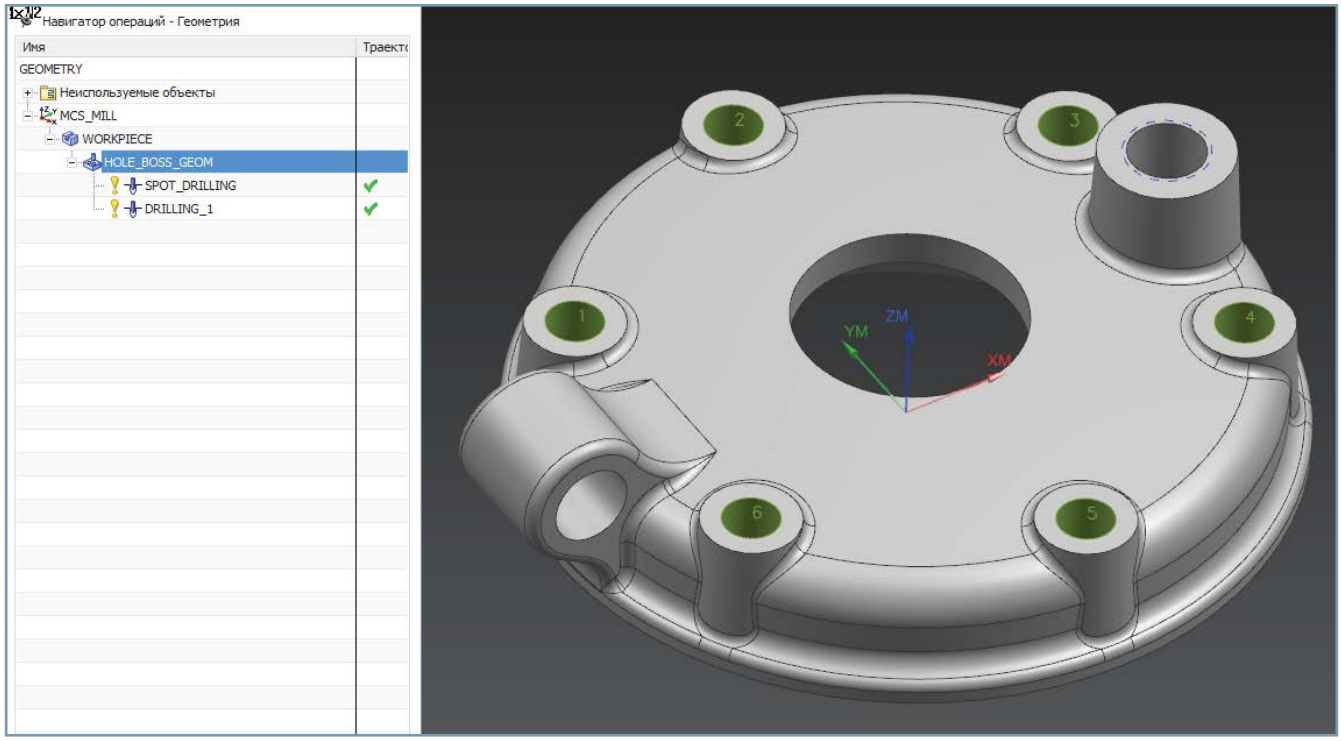


Рис. 8.12. Расположение геометрической группы в навигаторе операций

Рассмотрим еще одну возможность операций сверления – отображение ЗвПО в операции.

- Дважды щелкните по операции SPOT_DRILLING и нажмите фонарик рядом с командой задания элементов обработки (5 на рис. 8.13).
- В графической области показан объем материала, снимаемый этой операцией.
- Если возник вопрос о глубине центровки, то выполните команду задания элементов обработки в операции, диалоговое окно для задания геометрии элемента в этом случае показано на рис. 8.14.
- Здесь можно видеть параметры элемента, отображаемые серым цветом, среди них Глубина, равная 1.2017 мм.
- При желании ее можно изменить, если отключить наследование нажатием на зеленый замочек.

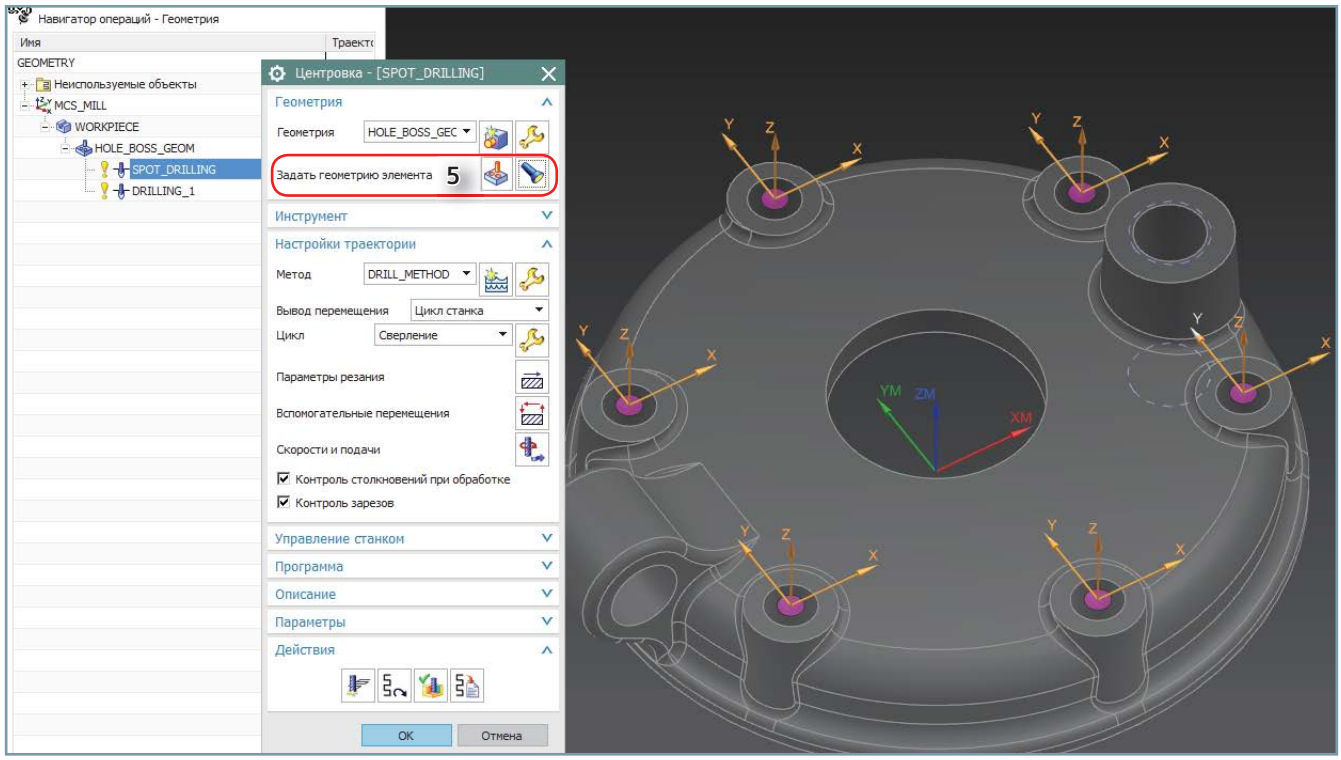


Рис. 8.13. Отображение ЗвПО при сверлении

Нарезание резьбы метчиком

Наша модель имеет одно резьбовое отверстие M12, причем резьба задана как символическая (это предпочтительный метод задания резьбы, так как ее точное моделирование сильно увеличивает размер модели, а особых преимуществ не имеет).

- Создайте операцию нарезания резьбы метчиком (рис. 8.15), в качестве родительской геометрической группы используйте WORKPIECE.
- Необходимый инструмент уже имеется в проекте.
- В диалоговом окне операции выполните команду **Задать геометрию элемента**.
- Новое диалоговое окно откроется, в нем активен режим указания элемента.
- В качестве элемента обработки укажите символическую резьбу (рис. 8.16).

Параметры элемента автоматически считываются и отображаются в диалоговом окне. Параметр **Форма и шаг** показывает, что резьба определена по модели (1), тип и шаг указаны ниже (2), также указываются глубина и требуемый диаметр сверления (3). Остальные параметры нам уже знакомы.

Замечание: в качестве элемента обработки можно указать отверстие без резьбы. Тогда параметр **Форма и шаг** надо установить в значение **Из таблицы** и явно задать параметры резьбы.

- Нажмите **OK** и сгенерируйте операцию.

Этот пример с операциями сохранен с именем head_holes_setup_1fin.prt.

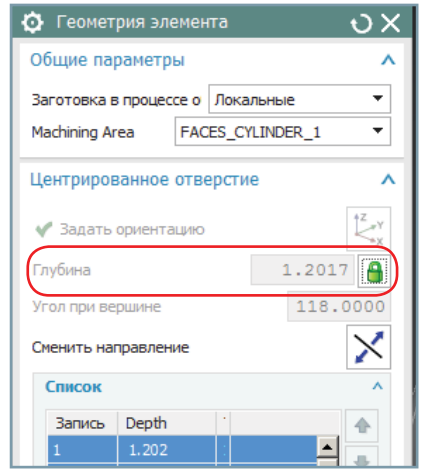


Рис. 8.14. Геометрия элемента считывается автоматически, но возможно редактирование

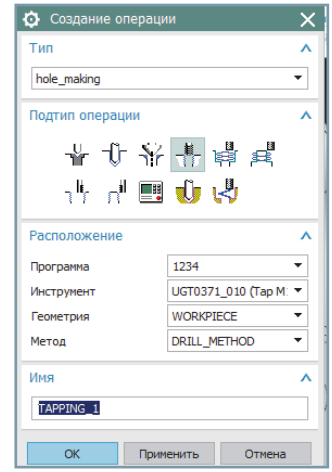


Рис. 8.15. Расположение операции нарезания резьбы метчиком

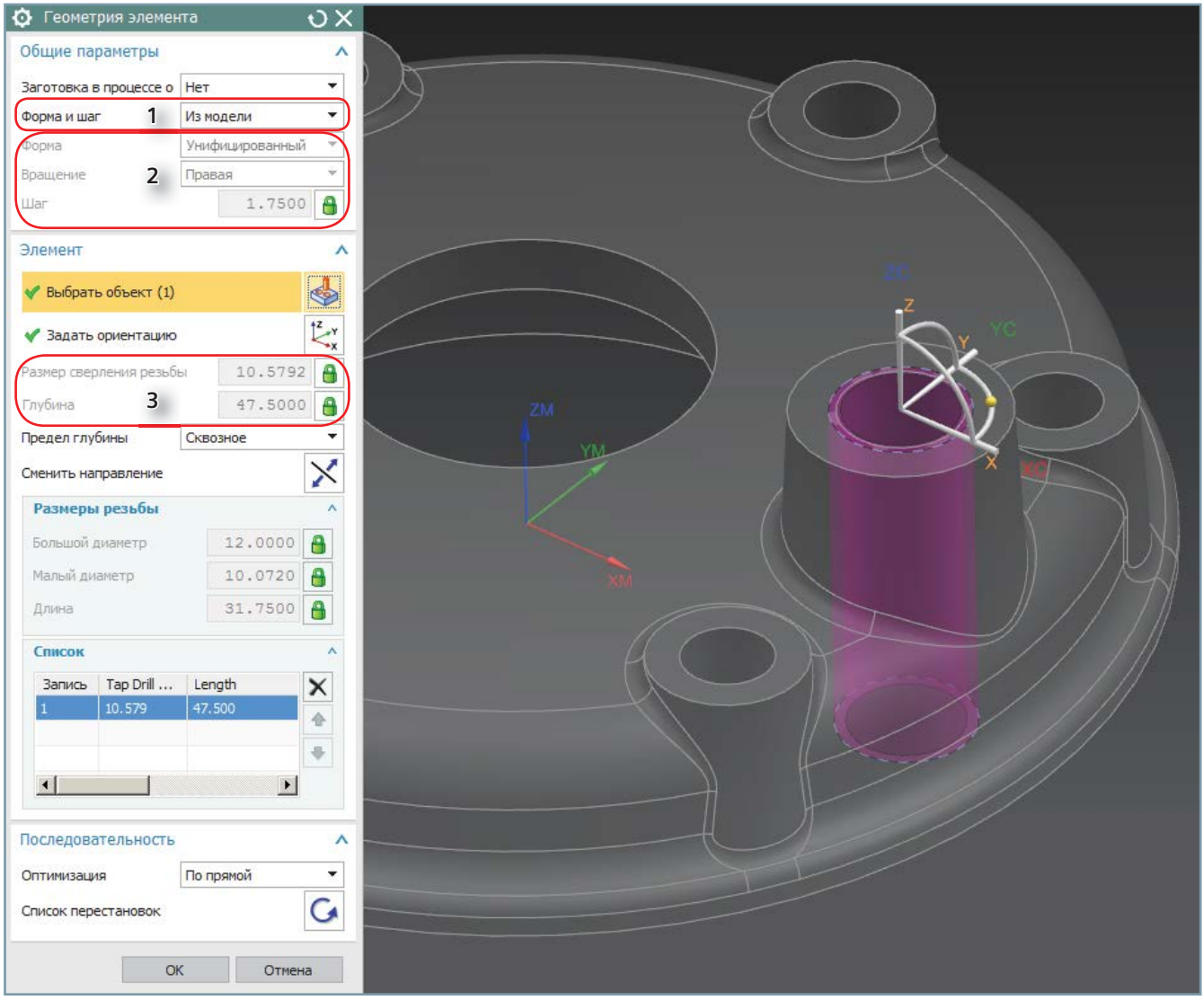


Рис. 8.16. Символическая резьба как элемент обработки

Сверление отверстий произвольной ориентации

NX автоматически распознает ось отверстия и позиционирует инструмент вдоль этой оси. Для 5-осевого сверления это существенно ускоряет и упрощает работу. Новые операции сверления поддерживают различные объекты безопасности, а не только плоскость безопасности.

- Откройте пример drilling_on_sphere_1.prt.

В нем выполнено сверление трех отверстий, расположенных на сфере (рис. 8.17).
Переходы между отверстиями (показаны красным цветом) осуществляются по плоскости безопасности. Все три отверстия заданы в одной геометрической группе HOLE_BOSS_GEOM, при указании отверстий их ориентация определяется автоматически. Операции в примере можно улучшить, если переходы между отверстиями выполнить по сфере.

- Плоскость безопасности задается в группе MCS.
- Дважды щелкните по объекту MCS и откройте группу параметров **Зазор** (рис. 8.18).
- В 3-осевой обработке обычно используется плоскость безопасности. Для этого случая подходит сфера безопасности.
- Задайте сферу безопасности радиусом 60 мм и перегенерируйте операции.
- Должно быть как на рис. 8.19.

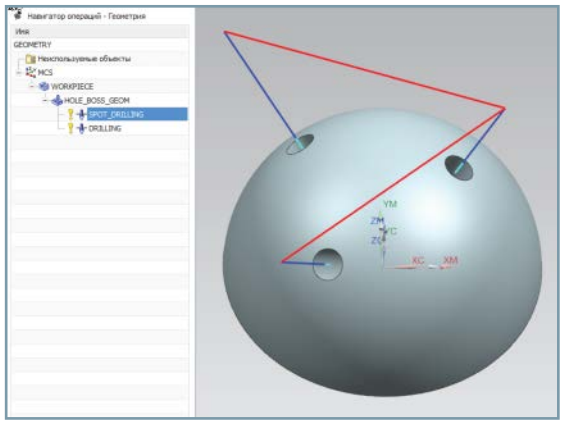


Рис. 8.17. Пример сверления отверстий произвольной ориентации

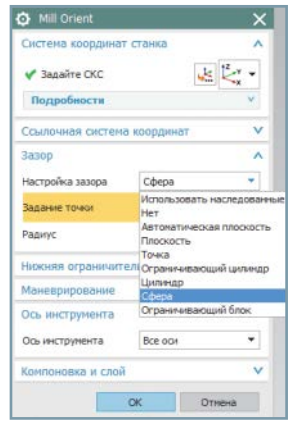


Рис. 8.18. Доступные объекты безопасности в диалоговом окне операции

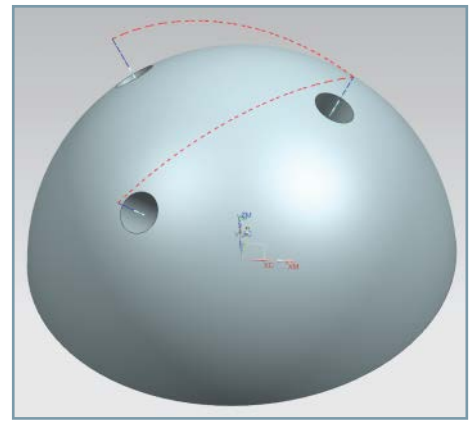


Рис. 8.19. Использование сферы безопасности для переходов между отверстиями

Сверление отверстий на сфере – это уже 5-осевая позиционная обработка, рассмотрим ее в главе 13. Здесь нам важно подчеркнуть, что работа с отверстиями произвольной ориентации никаких специальных установок не требует.

Фрезерование отверстий

Фрезерование отверстий позволяет уменьшить потребность в мерном инструменте, что особенно актуально для больших отверстий. В одной операции фрезерования отверстий можно обработать отверстия разного диаметра и глубины. Операция фрезерования отверстий также работает с геометрической группой HOLE_BOSS_GEOM.

- Откройте пример head_holes_setup_2.prt. Это фактически известный пример со сверлением отверстий, дополнительно добавлен инструмент фреза.
- Создайте новую геометрическую группу HOLE_BOSS_GEOM, в качестве обрабатываемого элемента укажите большое отверстие в центре детали.

Поскольку у нас уже имеется объект HOLE_BOSS_GEOM, то будет создана группа с именем HOLE_BOSS_GEOM_1.

- Создайте операцию фрезерования отверстий, ссылаясь на HOLE_BOSS_GEOM_1 и используя концевую фрезу диаметром 10 мм.
- Появится диалоговое окно операции (рис. 8.20).

Как видно в блоке параметров **Геометрия**, отверстие можно задать прямо в операции (1). В нашем случае оно наследуется из родительской группы. Эта операция начиная с NX 9.0 поддерживает ЗвПО, работа с геометрией элемента аналогична операциям сверления. **Шаблоны резания** (2) в этой операции специфичны, имеются винтовой, спиральный и их комбинация (винтовой/по спирали). Для расчета числа проходов используются данные о смещении начального диаметра (3) и параметры радиального и осевого шага (4).

- Оставьте параметры по умолчанию, в том числе **Шаблон резания** – **Винтовой**. Сгенерируйте операцию (рис. 8.21).
- Съем материала осуществляется на полную глубину цилиндрическими проходами со ступенчатым увеличением диаметра винтовой спирали.
- Также по умолчанию установлен флаг **Начать из центра**, который находится в диалоговом окне **Вспомогательных перемещений**.
- Это обеспечивает погружение инструмента строго по оси отверстия.
- Измените **Шаблон резания** на **Спиральный**.

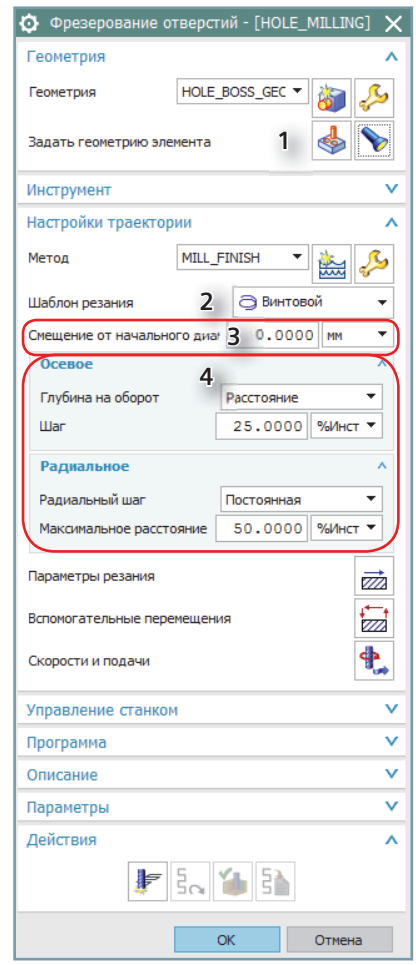


Рис. 8.20. Диалоговое окно операции фрезерования отверстий

- Сгенерируйте операцию (рис. 8.22). В этом случае съем материала осуществляется послойно с раскручиванием плоской спирали в каждом слое. При этом, правда, потребуется предварительное сверление, так как погружение фрезы осуществляется по оси отверстия.

Замечание: при создании копии операции с поддержкой ЗвПО переносите оригинал в **Неиспользуемые объекты**, иначе появится сообщение, что нет материала для удаления.

Предварительного сверления можно избежать, если использовать комбинированный шаблон **Винтовой/по спирали** (рис. 8.23). В этом случае надо явно задать диаметр винтовой линии для погружения.

Резьбофрезерование

Резбофрезерование выполняется специальными резьбофрезами. Операция позволяет не использовать мерный инструмент (например, метчик) для обработки отверстий. Особенно востребована операция для обработки больших резьбовых отверстий.

Рис. 8.21. Пример операции с шаблоном резания Винтовой

Рис. 8.22. Пример операции с шаблоном резания Спиральный

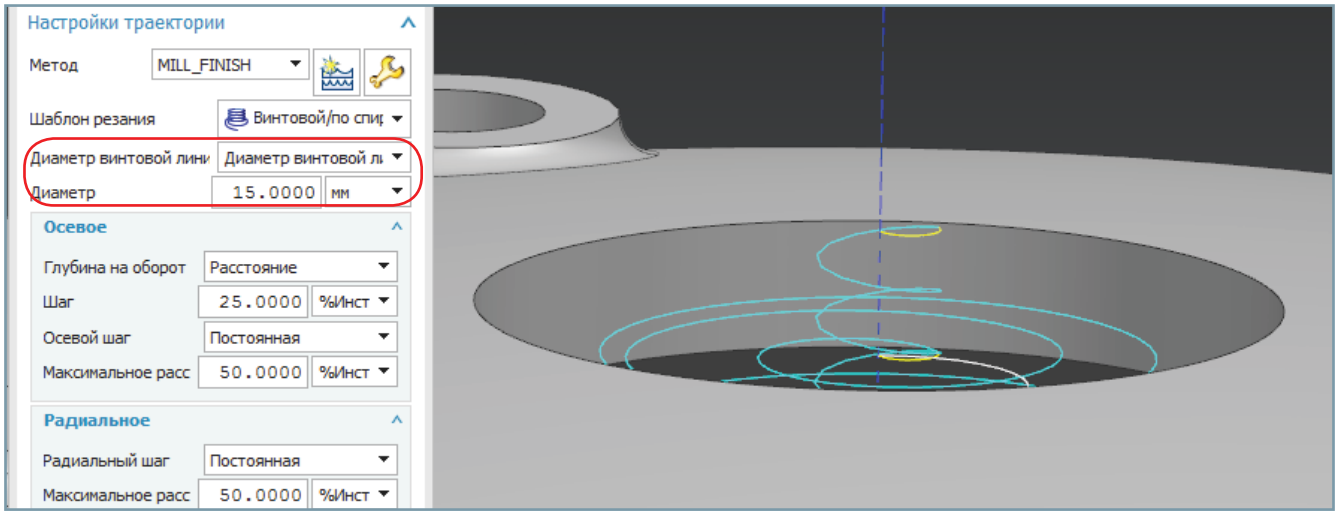


Рис. 8.23. Комбинирование винтового и спирального шаблонов в операции

Резьбофрезы при создании доступны при указании типа Hole_making и некоторых других типов.

- Создайте резьбофрезу с параметрами, как на рис. 8.24.
- Важно, чтобы совпадал **Шаг** резьбы инструмента (1) и отверстия, а также **Тип резьбы** (иначе операция не будет сгенерирована).
- Создайте еще одну геометрическую группу HOLE_BOSS_GEOM, тип которой – **Отверстие** (2), укажите символическую резьбу как на рис. 8.25.

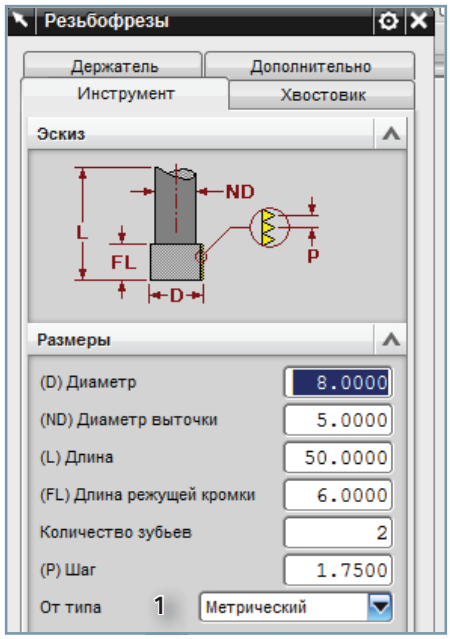


Рис. 8.24. Параметры инструмента для резьбофрезерования

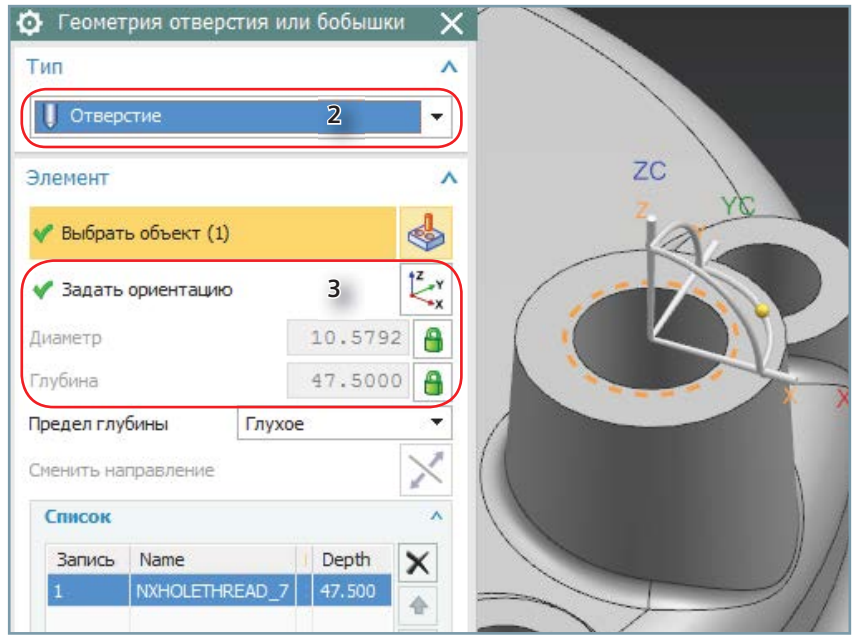


Рис. 8.25. Задание символической резьбы как элемента обработки

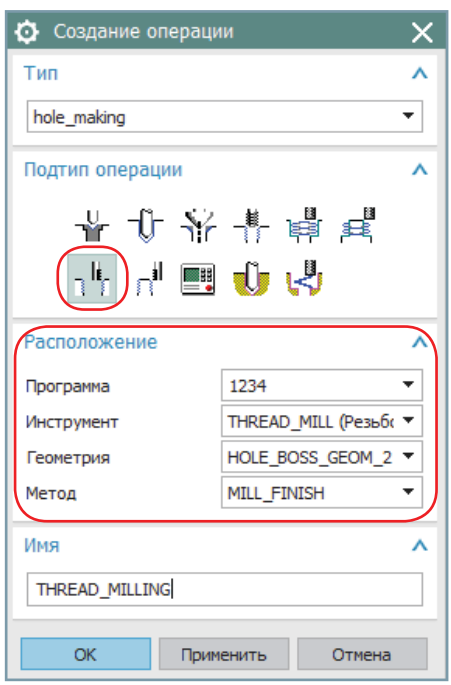


Рис. 8.26. Расположение операции резьбофрезерования

Символическая резьба считывается с модели. Диаметр и глубина отображаются в группе параметров (3), они используются для расчета траектории. Тип и шаг резьбы отображаются в параметрах элемента (аналогично рис. 8.16). Имеются и другие способы задания резьбы: можно ее считывать из инструмента или задавать явно.

- Нажмите **ОК**.
- Создайте операцию резьбофрезерования, задав родительские группы (расположение) как на рис. 8.26.
- Появится диалоговое окно операции (рис. 8.27).

Как видно в блоке параметров **Геометрия**, отверстие можно задать прямо в операции (1). В нашем случае оно наследуется из родительской группы. Для управления числом проходов служат значения **Осевой шаг** и **Радиальный шаг** (2).

- Сгенерируйте операцию, результат показан на рис. 8.28 (для наглядности использован режим отображения сечения: ленточное меню **Вид** – **Отобразить сечение**).
- В примере также установлен флажок **Начать из центра**, который находится в диалоговом окне **Вспомогательных перемещений** (рис. 8.29).

Резание осуществляется снизу сразу несколькими зубьями. При большой длине режущей части резьбофрезы такая траектория дает наилучший результат (сокращается время обработки, уменьшается износ инструмента).

В ряде случаев желательно непрерывное резание. Такой параметр имеется в **Параметрах резания** – **Непрерывный рез** (рис. 8.30).

- Сделайте копию операции, установите параметр **Непрерывный рез** и сгенерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 8.31.

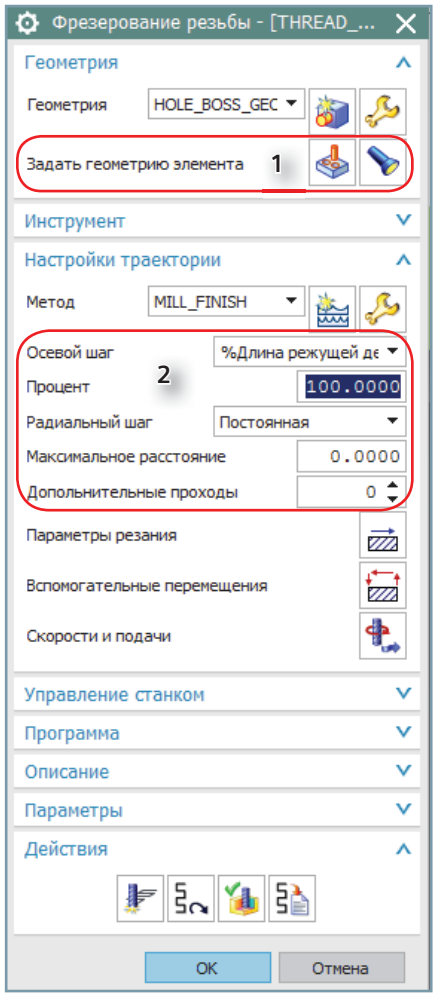


Рис. 8.27. Диалоговое окно операции резьбофрезерования

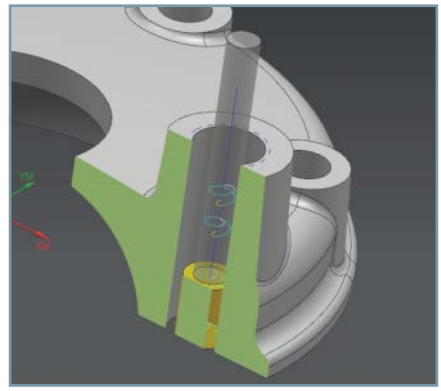


Рис. 8.28. Пример операции резьбофрезерования

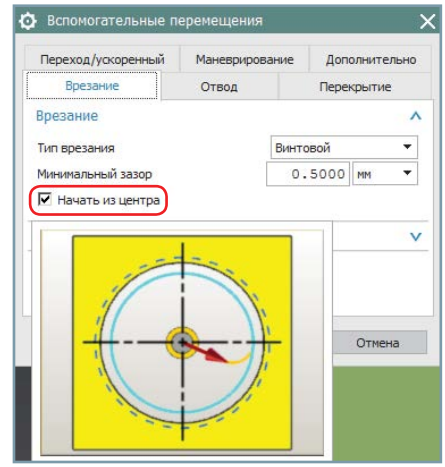


Рис. 8.29. Флаг Начать из центра находится в диалоговом окне Вспомогательных перемещений

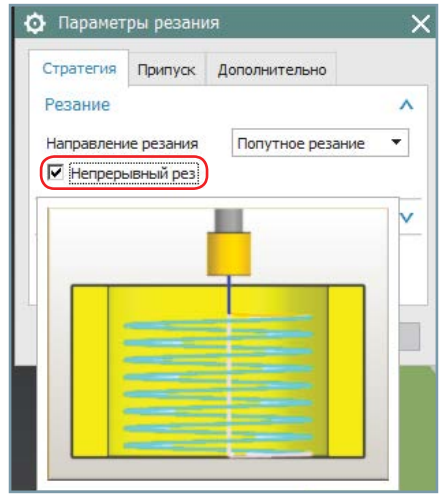


Рис. 8.30. Параметр Непрерывный рез имеется в **Параметрах резания**

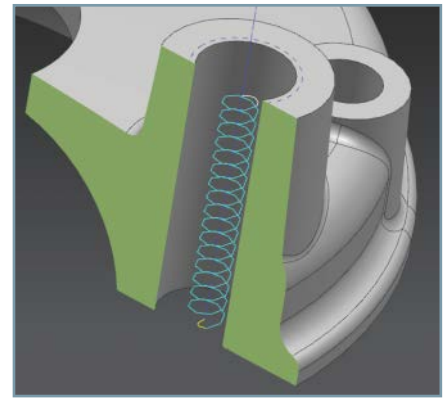


Рис. 8.31. Пример операции с параметром Непрерывный рез

Глава 9

3-осевое фрезерование: контурные операции

Содержание главы

- Операции FIXED_CONTOUR и CONTOUR_AREA
  - Многопроходная контурная обработка
  - 3D-коррекция инструмента
  - Выделение наклонных и ненаклонных участков
  - Подобласти обработки (CUT REGIONS)

3-осевое фрезерование: контурные операции

До сих пор рассматривались операции, больше характерные для призматических деталей. В этой главе упор будет сделан на обработку криволинейных поверхностей с использованием 3-координатной обработки. Такой вид обработки очень востребован для изготовления формообразующих элементов оснастки – пресс-форм и штампов. Примером подобных деталей может служить пуансон, показанный на рис. 9.1.

Прежде чем начать обзор контурных операций, приведем общую схему их работы (рис. 9.2). Контурные операции используют управляющую геометрию, которая задается самыми различными объектами (поверхностями, кривыми/ребрами, точками и др.). На основе управляющей геометрии система формирует набор точек, назовем их **Массивом управляющих точек** или **Управляющим шаблоном**. Далее поочередно в эти точки помещается инструмент и проецируется вдоль заданного направления на обрабатываемую геометрию (деталь). В процессе проецирования осуществляется поиск точки контакта инструмента с деталью. В траекторию движения инструмента (и далее в управляющую программу) выводится центральная точка инструмента. Эти точки и формируют траекторию. Важно понимать, что эти точки не обязательно лежат на обрабатываемой геометрии. Проецирование может выполняться различными способами. Подробно это рассматривается в главе, посвященной 5-осевой непрерывной обработке. В 3-осевой обработке ось инструмента обычно параллельна оси Z и проецирование чаще выполняется вдоль оси Z. Эти операции еще называют операциями с фиксированной осью инструмента (отсюда и префикс FIXED в названии операции).

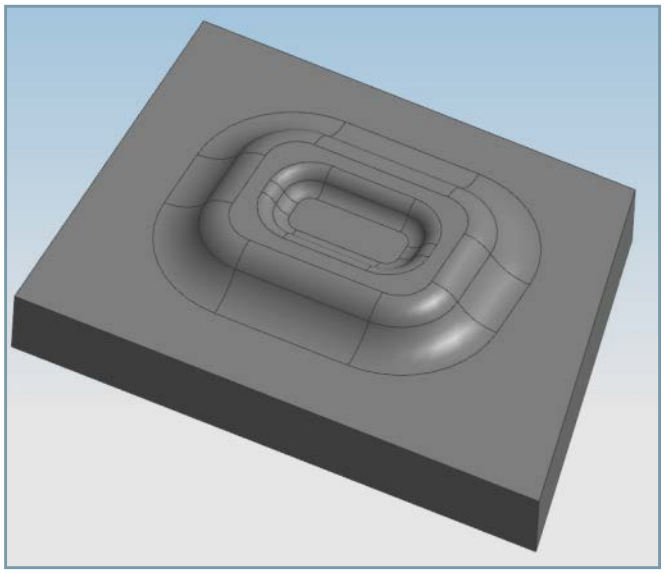


Рис. 9.1. Пример детали, где используются контурные операции

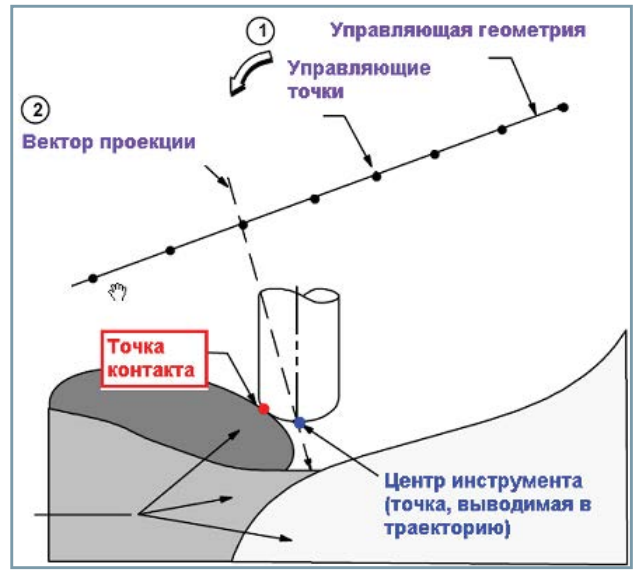


Рис. 9.2. Схема работы алгоритма расчета контурных операций

Команды контурных операций с фиксированной осью инструмента находятся в группе mill_contour (рис. 9.3). Фактически это одна операция с различными способами формирования управляющей геометрии. Всего команд девять:

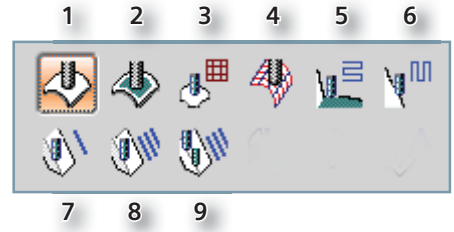


Рис. 9.3. Расположение команд контурных 3-осевых операций

1 – FIXED_CONTOUR – базовая контурная операция с фиксированной осью инструмента;
2 – CONTOUR_AREA – вариант операции, где управляющая геометрия задается областью обработки;
3 – CONTOUR_SURFACE_AREA – вариант операции, где управляющая геометрия задается управляющими поверхностями;
4 – STREAMLINE – вариант операции, где управляющая геометрия обычно также является областью обработки, но на основе этой геометрии формируются так называемые линии потока;
5, 6 – CONTOUR_AREA_NON_STEEP, CONTOUR_AREA_DIR_STEEP – операция CONTOUR_AREA с включенным функционалом выделения ненаклонных и наклонных участков соответственно;
7, 8, 9 – FLOWCUT_SINGLE, FLOWCUT_MULTIPLE, FLOWCUT_REF_TOOL – операции поиска и доработки вогнутых углов на детали.

Операции FIXED_CONTOUR и CONTOUR_AREA

Операция FIXED_CONTOUR с методом управления Область обработки (и операция CONTOUR_AREA, что то же самое) предназначена для 3-осевой чистовой обработки криволинейных поверхностей. В основном эти операции используются при обработке формообразующих поверхностей штампов и пресс-форм.

- Откройте пример surf_area7_setup_1.prt.
- В нем уже созданы инструменты и операция черновой обработки. Выполните команду создания операции FIXED_CONTOUR, родительские группы задайте как рис. 9.4 и нажмите **ОК**.

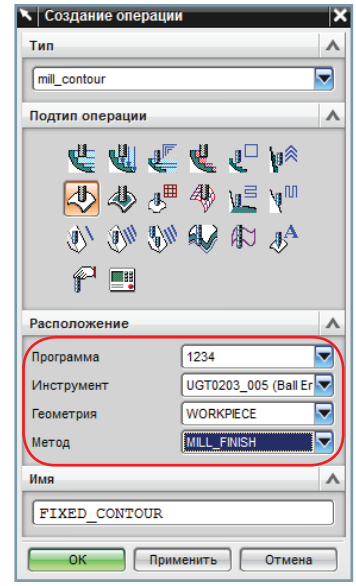


Рис. 9.4. Родительские объекты операции FIXED_CONTOUR (пример)

Появится диалоговое окно операции (рис. 9.5). Обратите внимание, что в группе **Геометрия** отсутствует заготовка, то есть операция является чистовой или получистовой. Однако она может учитывать ЗвПО, что рассмотрим позже. Главная особенность данной операции – это **Метод управления** (1). Метод управления определяет тип управляющей геометрии, при его переключении диалоговое окно будет отображать параметры управления, характерные для выбранного метода. Рядом со списком методов расположена команда с изображением ключика (2), при нажатии на которую появляется новое диалоговое окно с параметрами конкретного метода. Эти окна могут сильно отличаться друг от друга.

Методы управления (рис. 9.6) можно сопоставить с командами операций на рис. 9.3, обозначим их теми же цифрами. Например, операция с методом управления **Область обработки** соответствует команде CONTOUR_AREA (2 на рис. 9.3). Таким образом, для наиболее употребляемых методов управления созданы отдельные команды с предустановленными методами и параметрами.

- Переключите **Метод управления** на **Область обработки**.
- Это наиболее употребляемый метод в 3-осевой обработке.
- Так как меняется метод управления, то появится сообщение-предупреждение.
- Нажмите **ОК**.
- Появится диалоговое окно параметров метода, рассмотрим его позже, а пока нажмите **ОК**.
- Генерируйте операцию.

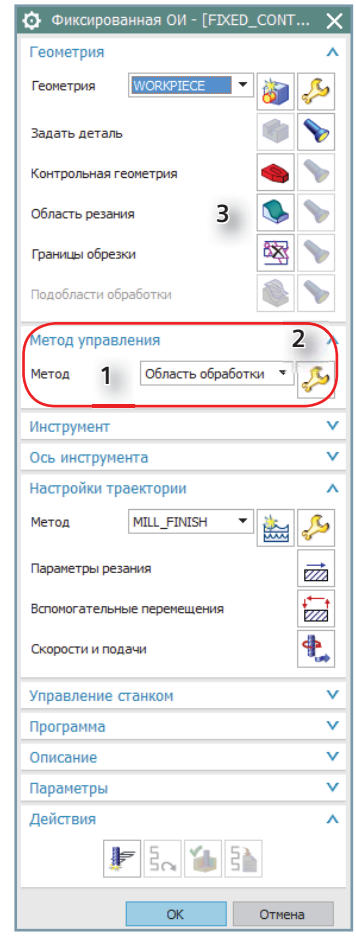


Рис. 9.5. Диалоговое окно операции FIXED_CONTOUR

Область обработки обычно задается в геометрической группе **Область резания** (3). Если она не задана, то вся геометрия, заданная в WORKPIECE, используется. В нашем случае инструмент пытается обрабатывать и вертикальные стенки.

- Задайте область резания. Выберите все поверхности как на рис. 9.7 (в данном случае удобно использовать выбор рамкой). Нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию. Результат показан на рис. 9.8 (ее имя FIXED_CONTOUR, нам это имя понадобится для дальнейшего изложения).

Обратите внимание, что траектория имеет только одно врезание и один отвод, переходы между строчками осуществляются по поверхности без подъема. Такая траектория имеет минимум холостых ходов.

- Теперь разберем параметры метода обработки. Выполните команду с ключиком рядом со списком методов.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 9.9).

Группа параметров **Настройки управления** – это шаблон резания и его параметры (это очень похоже на шаблоны в операциях CAVITY_MILL и FACE_MILL, которые были рассмотрены ранее, однако имеются особенности). Можно задать различные шаблоны для ненаклонных (1) и наклонных участков модели (2). Однако шаблоны для наклонных участков будут работать, если включено Управление наклонами (3). Эту возможность рассмотрим позже. В нижней части диалогового окна в группе **Просмотр**

доступна команда **Отобразить** (4). В реальности при 3-осевой обработке ей пользуются редко, но в учебных целях нам она полезна.
Шаблонов резания в этой операции больше, но наиболее употребимые – это уже знакомые нам **Зигзаг**, **Зиг**, **Вдоль периферии**, **Профиль**. Концентрические и радиальные шаблоны полезны при обработке круглых и кольцевых деталей.

- Задайте **Шаг** проходов – 3 мм.
- Выполните команду **Отобразить**.
- Шаблон резания отрисовывается в плоскости XY, то есть до проецирования на обрабатываемую геометрию (рис. 9.10).

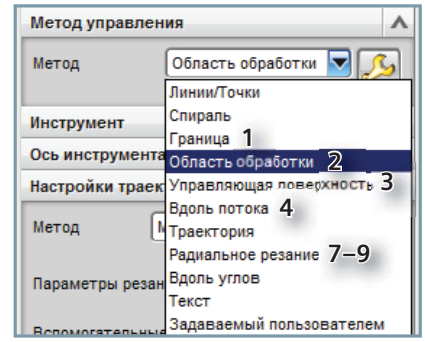


Рис. 9.6. Список методов управления в диалоговом окне операции

О проецировании говорилось в самом начале главы. Деталь на рисунке показана полупрозрачной для наглядности. В этом примере управление наклонами не используется.
Диалоговое окно **Вспомогательные перемещения** (**Параметры без резания**) **– Врезание** показано на рис. 9.11. В отличие от операции CAVITY_MILL , в этой операции не выделяются закрытые области обработки, все области считаются открытыми (так как снимается лишь относительно небольшой припуск). **Типов врезания** существенно больше, например при врезании по дуге дуга может располагаться в разных плоскостях (1) и вертикальная дуга используется чаще. Врезание погружением (2)применяется, только если инструмент может опускаться вертикально в материал, в противном случае лучше использовать другие типы врезания, в том числе врезание по спирали (3).

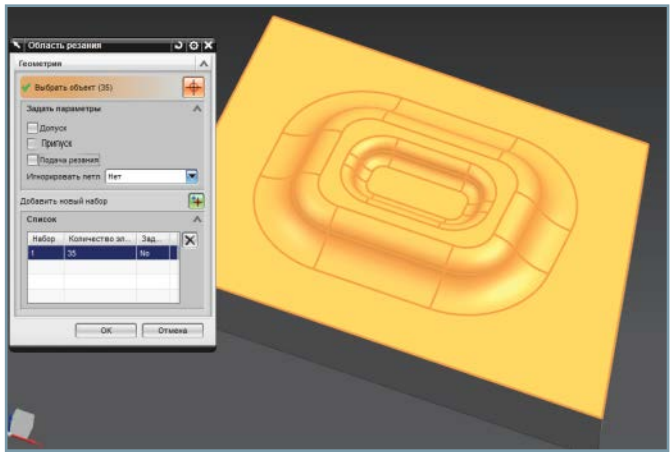


Рис. 9.7. Задание области обработки

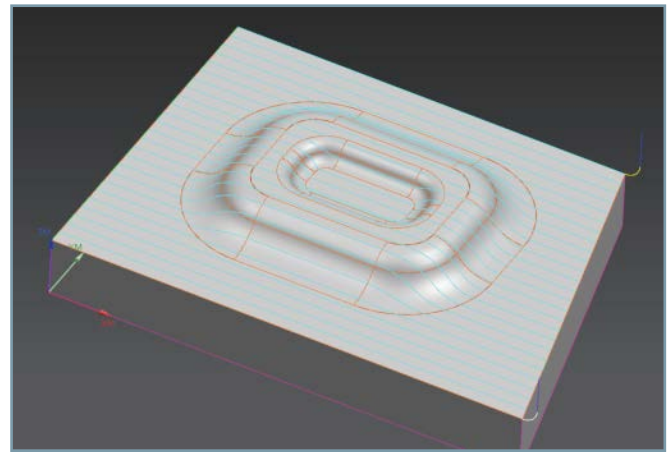


Рис. 9.8. Пример операции FIXED_CONTOUR

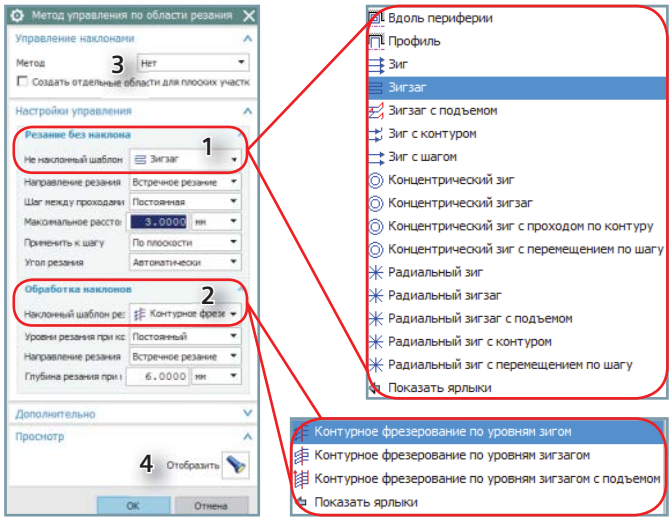


Рис. 9.9. Шаблоны обработки, доступные в диалоговом окне метода управления Область обработки

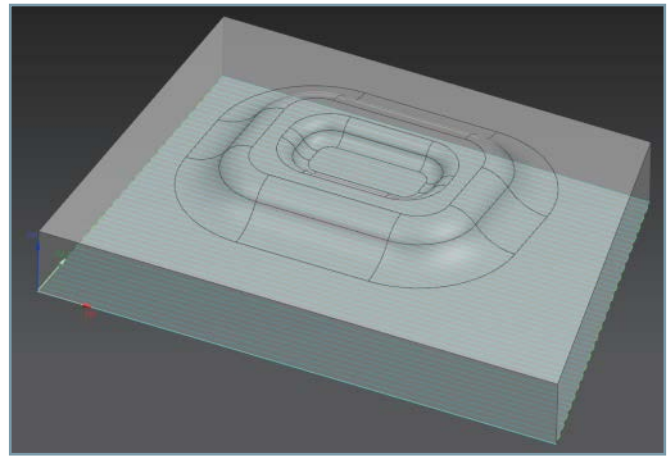


Рис. 9.10. Отображение шаблона резания на плоскости

- Генерируйте операцию и выполните верификацию двух операций

В принципе, для этой детали достаточно двух операций. Однако часто имеются дополнительные требования к обработке, например соблюдать направление резания.

- Сделайте копию операции, в копии измените **Шаблон резания** на **Зиг** и генерируйте операцию (рис. 9.12), переименуйте ее в FIXED_CONTOUR_ZIG.
- В операции выдерживается направление резания, но переходы между проходами осуществляются на высоте плоскости безопасности на ускоренной подаче.
- Холостых ходов много, но это компенсируется условиями резания, что важно, например, для труднообрабатываемых материалов.

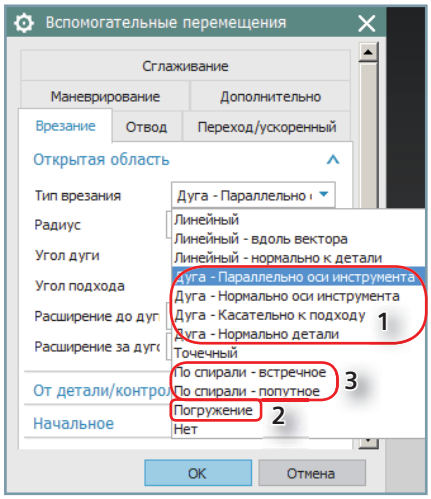


Рис. 9.11. Параметры врезания в диалоговом окне вспомогательных перемещений

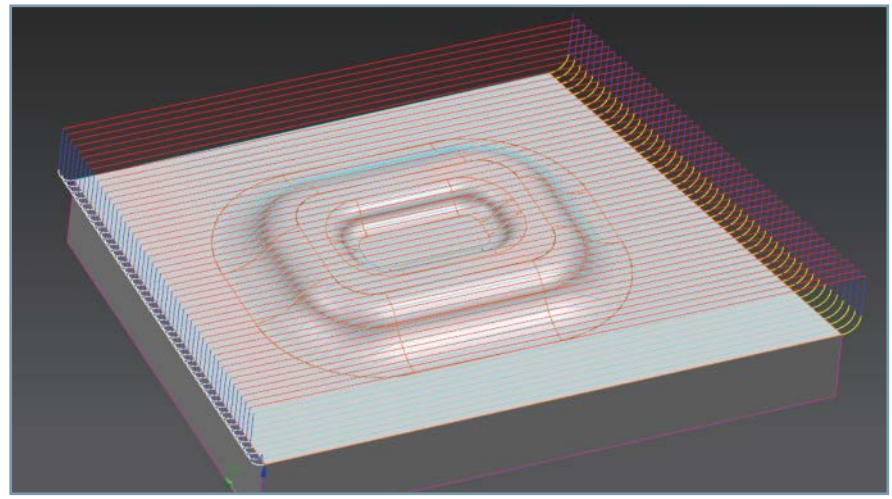


Рис. 9.12. Траектория обработки с шаблоном ЗИГ

В данной книге рассмотрим и проиллюстрируем влияние только ряда параметров на траекторию.
В **Параметрах резания**, вкладка **Стратегия**, имеются два параметра для расширения траектории: **Расширение от ребер** и **Обкатка инструмента по ребрам** (рис. 9.13). Первый параметр расширяет рабочие ходы касательно, второй – добавляет к траектории движения обкатки кромок, что полезно, если кромки больше обрабатываться не будут.

- Сделайте копию операции FIXED_CONTOUR, включите параметр **Обкатка инструмента по ребрам** и генерируйте операцию (рис. 9.14).

Параметры **Сглаживания переходов** (рис. 9.15) вынесены на отдельную вкладку диалогового окна **Вспомогательные перемещения,** они сглаживают острые углы в холостых ходах и в переходах между рабочими ходами.

- Сделайте копию операции FIXED_CONTOUR_ZIG и включите в ней сглаживание переходов.
- Сгенерируйте операцию.
- Обратите внимание, что в результирующей траектории на рис. 9.16 переходы отображаются сплошной линией синего цвета (в отличие от рис. 9.12) и при постпроцессировании они будут выполняться в режиме линейной интерполяции.
- Такой тип переходов предпочтительнее при высокоскоростной обработке.

В **Параметрах резания** – **Дополнительно** имеется набор параметров, ограничивающих работу инструмента на погружение или на подъём (рис. 9.17). Ограничение угла погружения позволяет чаще использовать сборные концевые фрезы как более производительные на чистовых операциях. Такие фрезы обычно не работают на погружение.

- Сделайте копию операции FIXED_CONTOUR_ZIG , задайте параметр **Максимальный угол погружения** равным 0, задайте **Врезания – Линейные** и сгенерируйте операцию.
- На рис. 9.18 показана результирующая траектория, где все движения с уменьшением координаты Z исключены.

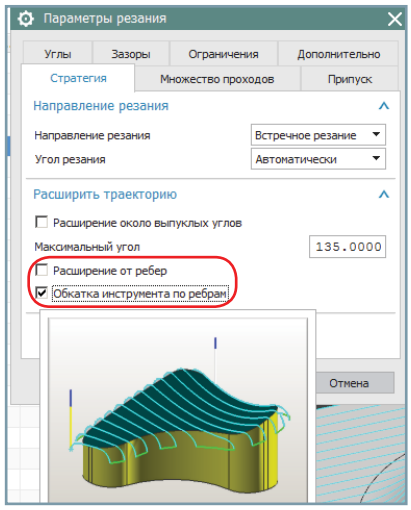


Рис. 9.13. Расположение параметра Обкатка инструмента по ребрам

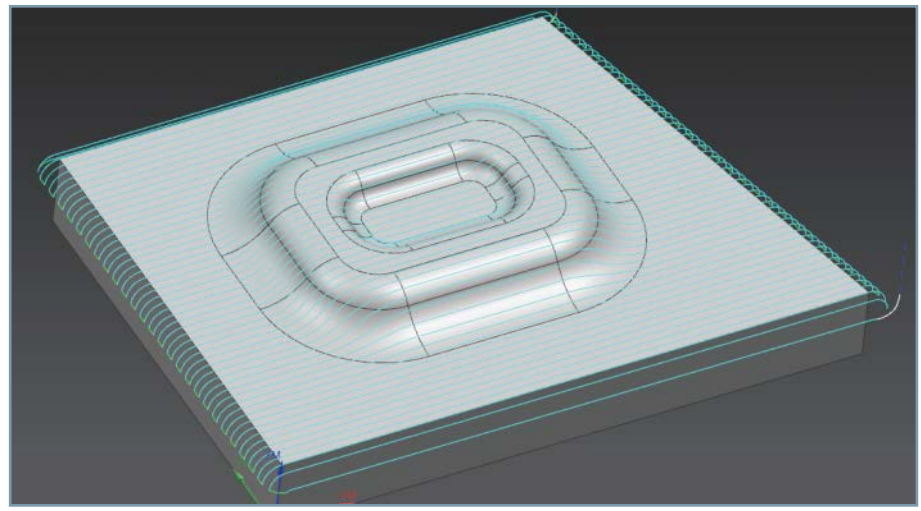


Рис. 9.14. Пример траектории с включенным параметром Обкатка инструмента по ребрам

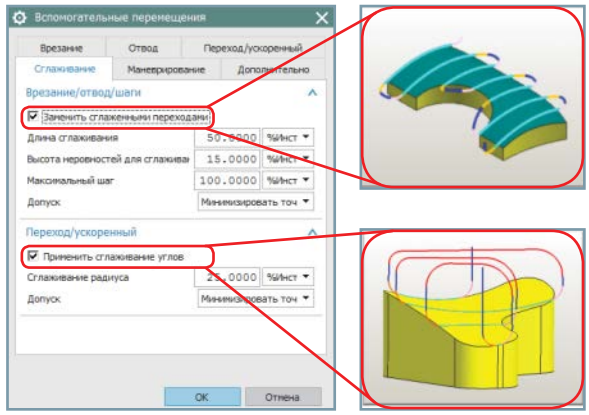


Рис. 9.15. Параметры сглаживания в диалоговом окне вспомогательных перемещений

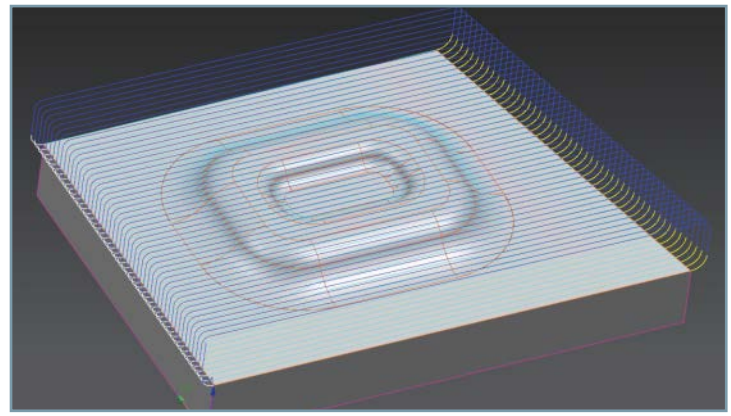


Рис. 9.16. Пример траектории с включенными параметрами сглаживания

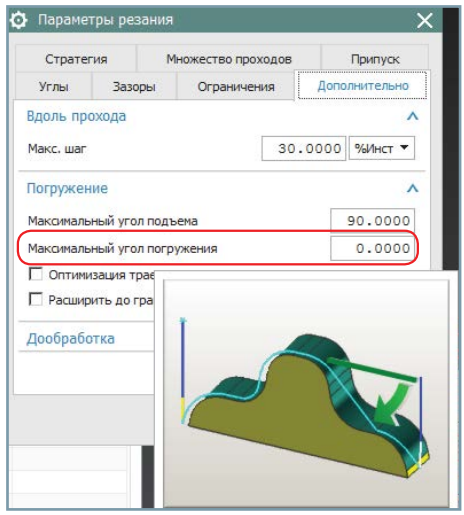


Рис. 9.17. Набор параметров, ограничивающих работу инструмента на погружение

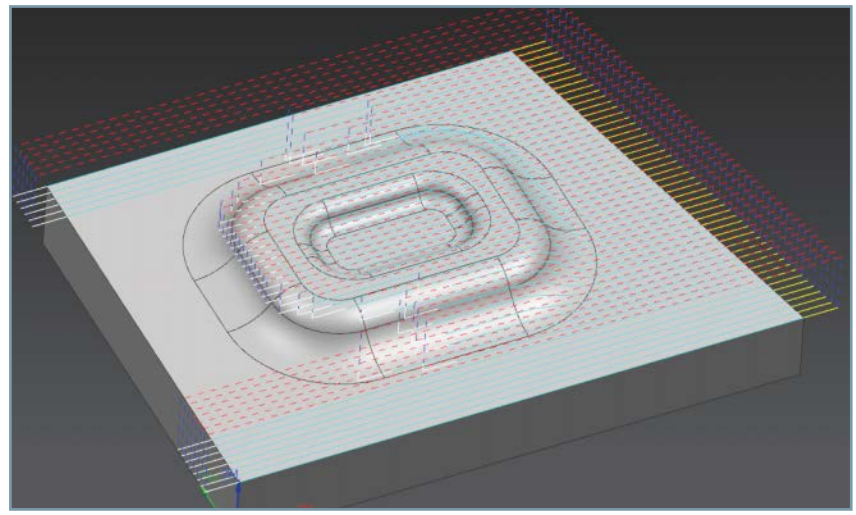


Рис. 9.18. Пример траектории, где все движения погружения исключены

- Здесь можно использовать концевую сборную фрезу.
- Врезания сбоку также предпочтительны для этого типа фрез.

Имеется вариант выполнения встречного движения на подъем в этой же операции. Для этого надо дополнительно включить параметр **Оптимизация траектории** (рис. 9.19). Рисунок-подсказка показывает врезания с обеих сторон – инструмент работает на подъём сначала с одной, а затем с другой стороны.

- Сделайте копию последней операции, включите параметр **Оптимизация траектории** и генерируйте траекторию.
- Проходы в недостающей области обработки будут выполняться с другой стороны (рис. 9.20, сравните с рис. 9.18).
- На рисунке можно видеть желтые врезания с другой стороны (показаны стрелкой).
- Выполните верификацию траектории для наглядности.

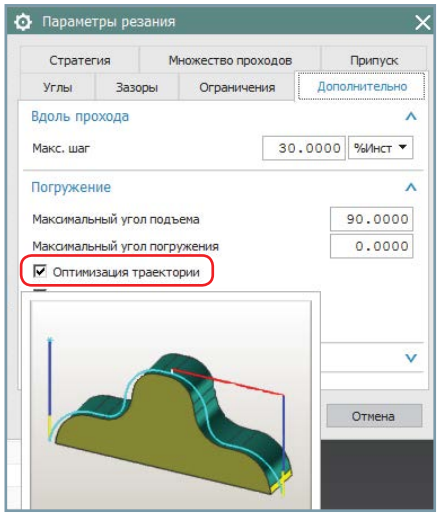


Рис. 9.19. Параметр Оптимизация траектории добавляет встречные движения подъема

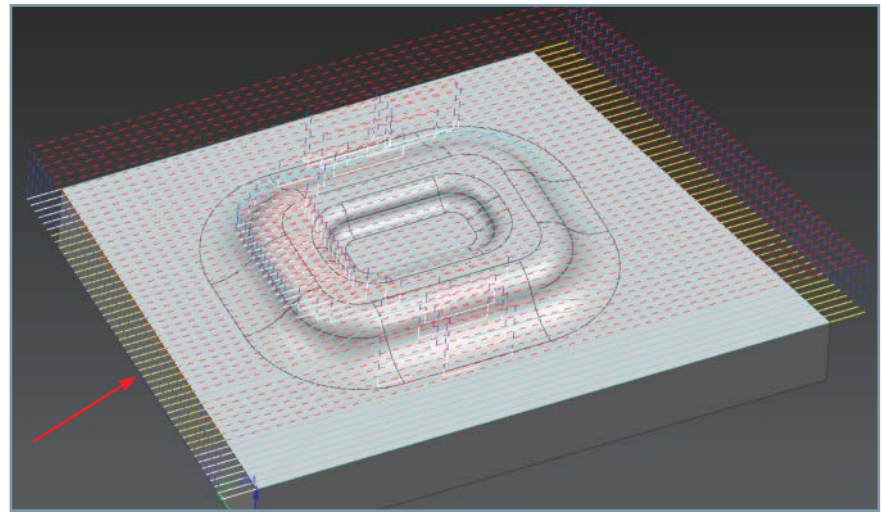


Рис. 9.20. Пример траектории с включенным параметром оптимизации

Контурные операции FIXED_CONTOUR могут выполняться наклонным (но с фиксированной осью) инструментом, что улучшает условия резания (так как выводит из резания вершину инструмента). Параметр **Ось инструмента** расположен в основном диалоговом окне операции (рис. 9.21). Для задания оси может использоваться единое меню задания вектора.

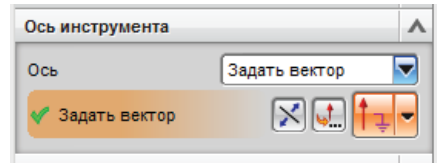


Рис. 9.21. Фрагмент диалогового окна задания оси инструмента вектором

- Сделайте копию операции FIXED_CONTOUR_ZIG, задайте ось инструмента вектором с координатами I, J, K, равными 0, –0.3, 1, и генерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 9.22.

Наша деталь – пуансон – имеет плоские участки на поверхности разъема. Если требуется еще улучшить операции обработки детали, то плоские участки можно обработать операцией FLOOR_WALL, используя концевую фрезу и большой шаг проходов (сделайте самостоятельно), а шаровую фрезу использовать только на криволинейном участке.

- Создайте новую операцию CONTOUR_AREA, применяя шаровый инструмент.
- В качестве области обработки укажите поверхности, как на рис. 9.23.
- Выберите **Шаблон резания** – **Вдоль периферии** и сгенерируйте операцию.
- Траектория показана на рис. 9.24.

Результат можно улучшить, выполнив сглаживание углов в траектории.

- Создайте копию операции и задайте **Сглаживание углов** в **Параметрах резания** (рис. 9.25).
- Сгенерируйте операцию (рис. 9.26).

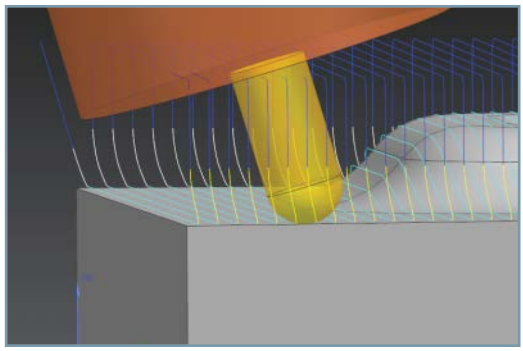


Рис. 9.22. Траектория с фиксированной, но наклонной осью инструмента

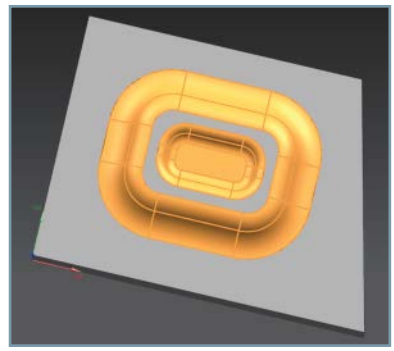


Рис. 9.23. Выбраны только неплоские области (пример)

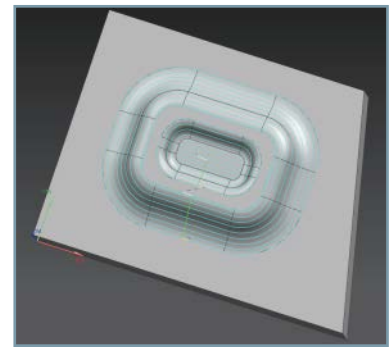


Рис. 9.24. Траектория с шаблоном резания Вдоль периферии

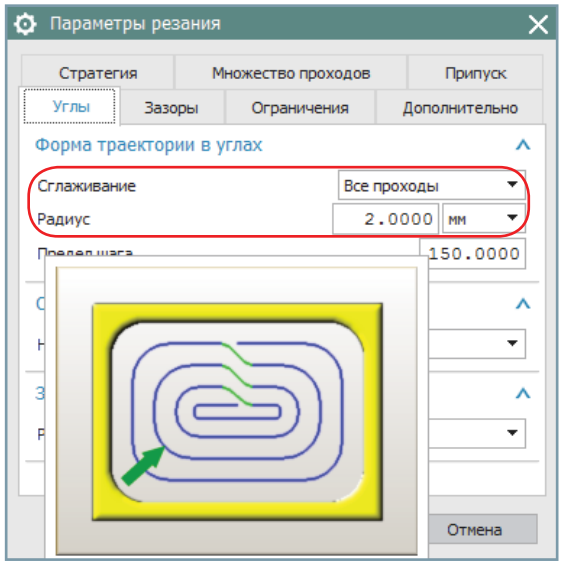


Рис. 9.25. Расположение параметров сглаживания острых углов

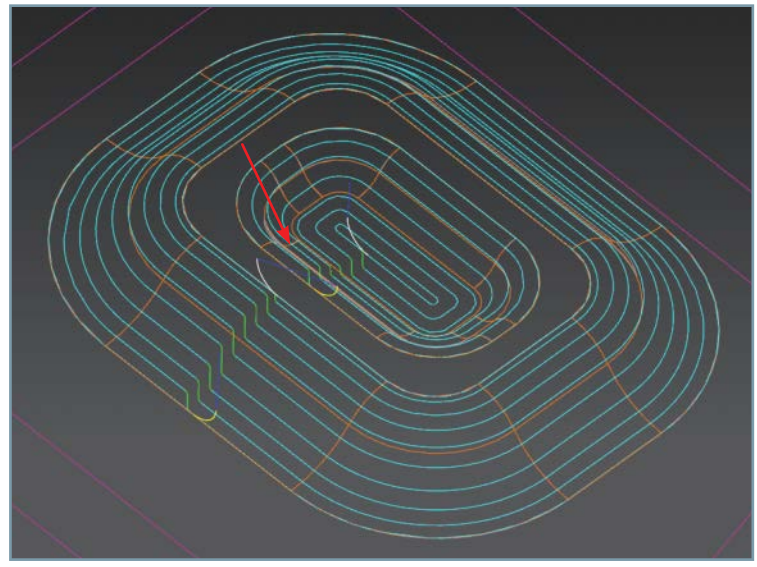


Рис. 9.26. Траектория с шаблоном резания Вдоль периферии и сглаживанием углов

- Модель показана незакрашенной для наглядности.
- Все острые углы траектории скруглены, переходы между контурами также скруглены (показаны зеленым).

В нашем примере область резания состоит из двух участков, между которыми имеется обход, или переход (показан стрелкой на рис. 9.26). Управлению переходами необходимо уделять должное внимание, чтобы избежать зарезов и столкновений. Переходы относятся к **Вспомогательным перемещениям** (перемещения без резания). Различают обходы внутри области и между областями.
На рис. 9.27 показано диалоговое окно **Вспомогательные перемещения** – вкладка **Переход/Ускоренный**. Параметр **Расстояние области** (1) определяет расстояние, свыше которого считается, что переход выполняется между областями. Удобно его задавать

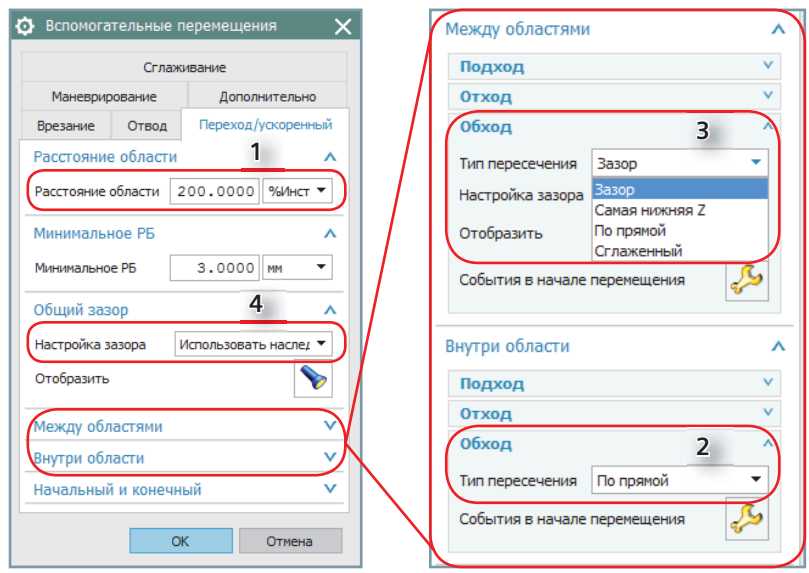


Рис. 9.27. Диалоговое окно Вспомогательные перемещения – вкладка Переход/Ускоренный

в зависимости от размера инструмента (сейчас задано как 200% от диаметра инструмента). Можно независимо настроить подходы, отходы и обходы для случаев внутри области и между областями. Сосредоточимся на обходах. В нашем случае расстояние между областями не превышает порогового значения, поэтому работают параметры, заданные для случая внутри области.
Обход на рис. 9.26 выполнен для случая, когда обход **Внутри области** был задан так же, как **Между областями** (2), а обход между областями – **Самая низкая Z** (3). Движение обхода соединяет отвод предыдущей области с врезанием следующей области. На рис. 9.28 показан случай, когда обход задан значением **Зазор** (2), тогда обход выполняется на высоте безопасности на ускоренной подаче, также добавлены движения до высоты безопасности. Сам термин **Зазор** указывает на использование параметра **Общий зазор** (4), заданного в этом же диалоговом окне. Его значение, в данном случае – **Использовать наследование**, ссылается на установку плоскости безопасности в геометрической группе WORKPIECE. Возможные значения зазора разнообразны, включая цилиндр и сферу безопасности. Но большинство из них используется в 5-осевой обработке. В 3-осевой обработке речь обычно идет о плоскости безопасности. Обходы на плоскости безопасности самые безопасные, но и содержат много холостых движений (или движений по воздуху), поэтому обычно стремятся использовать другие установки для обхода.
Наконец, на рис. 9.29 показан гладкий сглаженный обход, значение параметра обход (2) так и называется – **Сглаженный**. Это значение рекомендуется для высокоскоростной обработки.

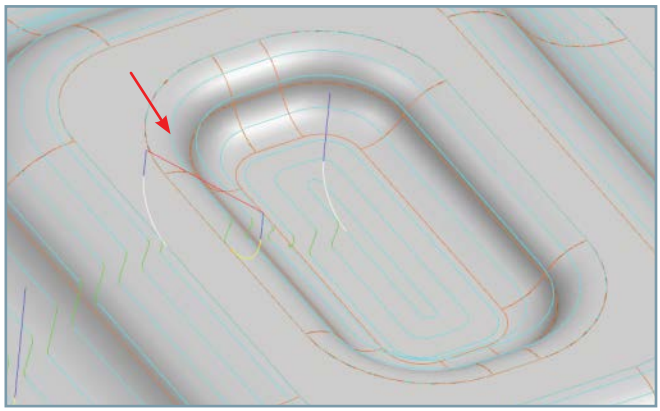


Рис. 9.28. Траектория, где обход задан значением Зазор

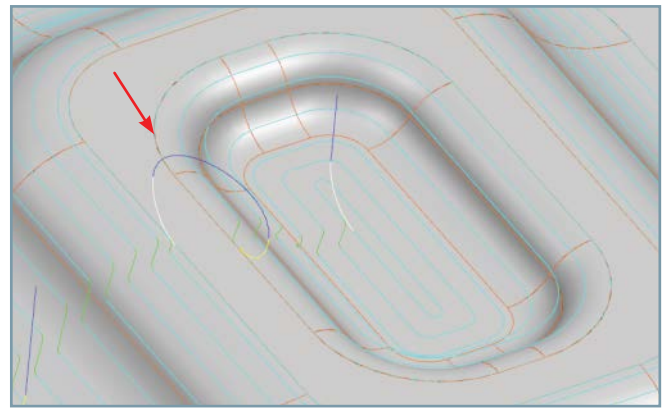


Рис. 9.29. Траектория, где обход задан значением Сглаженный

Многопроходная контурная обработка

Операции FIXED_CONTOUR и CONTOUR_AREA могут быть многопроходными и применяться как черновые или получистовые. Особенно полезно это для пологих криволинейных поверхностей, где классическая черновая обработка (CAVITY_MILL), выполняемая послойно, дает большие ступеньки между уровнями. Контурная многопроходная операция выполняется уровнями, смещенными от обрабатываемой поверхности на величину глубины резания.

- Откройте пример contour_multilevel.prt. В нем созданы две многопроходные контурные операции.
- Выберите операцию CONTOUR_AREA, траектория будет отображена в графической области (рис. 9.30).
- Откройте диалоговое окно **Параметры резания** для этой операции, вкладка **Множество проходов** (рис. 9.31).
- В нем установлен параметр **Многоуровневая обработка**, заданы **Смещение припуска на детали** (1) и **Число проходов** (2). **Метод задания шага** (3), помимо значения **Проходы**, имеет значение **Приращение**, в этом случае можно задать шаг проходов явно.

Однако такая траектория содержит много движений по воздуху, чтобы сделать ее более оптимальной, необходимо включить опцию **Использовать ЗвПО**.

- Откройте операцию CONTOUR_AREA_IPW. Этот параметр находится также в **Параметрах резания**, вкладка **Ограничения** (рис. 9.32).
- Откройте диалоговое окно параметров резания.
- Параметр **Заготовка в процессе обработки** установлен на значение **Использовать 3D**.

Другие параметры этого блока параметров являются фильтрами, уменьшающими фрагментацию траектории за счет задания минимальной области резания, расстояния объединения и др. Параметр **Минимизировать перемещения без**

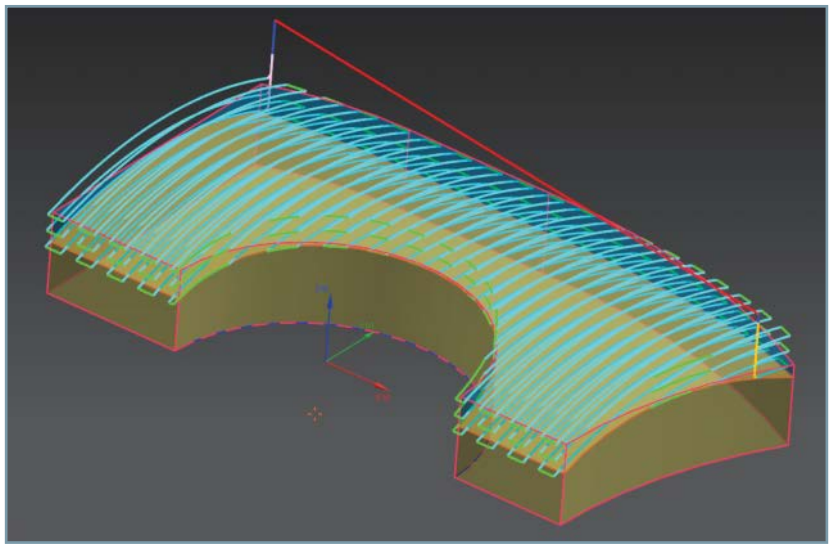


Рис. 9.30. Многопроходная контурная операция

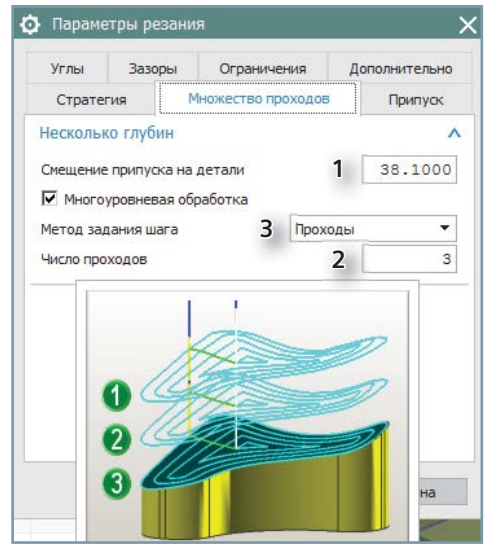


Рис. 9.31. Вкладка Множество проходов параметров резания

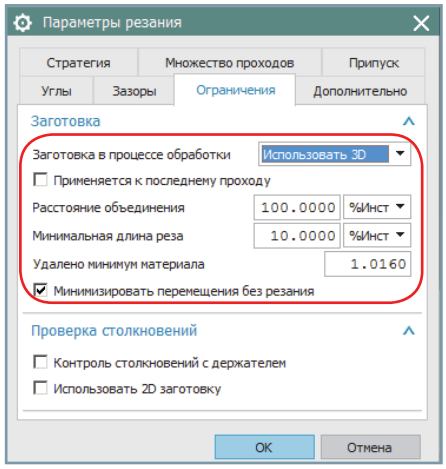


Рис. 9.32. Параметры учета ЗвПО

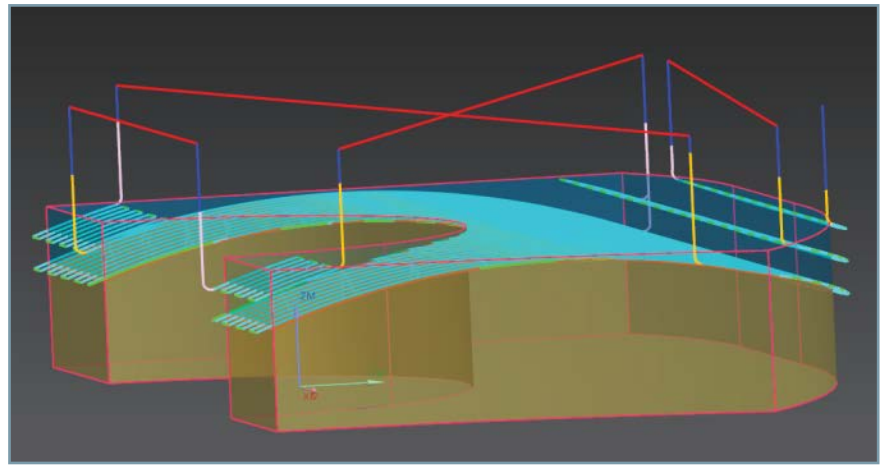


Рис. 9.33. Многопроходная контурная операция с учетом ЗвПО

резания изменяет порядок обходов между различными областями резания для минимизации холостых движений, но с соблюдением порядка обхода уровней. Итоговая траектория показана на рис. 9.33.
Обратите внимание на порядок расположения операций CONTOUR_AREA и CONTOUR_AREA_IPW в навигаторе операций (рис. 9.34). Если эти операции переставить местами, то операция CONTOUR_AREA_IPW будет пустой, так как не обнаружит неснятого материала. Это потому, что учитывается именно ЗвПО, текущее состояние заготовки с учетом предыдущих операций, входящих в группу WORKPIECE.

3D-коррекция инструмента

На этом же примере рассмотрим 3D-коррекцию. В отличие от 2D-коррекции, которая используется в операциях, работающих в уровнях, обычно параллельных одной из координатных плоскостей, для 3D-коррекции необходимо определять направление коррекции в каждой точке. За направление коррекции принимается направление нормали к поверхности в точке контакта.

- Откройте диалоговое окно операции CONTOUR_AREA_3D_CORR и далее диалоговое окно **Вспомогательные перемещения**.
- На вкладке **Дополнительно** включен параметр **Вывод данных контакта** (рис. 9.35).

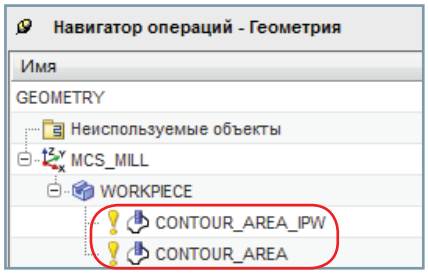


Рис. 9.34. ЗвПО отслеживается между операциями, входящими в одну группу WORKPIECE

Контекстно-зависимый рисунок поясняет, что речь идет именно о точке контакта. Обычно этот параметр выключен, так как он увеличивает время расчета программ, размер программ и самого проекта.
Результат действия параметра, управляющего 3D-коррекцией, проиллюстрируем на примере постпроцессора на систему ЧПУ Sinumerik из стандартной поставки. На рис. 9.36 показан фрагмент программы. В программу включена команда CUT3DF, нормаль в точке контакта выводится с координатами A5, B5, C5 в каждом кадре.

- Закройте файл с примером.

Выделение наклонных и ненаклонных участков

При рассмотрении операции ZLEVEL_PROFILE говорилось, что она дает хороший результат для наклонных участков модели, для ненаклонных (пологих) участков высота гребешка обычно слишком большая. Также известно, что в операции ZLEVEL_PROFILE имеется дополнительная возможность по обработке пологих участков по шаблону **Смещение от модели**. Иногда необходимо более гибкое управление обработкой пологих участков. Для этого часто используются контурные операции с включенными параметрами выделения ненаклонных участков.

- Откройте пример area_mill1_setup_1.prt. Откройте диалоговое окно операции CONTOUR_AREA и диалоговое окно метода управления (рис. 9.37).

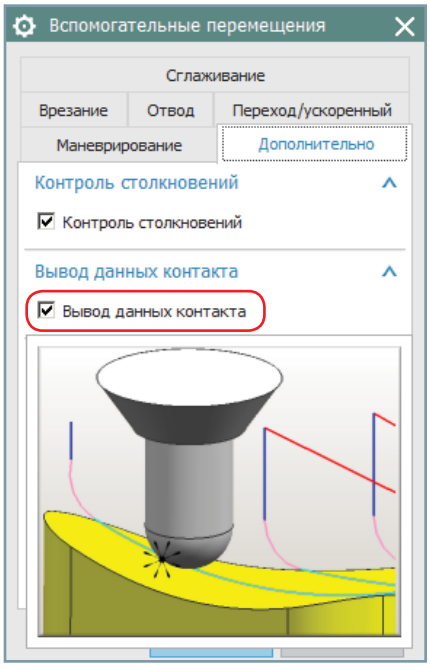


Рис. 9.35. Расположение команды 3D коррекции инструмента

```
N490 CUT3DF
N500 G0 X300.89666 Y111.12924 Z117.29191 S2000 D1 M3
N510 ;Approach Move
N520 Z110.09191
N530 ;Engage Move
N540 G1 Z66.77632 M8 F6452.
.............................
N610 G41 X300.89665 Y111.63581 Z62.88423 A5=0.0 B5=.143732 C5=.989617
N620 ;Cutting
N630 Y111.7649 Z62.86578 A5=0.0 B5=.144103 C5=.989563
N640 X300.89693 Y116.55573 Z62.13347 A5=0.0 B5=.157897 C5=.987456
N650 X300.89675 Y121.33048 Z61.3351 A5=0.0 B5=.171646 C5=.985159
```

Рис. 9.36. Пример УП с выводом 3D коррекции инструмента

В верхней части диалогового окна содержатся параметры **Управления наклонами**. Возможные значения метода управления наклонами (1): **Нет**, **Без наклона**, **С наклоном**, **С наклоном и без наклона**. Нас интересуют ненаклонные участки модели. **Угол наклона** (2) является пороговым значением и измеряется между осью инструмента и нормалью к поверхности в каждой точке. Вертикальные стенки имеют угол наклона 90°, плоскости, перпендикулярные оси Z, – 0°. Результат операции показан на рис. 9.38. Обработаны только пологие участки. **Шаблон резания** использовался **Зигзаг**. **Угол резания** (3) был установлен в значение **Автоматически**, при котором направление резания определяется независимо для каждой области резания по наибольшему измерению области.
В версии NX 9.0 возможно разделить поверхности на наклонные и ненаклонные и обработать и те, и другие, используя различные шаблоны.

- Создайте копию операции CONTOUR_AREA, в копии **Метод управления наклонами** задайте **С наклоном и без наклона.**
- Задайте **Область резания** – все поверхности полости и разъем.
- Сгенерируйте операцию, результат показан на рис. 9.39 (в операции использован большой шаг между проходами для наглядности).

Возможные шаблоны резания для наклонных участков показаны на рис. 9.9.

Подобласти обработки (CUT REGIONS)

Подобласти обработки – это новый функционал версии NX 9.0, призванный автоматизировать чистовую обработку больших моделей сложной формообразующей оснастки. Этот функционал также делит все поверхности на наклонные и ненаклонные, отдельно выделяет плоские участки, но он дополнительно разбивает область обработки на подобласти, исходя из доступности их инструментом с определенным вылетом. Расчет областей обработки производится один раз, и далее эти области могут использоваться разными операциями и разным по вылету инструментом. За счет этого существенно сокращается время расчета траекторий именно для сложных моделей.

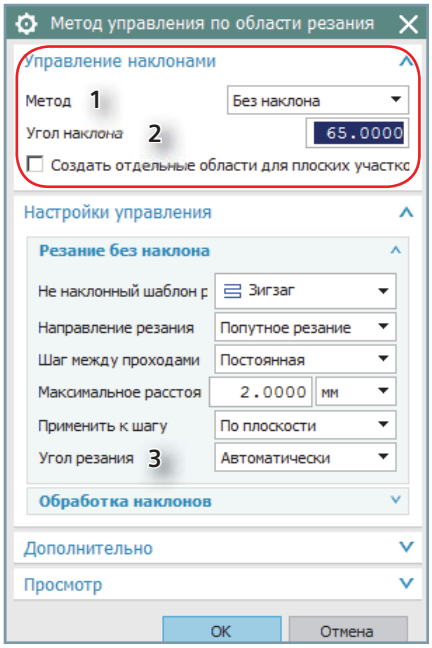


Рис. 9.37. Параметры выделения ненаклонных участков операции CONTOUR_AREA

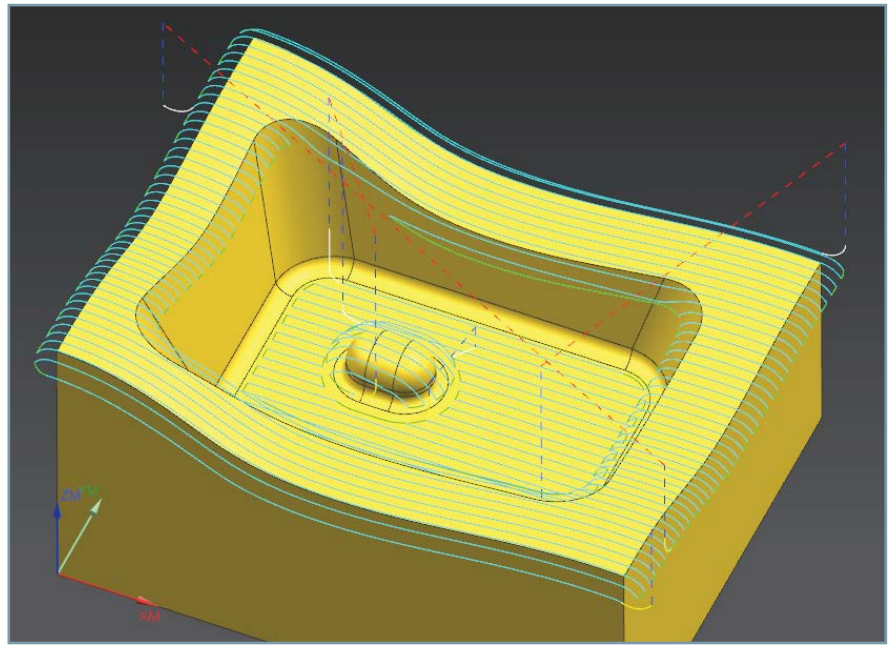


Рис. 9.38. Пример траектории обработки только ненаклонных участков

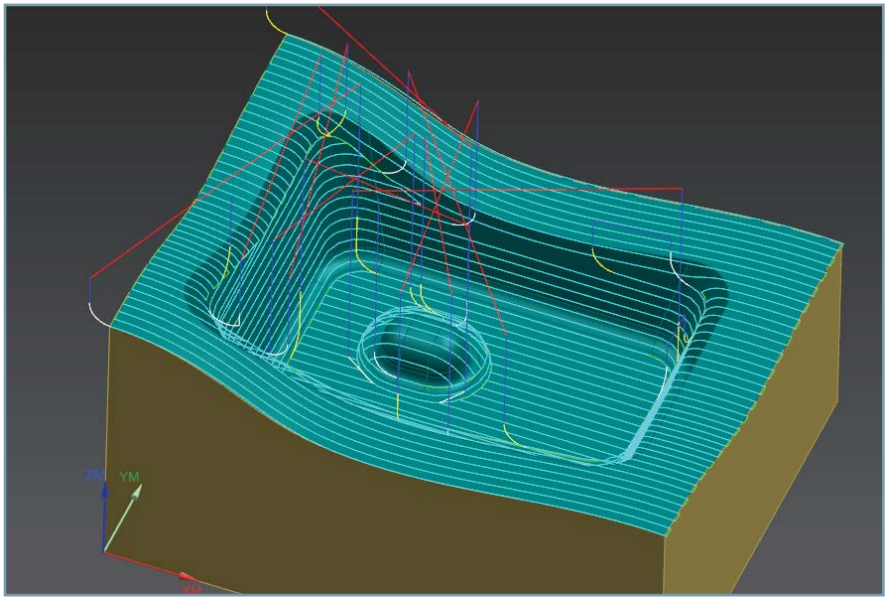


Рис. 9.39. Пример операции CONTOUR_AREA, где управление наклонами задано как С наклоном и без наклона (этот режим используется в сочетании с подобластями обработки)

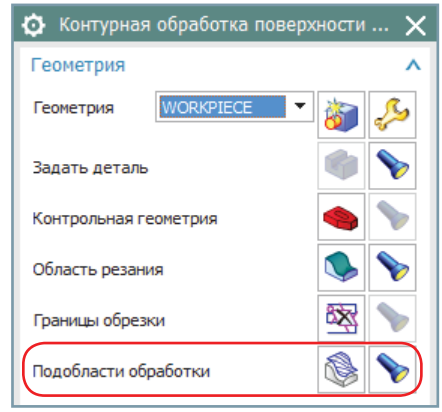


Рис. 9.40. Подобласти обработки в операциях AREA_MILLING

Подобласти обработки – это отдельный геометрический объект в операциях AREA_MILLING (рис. 9.40). Для работы с ним в инструменте должен быть задан держатель и включена опция контроля столкновений с держателем.
Продолжим работать с уже открытым примером. В этом примере есть две шаровые фрезы диаметром 6 мм, но имеющие разную длину (вылет) – BALL_MILL_SHORT и BALL_MILL_LONG.

- Создайте копию операции CONTOUR_AREA_COPY и переименуйте ее в CONTOUR_AREA_REGION (переименование делаем для удобства дальнейшего изложения).
- Поменяйте инструмент в этой операции на BALL_MILL_SHORT.
- Включите параметр **Контроль столкновений с держателем** в диалоговом окне **Параметры резания** – **Ограничения**.
- Выполните команду **Подобласти обработки** в основном диалоговом окне операции. Появится новое диалоговое окно (рис. 9.41).
- Параметр **Исходная область** – **Создать из** при первом выполнении всегда установлен в значение **Операция** (1).
- Группа параметров **Управление наклонами** (2) нам уже знакома, она дублируется из метода управления.
- Выполните команду **Создать список подобластей** (3).
- NX выполнит расчет, после чего список подобластей появится в диалоговом окне (4), и эти области будут показаны в графическом окне (рис. 9.42).
- Всего областей девять, пять из них могут быть обработаны выбранным инструментом, о чем говорит зеленый значок статуса в колонке Collision (5).
- При желании можно выбрать любую подобласть в списке, ее геометрия подсветится в графической области. По умолчанию эти 5 подобластей выбраны (зеленая галочка перед именем региона) для использования в текущей операции.
- Нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию. Поскольку мы используем шаровый инструмент, который может врезаться вертикально, измените **Тип врезания** на **Погружение**.
- Количество вспомогательных перемещений можно уменьшить, изменив шаблон обработки наклонных областей на **Контурное фрезерование по уровням Зигзагом**.
- Измените шаблон на указанный, результат показан на рис. 9.43.

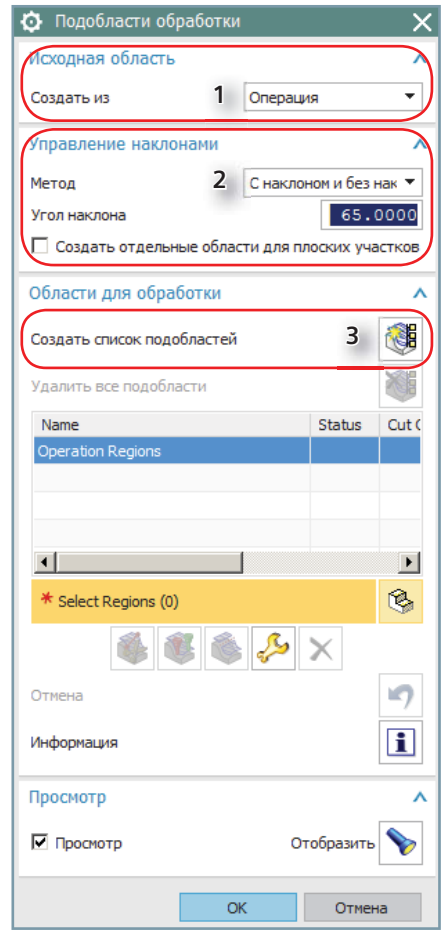


Рис. 9.41. Диалоговое окно задания подобластей обработки

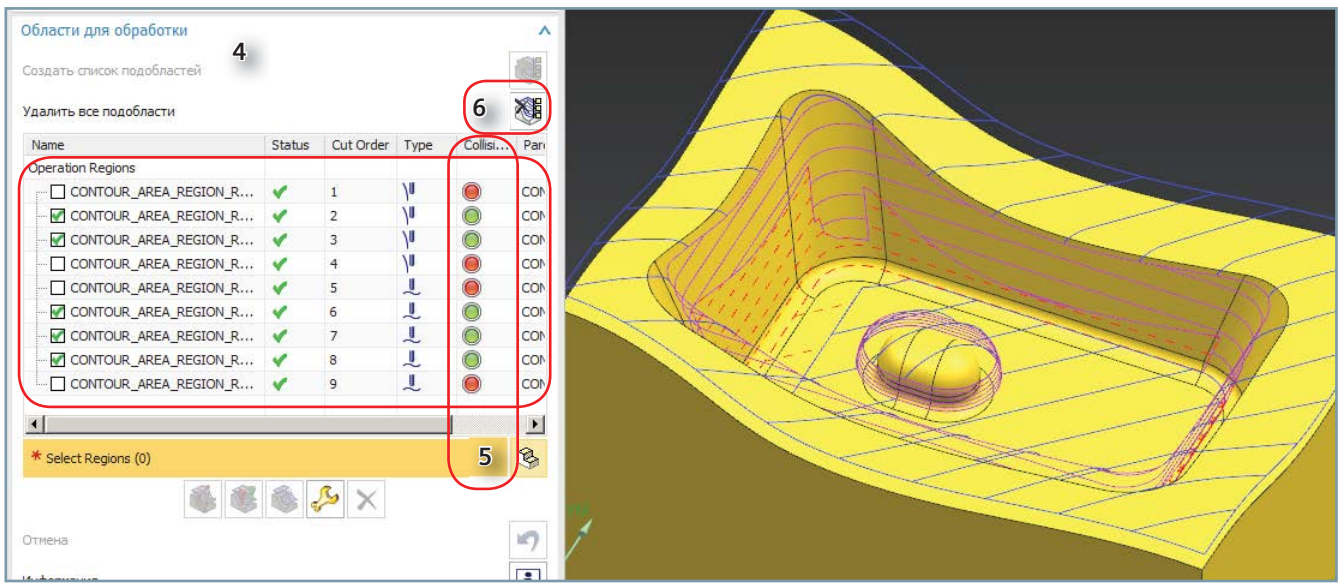


Рис. 9.42. Только подобласти, доступные для обработки текущим инструментом с учетом держателя, будут выбраны

- Для наглядности также показан инструмент.
- Создайте копию операции. Откройте диалоговое окно операции-копии и выполните команду **Подобласти обработки.**
- Параметр **Исходная область – Создать из** теперь установите в значение **Импорт** (1 на рис. 9.44).
- Параметр **Программа** позволяет указать программную группу для импорта подобластей, поскольку мы рассчитывали подобласти только один раз, то укажем здесь значение **Все** (2).
- Задача стоит обработать 4 оставшиеся подобласти, поэтому параметр **Статус зарезов** установите в значение **Столкновения** (3) и выполните команду **Создать список подобластей (4)**.
- Список подобластей появится в диалоговом окне (5).
- Выберите одну из подобластей и выполните команду **Предотвращение столкновений инструмента** (1 на рис. 9.45).

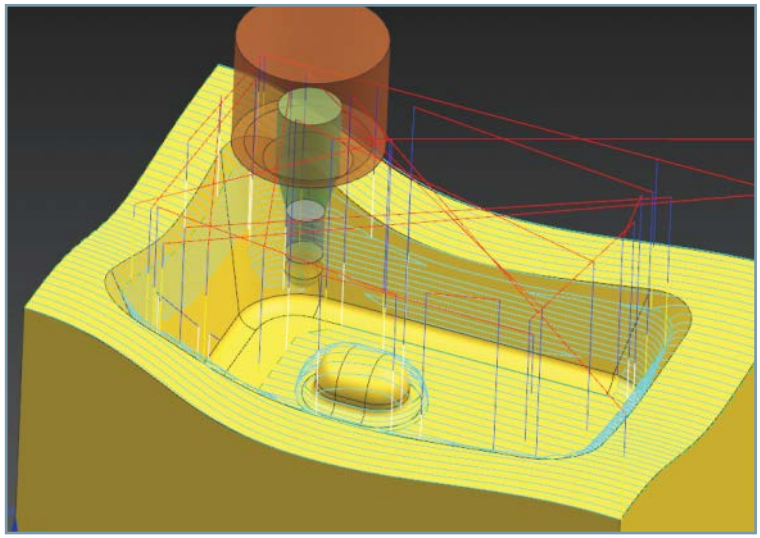


Рис. 9.43. Траектория обработки заданных подобластей

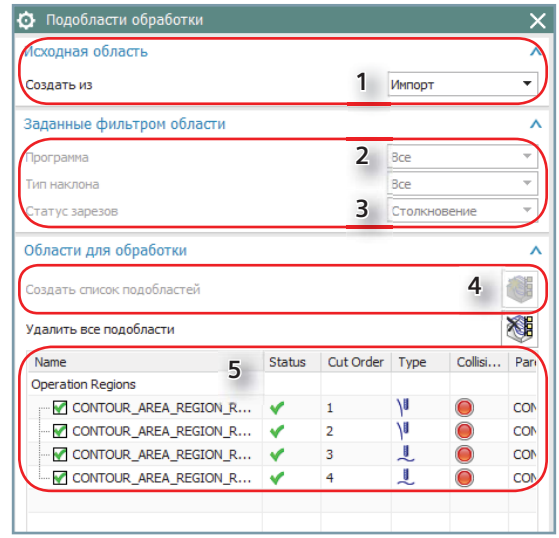


Рис. 9.44. Режим импорта подобластей из предыдущей операции работает без перегенерации траекторий

В графической области отображается инструмент, при этом цвет инструмента передает факт наличия (красный) или отсутствия (зеленый) столкновений и еще одно диалоговое окно появляется (рис. 9.46). Для предотвращения столкновений имеются две возможности: изменить инструмент (2) или изменить ориентацию инструмента (3). Для редактирования подобластей существуют команды **Разделить, Объединить, Изменить, Удалить** (4), но мы их здесь не рассматриваем. Поскольку речь пока идет о 3-осевой обработке, заменим инструмент, но сделаем это сразу для всех подобластей.

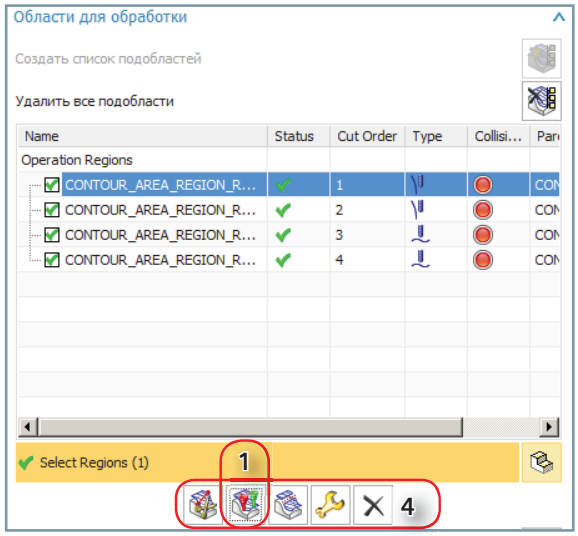


Рис. 9.45. Расположение команды Предотвращение столкновений инструмента

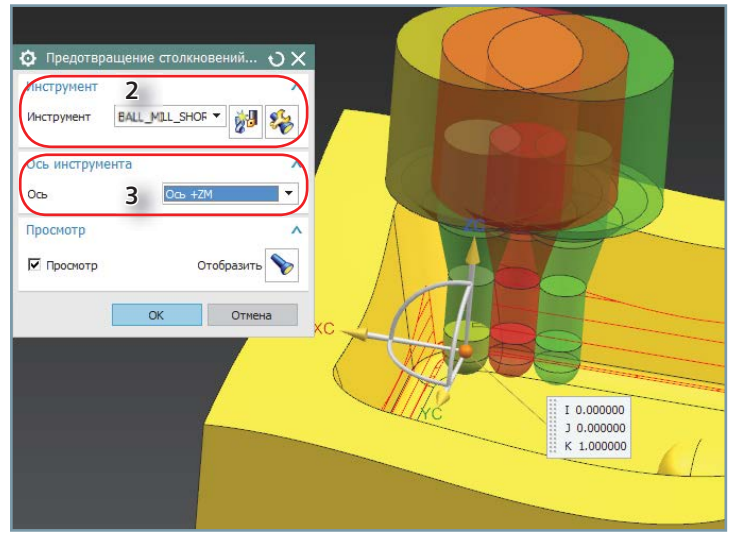


Рис. 9.46. Диалоговое окно предотвращения столкновений и предварительный просмотр инструмента

- Нажмите **Отмена**, выберите все 4 подобласти и снова выполните команду **Предотвращение столкновений инструмента**.
- В появившемся диалоговом окне замените инструмент на BALL_MILL_LONG и нажмите **ОК** (рис. 9.47).
- Статус столкновений (Collision) изменится на зеленый. Нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию. Результат показан на рис. 9.48.

Заметим, что на геометрию подобластей обработки влияют параметры зазоров, используемые при определении столкновений. Они задаются в **Параметрах резания** – **Зазоры** (рис. 9.49), причем независимо задаются зазоры для держателя, хвостовика, шейки инструмента. Геометрию подобластей надо будет пересоздавать при их изменении, а также при изменении геометрии инструмента, порогового угла разделения поверхностей на наклонные и ненаклонные, припуска на обработку. В этом случае используйте команду **Удалить все подобласти** (6 на рис. 9.42), после чего их надо рассчитать заново.

Повторимся, что этот функционал полезен при работе с большими моделями, когда нет возможности работать индивидуально с областями обработки. Если такая возможность имеется, то можно создавать еще более эффективные траектории. Например, наклонные участки этой модели можно обработать уже известной нам операцией ZLEVEL_PROFILE, а можно использовать контурную операцию с методом управления **Вдоль потока**, которую рассмотрим в следующей главе.

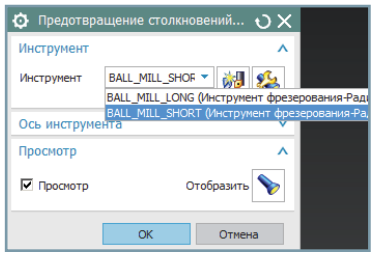


Рис. 9.47. Замена инструмента как вариант предотвращения столкновений

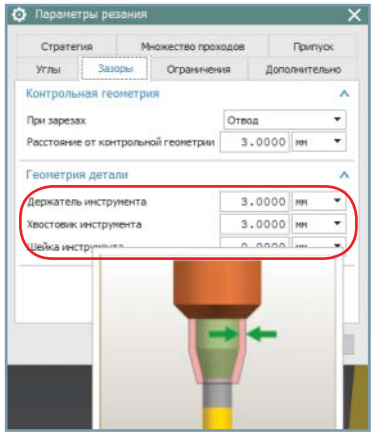


Рис. 9.48. Траектория обработки оставшихся подобластей более длинным инструментом

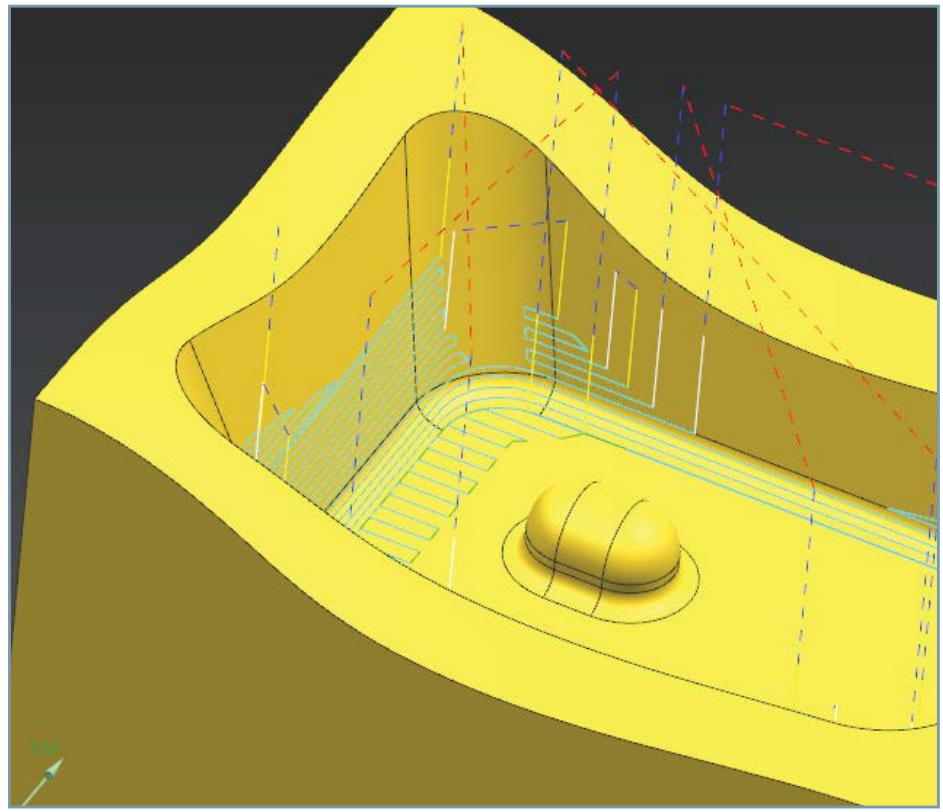


Рис. 9.49. Предотвращение столкновений работает с учетом зазоров хвостовика и держателя

Глава 10

Контурные операции (продолжение)

Содержание главы

- Операция STREAMLINE (Вдоль потока)
  - Обработка поднутрений на 3-осевом станке
- Операции по доработке углов
- Другие методы управления
  - Метод Линии/Точки
  - Метод Радиальное резание
- Гравировка текста

Контурные операции (продолжение)

Операция STREAMLINE (Вдоль потока)

Этот тип операций также относится к контурным методам обработки. Отличие от ранее рассмотренной операции состоит в задании шаблона резания. Шаблон резания определяется так называемыми линиями потока. Линии потока могут формироваться автоматически по граничным ребрам граней, входящих в область резания, а могут назначаться вручную путём выбора ребер, кривых и точек. Операция нечувствительна к способу построения поверхностей, входящих в область обработки. Это особенно актуально для импортированной геометрии из CAD-систем со слабым функционалом создания поверхностей. Это относительно новая операция, она широко использует динамические маркеры при задании параметров операции. Операция создает более качественные траектории, особенно для высокоскоростной обработки.
Операция бывает 3-осевая и 5-осевая. Команда 3-осевой операции STREAMLINE показана на рис. 9.3.

- Продолжим работать с предыдущим примером (либо откройте пример area_mill1_setup_2.prt).
- Выполните команду создания операции STREAMLINE, используйте инструмент BALL_MILL_D6. Появится диалоговое окно операции (рис. 10.1).
- Практически все параметры, которые имеются в диалоговом окне, нам известны. Обратите внимание, что метод управления установлен в значение **Вдоль потока** (1).

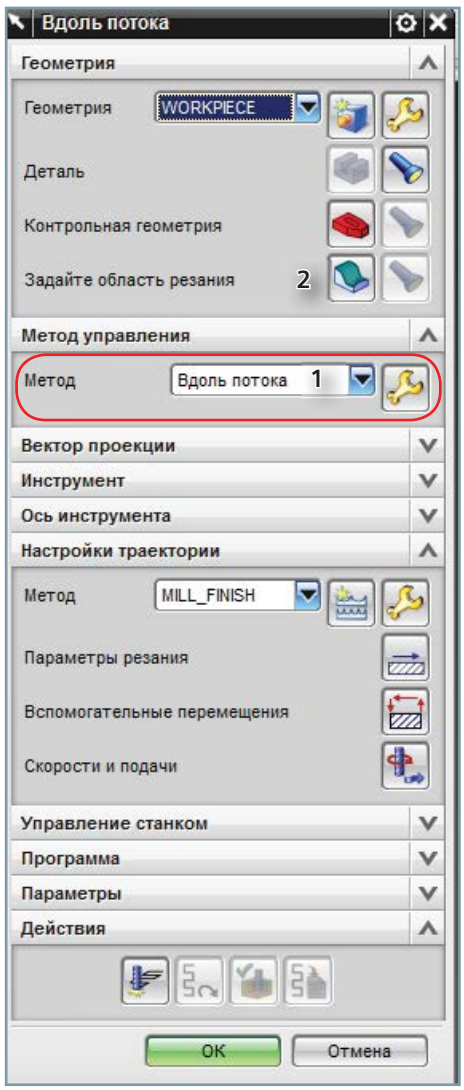


Рис. 10.1. Диалоговое окно операции STREAMLINE

- Задайте все наклонные стенки матрицы (без учета центральной бобышки) как область обработки (2), как показано на рис. 10.2.
- Для пологих участков можно было бы сразу генерировать операцию, для наклонных – нужна еще одна установка.
- Выполните команду с изображением ключика рядом с методом управления (1).
- Появится новое диалоговое окно (рис. 10.3).
- Если область резания была задана, то операция попытается определить линии потока автоматически и отобразит их в графической области в режиме предварительного просмотра (рис. 10.4).
- При этом в группе параметров **Выбор управляющей кривой** (3) метод выбора задан как автоматический.
- Если раскрыть группу **Список** (4) в группе **Кривые потока**, то можно увидеть, что две кривые потока определены.
- При выборе одной из кривых она выделяется цветом, маркером показывается направление кривой.

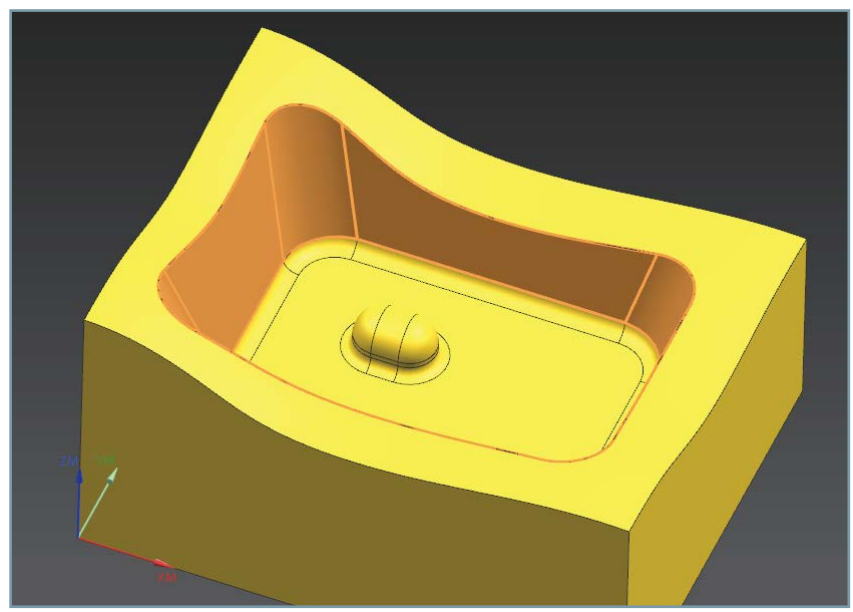


Рис. 10.2. Для стенок переменной высоты эта операция лучше подходит

- Со списком поработаем подробнее в следующем примере, а пока перейдем к группе параметров **Настройки управления** (5).
- Там заданы **Шаблон резания** и число проходов (именно эти значения учитываются при предварительном просмотре).
- Параметр **Позиция инструмента** переключите в значение **Касательно** (6).
- К этому диалоговому окну еще вернемся, а пока нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 10.5.
- Нажмите **ОК**, чтобы сохранить операцию в **Навигаторе операций**.

Группа параметров **Обрезка и удлинение** позволяет обрезать или увеличить область обработки в процентном отношении.

- Снова откройте диалоговое окно операции, раскройте группу параметров **Обрезка и удлинение** (7), фрагмент диалогового окна операции показан на рис. 10.6.

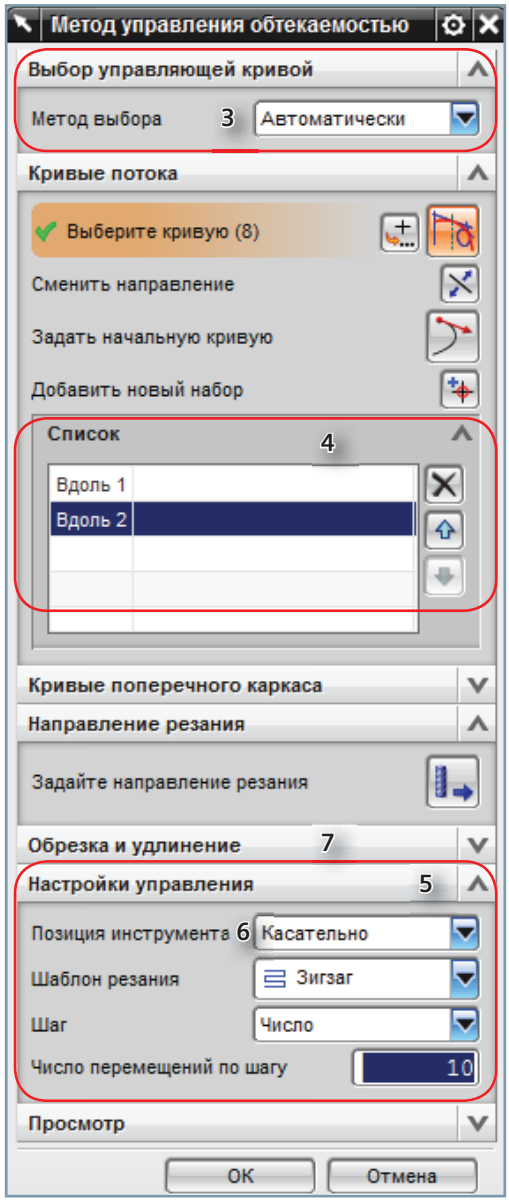


Рис. 10.3. Диалоговое окно метода управления обтекаемостью (вдоль потока), где линии потока определены автоматически

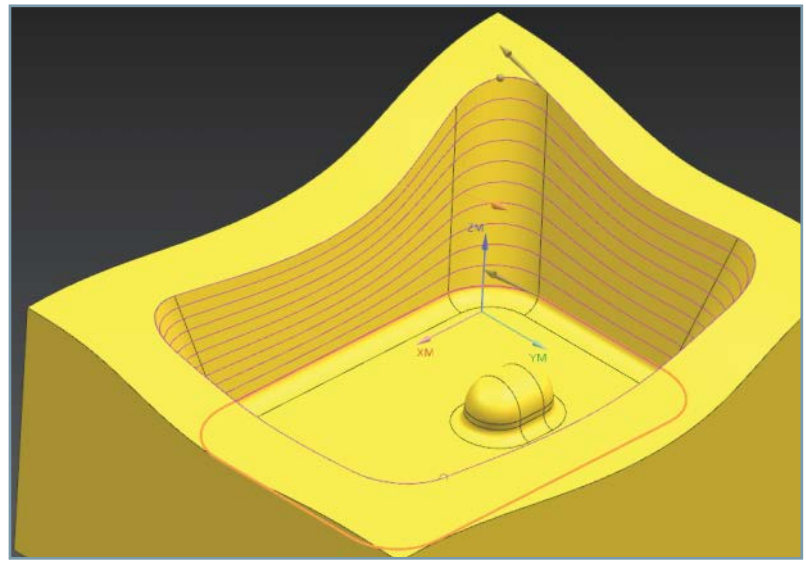


Рис. 10.4. Предварительный просмотр линий потока

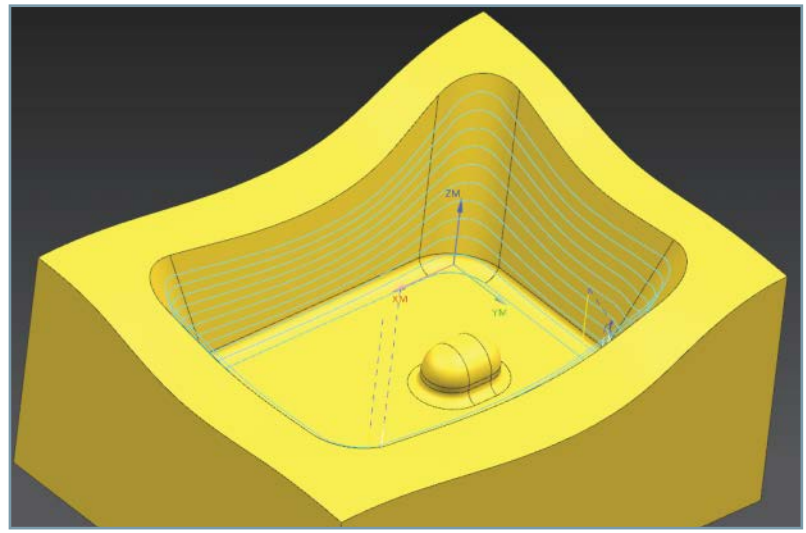


Рис. 10.5. Траектория, созданная операцией STREAMLINE

Параметры **Первый рез** и **Конечный рез** (8) применяются к области резания в направлении линий потока, от 0 до 100% – это вся длина области. Параметры **Начальный шаг** и **Конечный шаг** (9) применяются к области резания перпендикулярно линиям потока, от 0 до 100% – вся ширина области.

- Иногда используется чисто символическая обрезка.
- Измените **Конечный шаг** на 99% и перегенерируйте операцию.

Данный шаг позволит устранить выбросы (показаны на рис. 10.7) на последнем проходе. Это иногда случается и связано с тем, что управляющая геометрия формируется по обрабатываемой с определенным допуском. В нашем случае последний проход смещается относительно кромок выбранной области на 1%, что уже достаточно для устранения выбросов.
Среди шаблонов резания в операции имеется **Винтовой или спиральный** (рис. 10.8). Его использование возможно только для замкнутой области резания. В этом случае движения резания не прерываются на переходы между контурами, получается очень гладкая спиральная траектория с 1 подводом и 1 отводом, наложенная на область обработки (рис. 10.9).

- Параметры обрезки и удлинения позволяют обработать часть области резания (возможно, вы хотите использовать в другой части области иной инструмент или иные параметры операции).
- На рис. 10.10 показан вариант задания **Начального и Конечного реза** как 20 и 40% соответственно (1).
- В графической области сразу отображается шаблон обработки, наложенный на ограниченный участок области обработки. Маленький кружок на шаблоне показывает начало первого прохода (показан стрелкой).
- Если необходимо изменить начало первого прохода, то выполните команду **Задайте направление резания** (2).

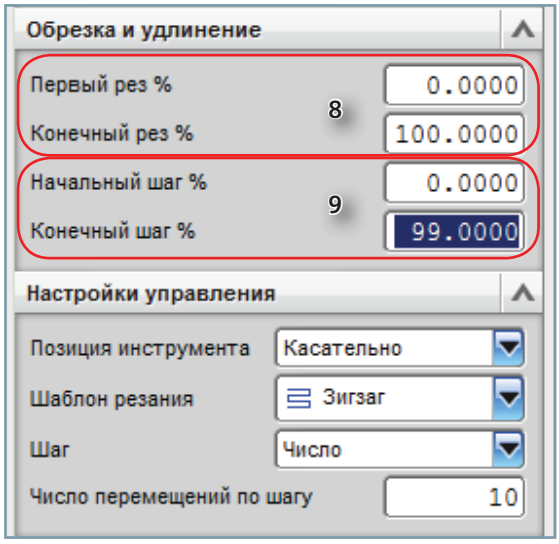


Рис. 10.6. Параметры обрезки и удлинения сужают или расширяют область обработки

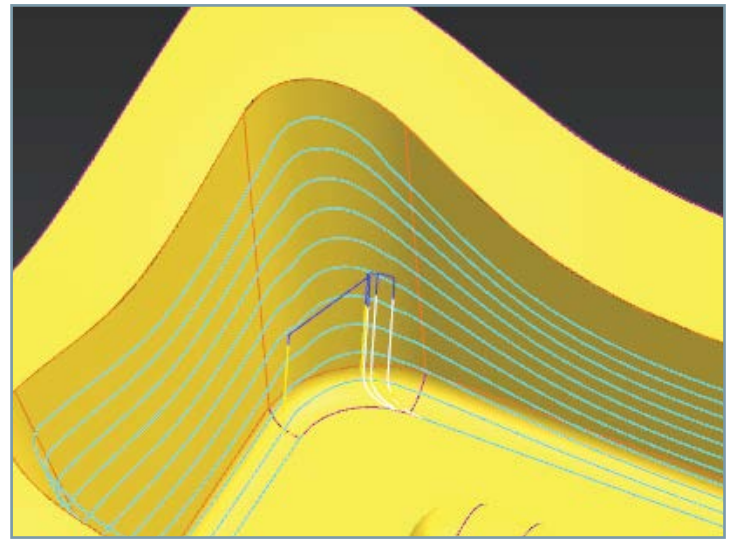


Рис. 10.7. Пример выброса на траектории, который легко убирается сужением области обработки

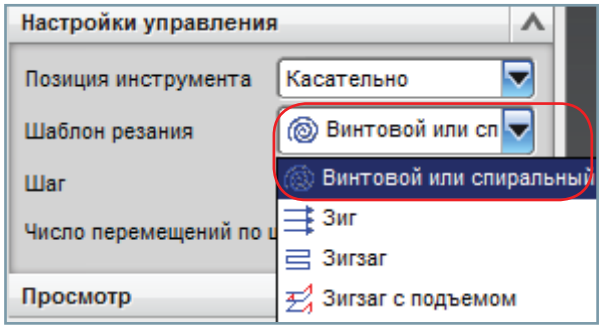


Рис. 10.8. Операция STREAMLINE имеет винтовой или спиральный шаблон

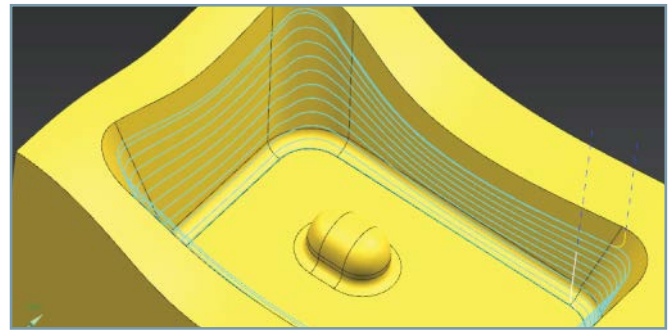


Рис. 10.9. Пример траектории с использованием спирального шаблона

- В графической области будут отображены 8 стрелок – маркеры возможного начального угла и направления резания (рис. 10.11), необходимо выбрать требуемый маркер.
- Сохраните модель, она нам еще понадобится.

Для рассмотрения некоторых других параметров операции требуется другой пример.

- Откройте пример streamline_2.prt. Обработаем полость.

Обратите внимание, что полость состоит из лоскутов, мы используем такой пример, чтобы подчеркнуть, что линии потока в данной операции не зависят от способа построения модели (рис. 10.12). Вторая особенность подобного примера – наличие узкого паза, который делит полость на две части. По твердотельной модели построены две вспомогательные прямые линии, которые будем использовать при выборе линий потока. В этом примере не будем определять область обработки, а создадим линии потока вручную.

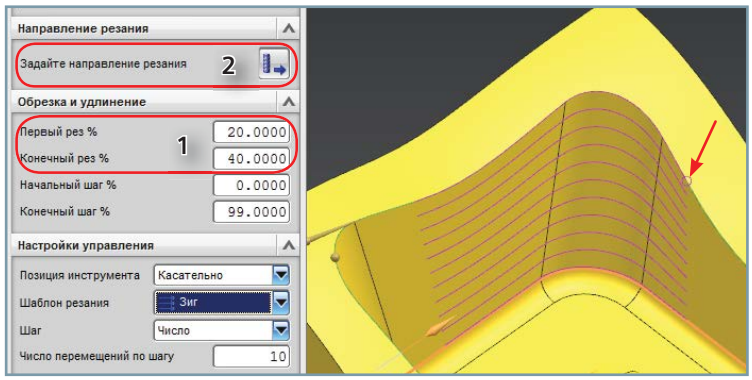


Рис. 10.10. Использование параметров обрезки и удлинения для локализации области обработки

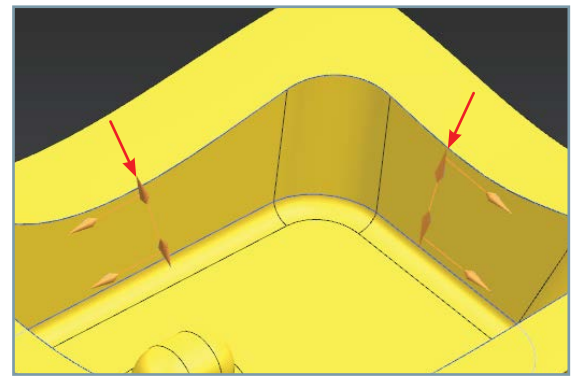


Рис. 10.11. Для задания первого прохода и направления резания используются специальные маркеры

- Создайте новую операцию STREAMLINE и откройте диалоговое окно метода управления (рис. 10.13).
- Если область обработки не задана, то метод выбора в верхней части диалогового окна (1) установлен в значение **Задать** (это ручное задание линий потока).
- Поле **Выберите кривую** (2) в группе параметров **Кривые потока** активно. Выберите все ребра и вспомогательную кривую с одной стороны полости.
- Выполните команду **Добавить новый набор** (3) и задайте кривые на второй части полости.
- В графической области прямо в процессе задания отображается шаблон резания (рис. 10.14).
- Шаблон резания в этом варианте располагается не по поверхности, а по кратчайшему расстоянию между кривыми, шаг проходов в этом случае рассчитывается в шаблоне, а не по поверхности (далее разберем другой случай).

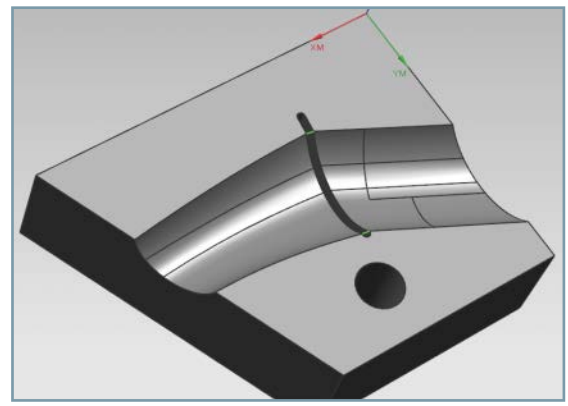


Рис. 10.12. Пример, показывающий, что работа с линиями потока не зависит от способа создания поверхностей

- В диалоговом окне **Список** (4) кривых потока показывается, что заданы две кривые, одна из них выбрана. Можно реверсировать направление кривой командой **Сменить направление** (5), можно переставить кривые местами (6).
- Обратите внимание, что позиция инструмента тут задана значением **На поверхности** (7). То есть проецируемая точка шаблона соответствует вершине инструмента.
- Нажмите **ОК** и генерируйте операцию.
- Траектория показана на рис. 10.15. Первый проход идет ровно по кромке полости.

В операции можно задать кривые поперечного каркаса, которые влияют на расположение шаблона.

- Сделайте копию операции.
- В диалоговом окне новой операции откройте группу параметров **Кривые поперечного каркаса** (8).

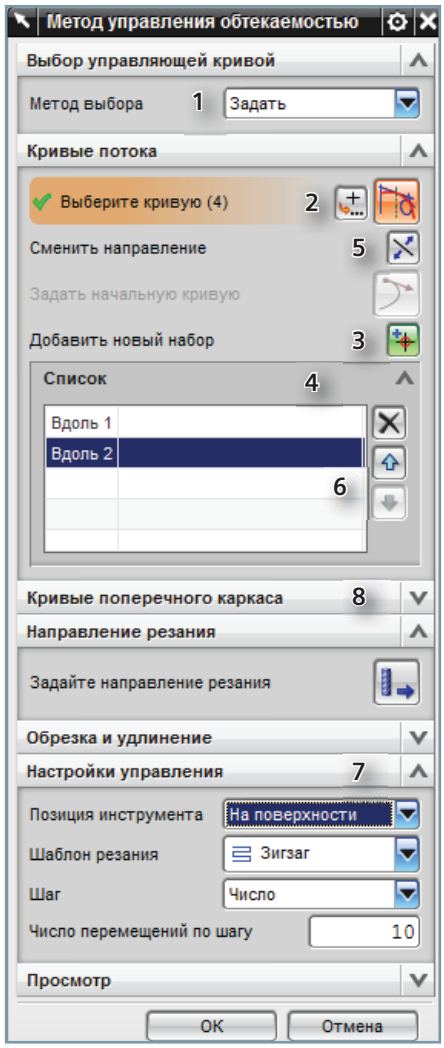


Рис. 10.13. Диалоговое окно метода управления обтекаемостью (вдоль потока), где линии потока определены вручную

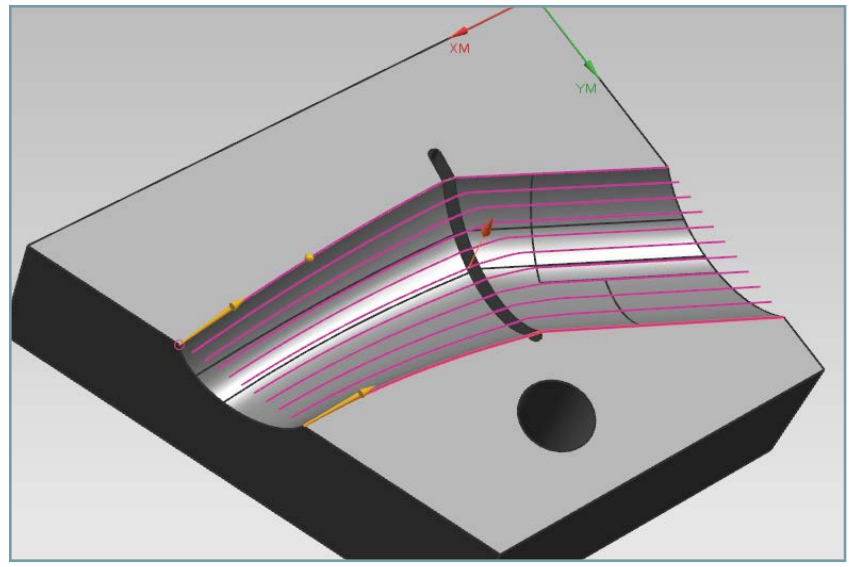


Рис. 10.14. Предварительный просмотр линий потока (без кривых поперечного каркаса)

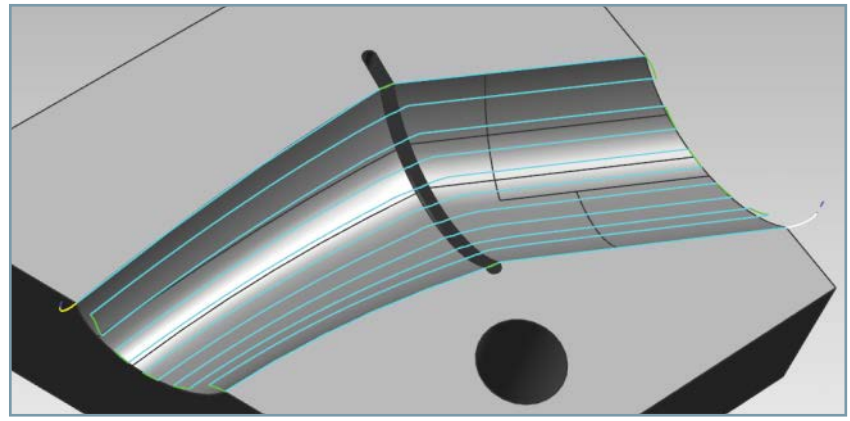


Рис. 10.15. Траектория как проекция плоского шаблона

- Фрагмент диалогового окна показан на рис. 10.16.
- Активируйте поле **Выберите кривую** (9) и задайте боковые кромки полости. Не забудьте выполнить команду **Добавить новый набор** (10) после выбора первой кромки.
- Шаблон показан на рис. 10.17
- Теперь шаг между проходами рассчитывается по поверхности. Отдельный список отображает кривые поперечного каркаса. Динамические маркеры направления показаны и в направлении потока, и в поперечном направлении. Их также можно реверсировать или поменять местами.
- Можно поменять местами кривые потока и кривые поперечного каркаса
- Используя команду **Задать направление резания** (11).
- Генерируйте операцию. Снова зайдите в диалоговое окно метода управления обтекаемостью, установите **Позицию инструмента Касательно** (12) и перегенерируйте операцию.
- Траектория и инструмент показаны на рис. 10.18.

Обратите внимание, что первый проход формируется так, что инструмент касается кромки полости не вершиной, а боковой стороной. Это более экономичная траектория, так как в ней нет лишних проходов по кромкам полости.

Обработка поднутрений на 3-осевом станке

Контурные операции могут использоваться для обработки поднутрений на 3-осевом станке. Это возможно, так как позволяет независимо задавать ось инструмента и вектор проекции шаблона.

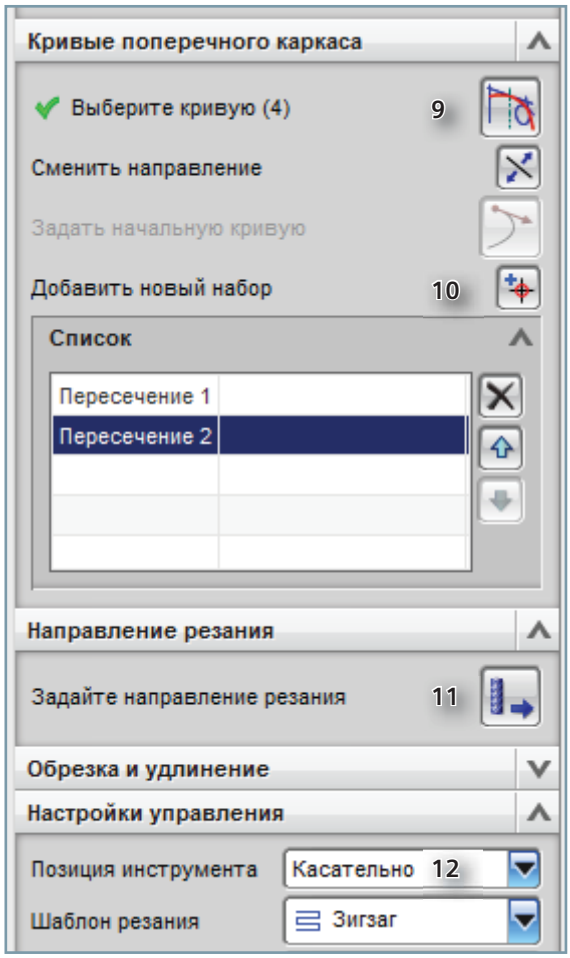


Рис. 10.16. Добавление кривых поперечного каркаса дает расчет шага по поверхности

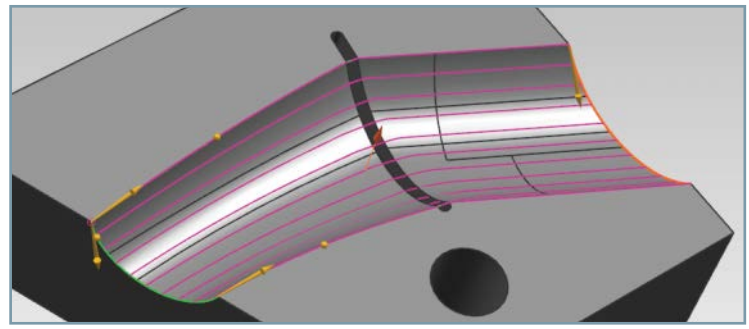


Рис. 10.17. Предварительный просмотр линий потока (с кривыми поперечного каркаса)

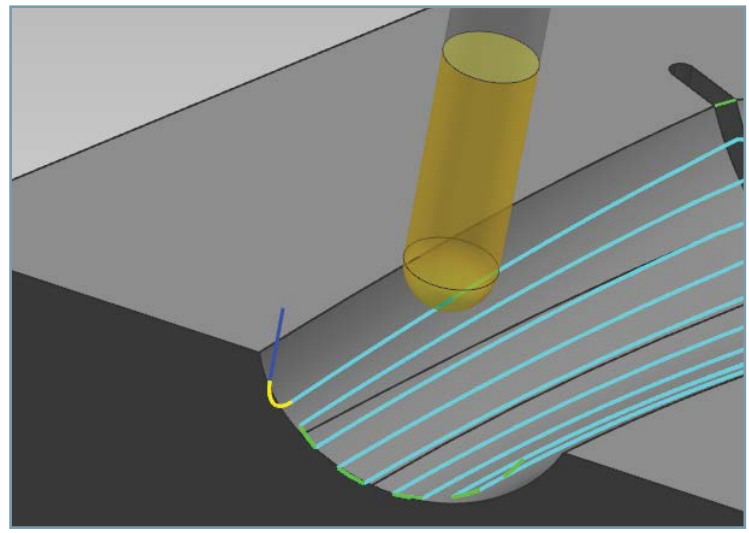


Рис. 10.18. Траектория, где шаг между проходами задан по поверхности

- Откройте пример contour_undercut.prt. Изучите существующую операцию.

На рис. 10.19 показаны установки операции STREAMLINE и траектория инструмента в этой операции. Ось инструмента задана по оси Z (1), то есть это 3-осевая операция. **Метод управления** – **Вдоль потока** (2), область обработки задана, поэтому линии потока рассчитываются автоматически (возможно, придется изменить порядок линий, чтобы обработка начиналась сверху). Вектор проекции в 3-осевых операциях обычно установлен в значение **Ось инструмента**, в этой операции задано **К прямой** (3), прямую можно задать различными способами, тут использованы точка (начало координат) и вектор (ось Z). **Вектор проекции** широко используется в 5-осевой обработке и там будет рассмотрен подробнее.
Также отредактированы **Вспомогательные перемещения**, на врезании изменена плоскость дуги, отводы заданы как врезания, обходы – сглаженные.

Операции по доработке углов

В NX имеются специальные операции по доработке вогнутых углов. Поиск таких углов осуществляется автоматически. Обработка будет проводиться там, где инструмент касается модели в двух точках (так называемые точки двойного контакта). Например, если в модели имеется скругление вогнутого угла радиусом 6 мм, то для инструмента радиусом 6 мм или более это будет областью, где требуется обработка, а для инструмента радиусом менее 6 мм – нет. Имеются три операции по доработке углов (рис. 10.20): однопроходная (FLOWCUT_SINGLE), многопроходная с явным указанием проходов (FLOWCUT_MULTIPLE) и многопроходная со ссылкой на предыдущий инструмент (FLOWCUT_REF_TOOL). На рисунке они обозначены цифрами 1, 2 и 3 соответственно. Эти операции также считаются контурными, хотя проецирования в данном случае нет, можно сказать, что оно вырожденное.

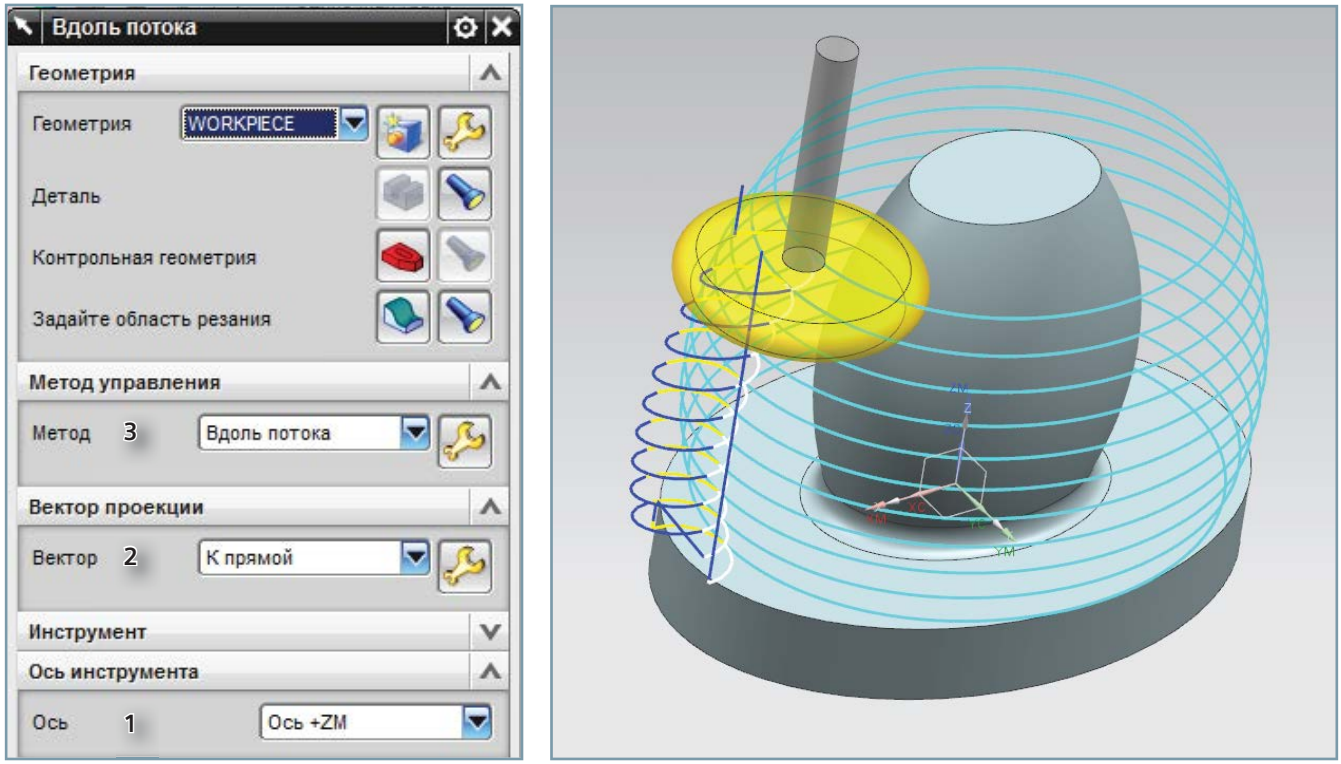


Рис. 10.19. Использование вектора проекции для обработки поднутрений на 3-осевых станках

- Снова откройте пример area_mill1_setup_1.prt. Выполните команду создания операции FLOWCUT_SINGLE, используйте родительские группы, как на рис. 10.20, и нажмите **ОК**.
- Диалоговое окно операции появится (рис. 10.21).
- Диалоговые окна в NX настраиваемые, в этой операции переключатель метода управления скрыт, а параметры метода вынесены в основное диалоговое окно (4).
- Эти параметры, по сути, являются фильтрами, позволяющими уменьшить фрагментацию траектории путем задания размера области резания, расстояния объединения и т. д. **Шаблон резания** в этой операции единственный – **Зиг**.
- Можно, просто ничего не нажимая, генерировать операцию. Результат дан на рис. 10.22, инструмент показан для наглядности. Это однопроходный вариант доработки.
- Теперь создадим операцию FLOWCUT_MULTIPLE.
- В этой операции управляющих параметров больше. Диалоговое окно операции очень похоже на предыдущее, за исключением параметров метода управления (рис. 10.23).
- Траектория в этой операции рассчитывается так: сначала определяется основной проход (как в операции FLOWCUT_SINGLE), а затем добавляются дополнительные проходы в обе стороны от основного прохода.
- Количество их определяет параметр **Число шагов на сторону** (1), **Шаг** задается явно, **Шаблон** может быть **Зиг** или **Зигзаг** с некоторыми вариациями (2), и дополнительно задается **Последовательность проходов** (3): **Снаружи внутрь**, **Изнутри наружу** также с вариантами.

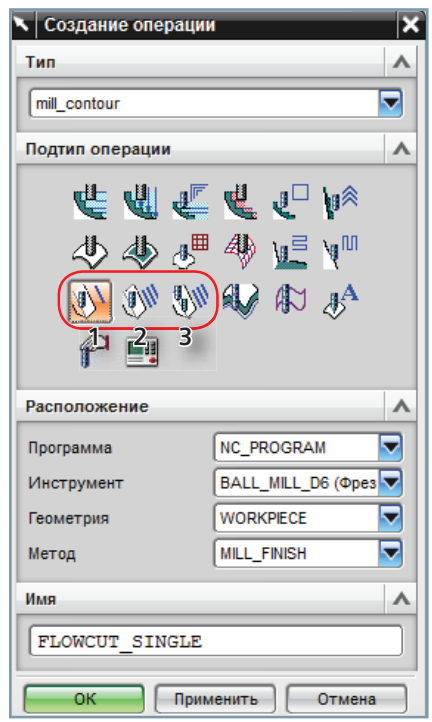


Рис. 10.20. Расположение команд операций по доработке углов

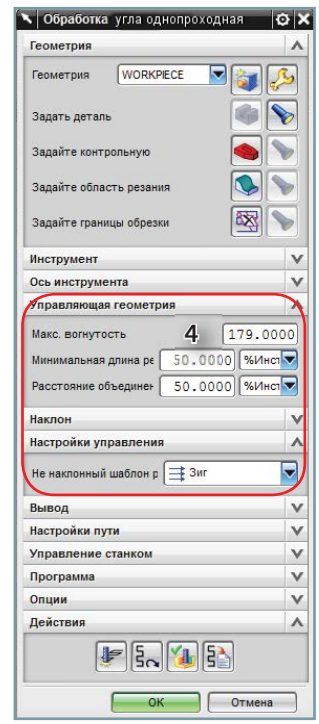


Рис. 10.21. Диалоговое окно операции FLOWCUT_SINGLE

- На рис. 10.24 показана траектория из 5 проходов, основной и по два с каждой стороны от основного.

Наиболее интересна операция FLOWCUT_REF_TOOL, это многопроходная доработка, где число проходов и ширина области доработки рассчитываются автоматически, исходя из геометрии ссылочного инструмента. Это может быть предыдущий инструмент, но не обязательно, в расчете участвует именно геометрия ссылочного инструмента.

- Создайте операцию FLOWCUT_REF_TOOL.

В диалоговом окне операции (рис. 10.25) есть переключатель методов управления, характерный для всех контурных операций, команда вызова параметров метода управления открывает новое диалоговое окно (рис. 10.26). Этот тип операции позволяет независимо задавать шаблон для ненаклонных (1) и наклонных (2) участков модели. **Угол наклона** (3), разделяющий наклонные и ненаклонные участки, также задается. Параметр **Тип обработки углов** (4) позволяет

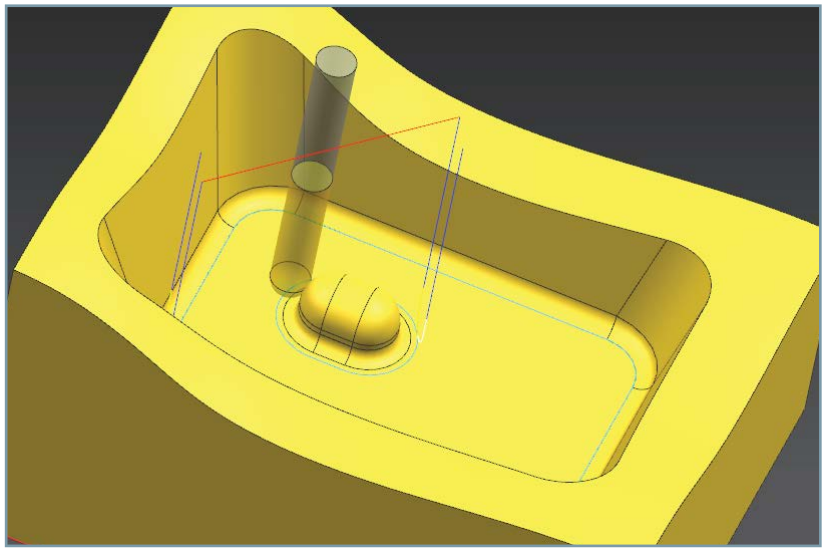


Рис. 10.22. Результат операции FLOWCUT_SINGLE – однократный проход вдоль углов

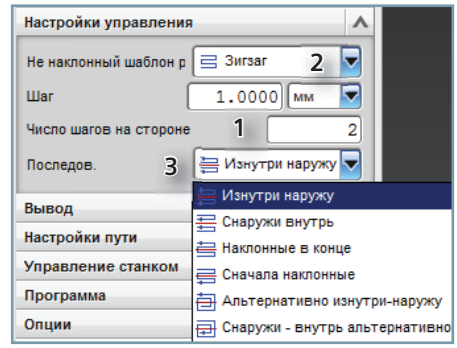


Рис. 10.23. Шаблоны для многопроходной обработки в операции FLOWCUT_MULTIPLE

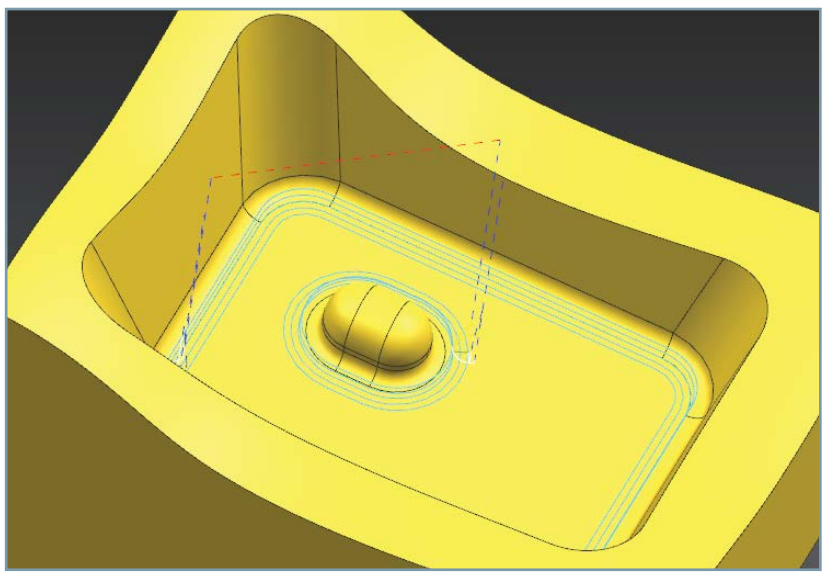


Рис. 10.24. Результат операции FLOWCUT_ MULTIPLE – несколько явно заданных проходов вдоль углов

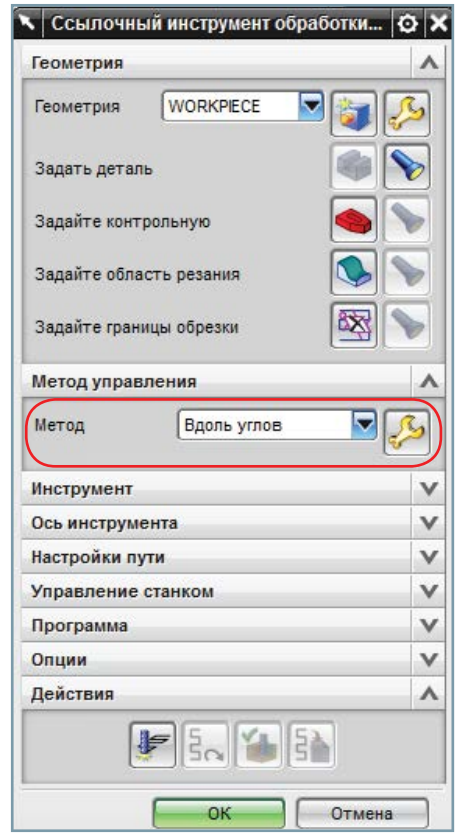


Рис. 10.25. Диалоговое окно операции FLOWCUT_REF_TOOL

задать однопроходный и многопроходный варианты метода управления, установка **Процент предыдущего** работает со ссылочным инструментом. В нижней части диалогового окна задаются **Диаметр предыдущего инструмента** (5) и **Расстояние перекрытия** (6).

- Генерируйте операцию, задав диаметр ссылочного инструмента 8 мм (радиус скругления 3 мм). Траектория показана на рис. 10.27.
- Сделайте копию операции. В копии измените **Шаблон резания** для ненаклонных участков на **Поперечный рез зигзагом** (рис. 10.28) и генерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 10.29, доработка осуществляется поперечными движениями, это довольно популярный вид доработки углов в пресс-формах и штампах.

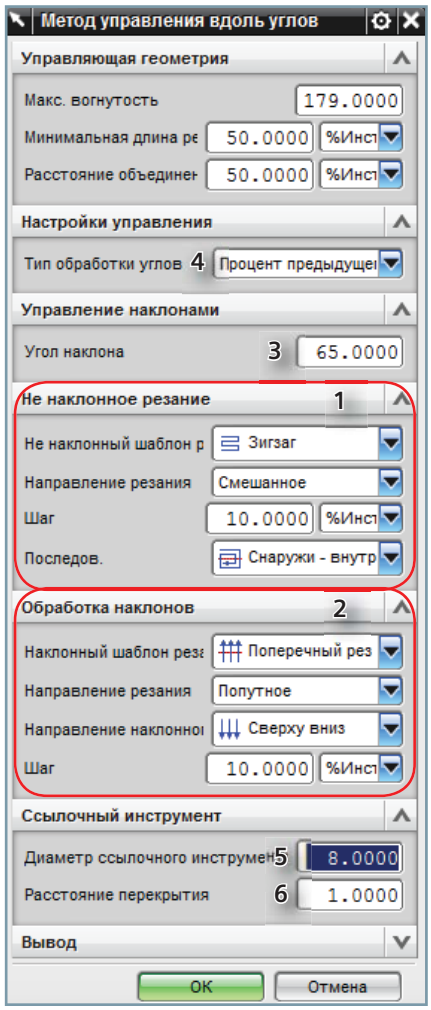


Рис. 10.26. Диалоговое окно метода управления операции FLOWCUT_REF_TOOL

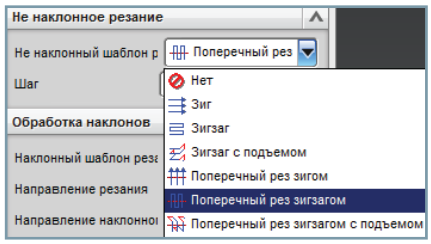


Рис. 10.28. Использование шаблона Поперечный рез зигзагом

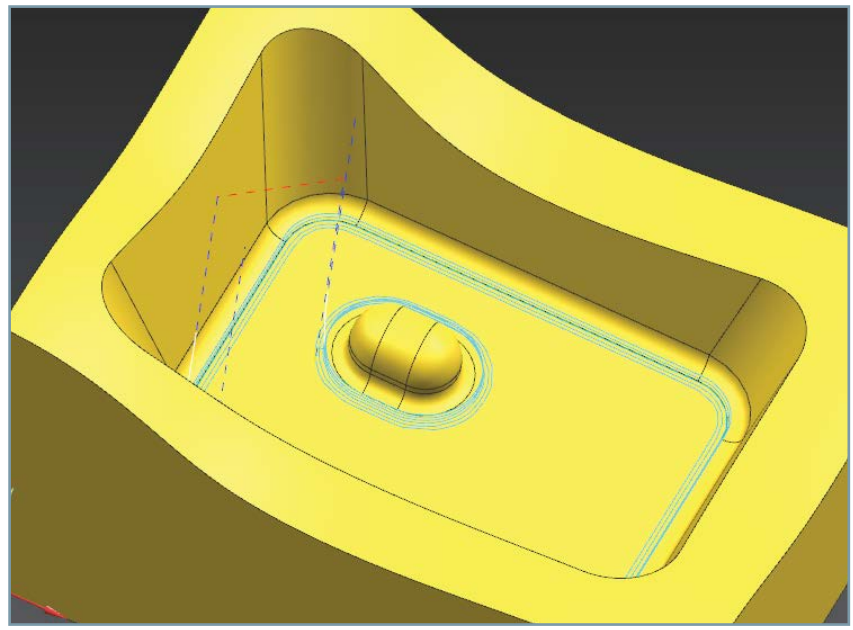


Рис. 10.27. Результат операции FLOWCUT_REF_TOOL – несколько проходов вдоль углов (количество определено автоматически)

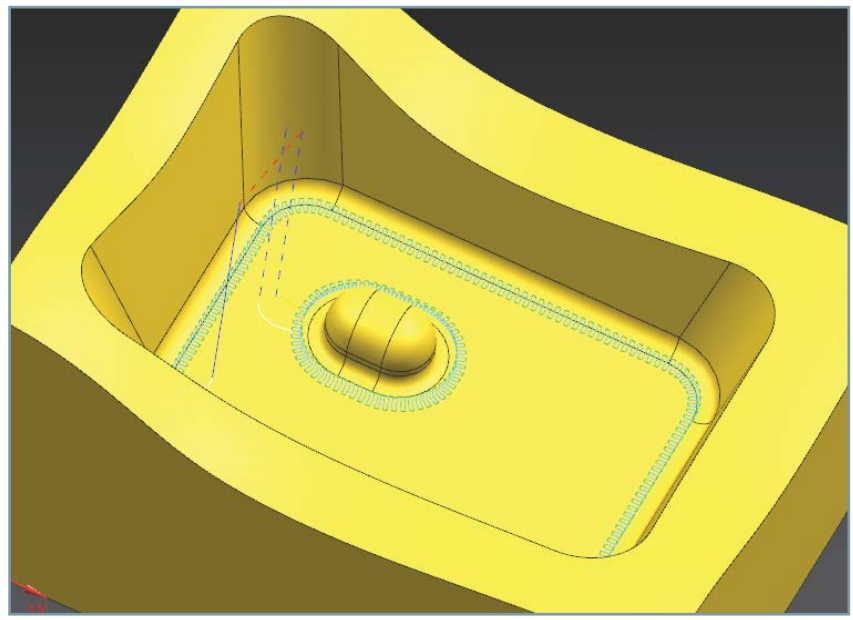


Рис. 10.29. Результат операции FLOWCUT_REF_TOOL – обработка углов поперечными движениями (ширина области обработки определена автоматически)

Операция FLOWCUT_REF_TOOL поддерживает случаи, когда предыдущий инструмент оставил большую область неснятого материала (рис. 10.30). Здесь уже нельзя сказать, что область доработки ограничена кривыми двойного контакта. Текущий инструмент выполняет обработку, постепенно погружаясь в материал, как бы с учетом ЗвПО (рис. 10.31).

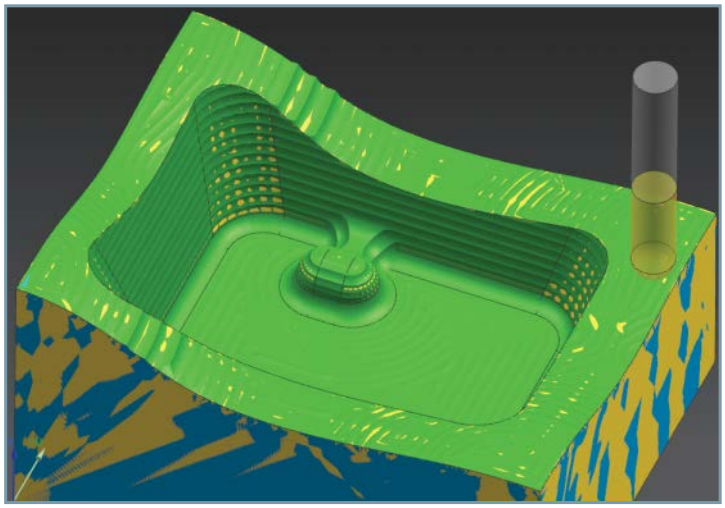


Рис. 10.30. Операция FLOWCUT_REF_TOOL поддерживает случаи, когда предыдущий инструмент оставил большую область неснятого материала

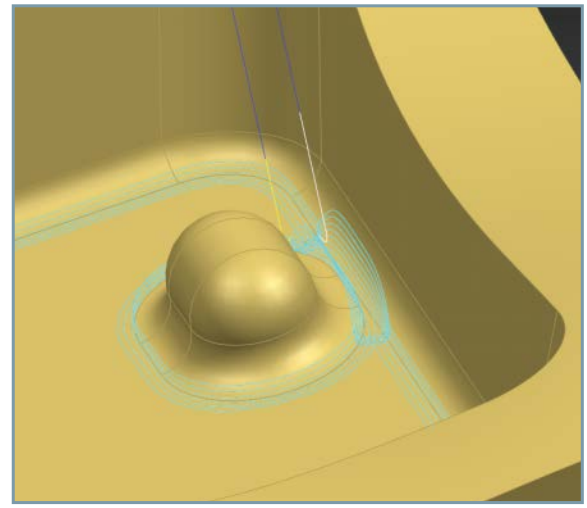


Рис. 10.31. Результат операции FLOWCUT_REF_TOOL для обработки большей области неснятого материала (похоже на поддержку ЗвПО)

- Откройте пример area_mill2_setup_1.prt. В нем уже имеются 2 операции предварительной обработки.
- Создайте операцию FLOWCUT_REF_TOOL, используя шаровый инструмент диаметром 6 мм, ссылочный инструмент – шаровая фреза диаметром 8 мм.
- Результат должен быть как на рис. 10.31. Выполните верификацию операций для наглядности.
- Закончим обработку примера, с которого начиналась эта книга. Откройте пример game_remote_setup_2.prt.
- Создайте операции FLOWCUT_SINGLE (рис. 10.32) и FLOWCUT_REF_TOOL (рис. 10.33).
- Помните, что радиус инструмента должен быть больше или равен радиусу скругления.
- Для доработки с использованием ссылочного инструмента для ненаклонных углов задайте шаблон **Зигзаг**, а для наклонных – **Поперечный рез зигзагом**.

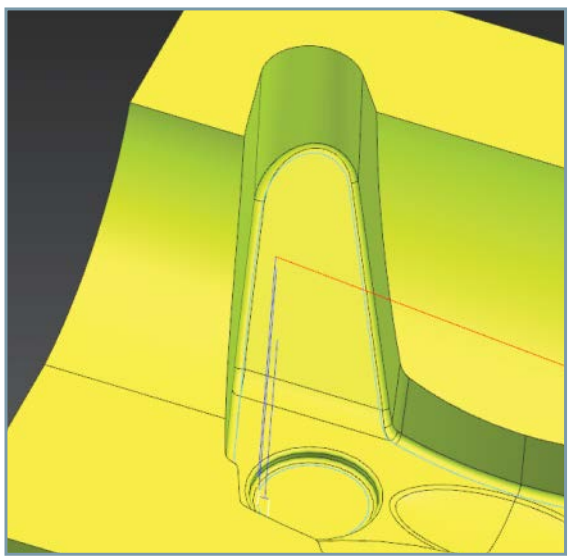


Рис. 10.32. Операции FLOWCUT_SINGLE в примере из главы 2

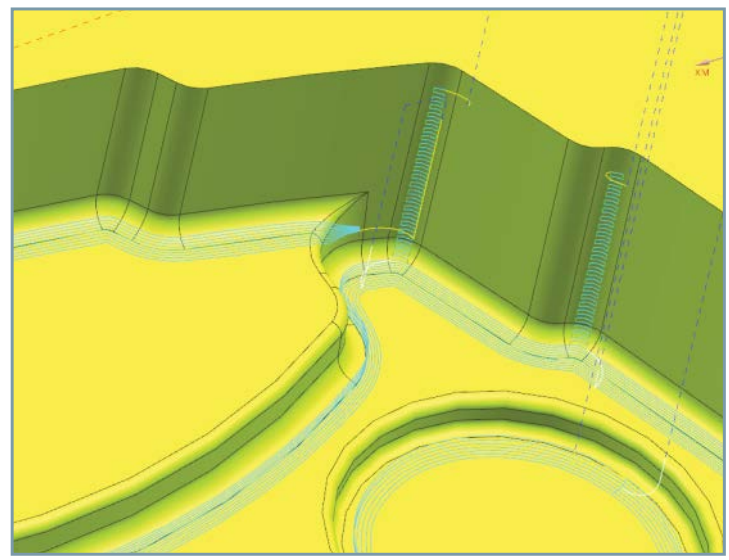


Рис. 10.33. Операции FLOWCUT_REF_TOOL в примере из главы 2

Другие методы управления

Метод Линии/Точки

Метод управления **Линии/Точки** позволяет проводить обработку вдоль заданной кривой или набора кривых.

- Откройте пример surf_area7_setup_2.prt. Операция типа FIXED_CONTOUR с шаблоном **Зигзаг** уже создана.
- Эта операция нам нужна для корректной визуализации обработки в дальнейшем. Выполните команду создания операции FIXED_CONTOUR, установите **Метод управления Линии/Точки**.
- Сразу при переключении метода управления откроется диалоговое окно параметров метода (рис. 10.34).
- В нем активно поле **Выберите кривую** (1), выберите прямую линию, как на рис. 10.35. На линии будет отображаться маркер направления, направление можно поменять в диалоговом окне командой **Сменить направление** (2), можно выбрать больше одной кривой и организовать их в **Список** (3).
- Организацию кривых в списке разберем при рассмотрении гравировки далее.
- Нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию.

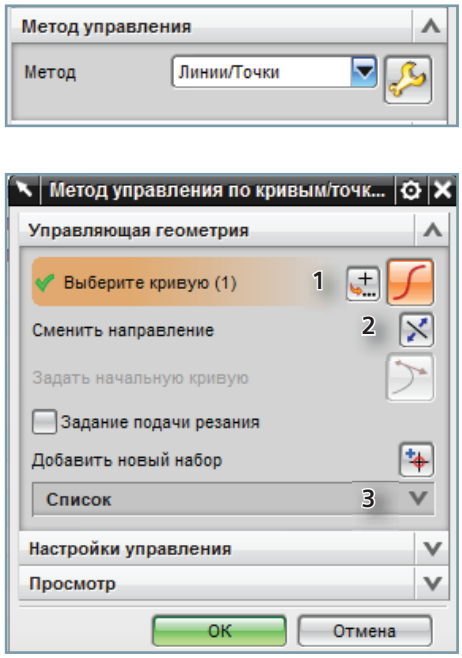


Рис. 10.34. Параметры метода управления Линии/Точки

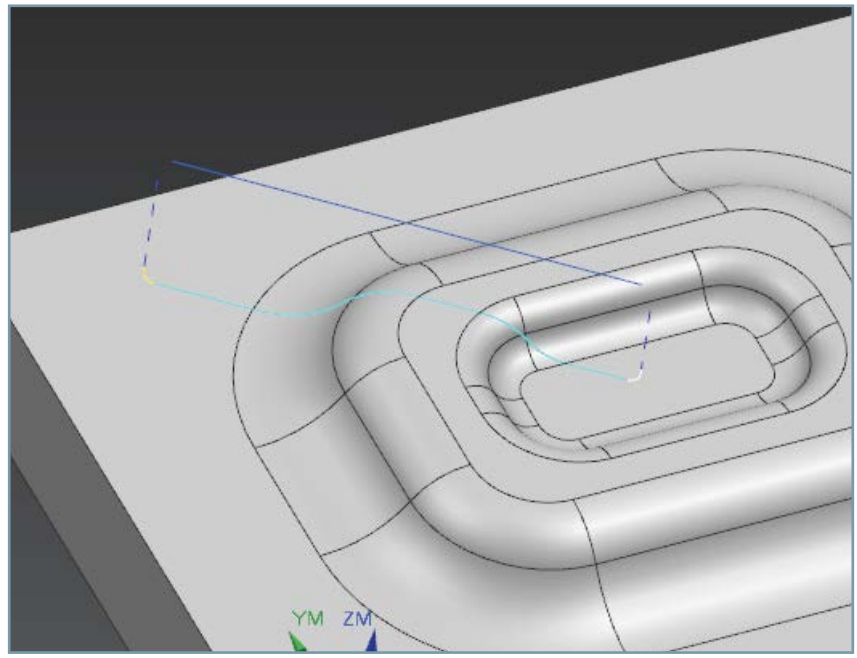


Рис. 10.35. Траектория как результат обработки вдоль кривой

На рис. 10.35 хорошо видно, что траектория получена проецированием шаблона на деталь. Но это не проекция кривой, траектория создается с учетом инструмента (фактически это перекликается с рис. 9.2, где рассматривался принцип генерирования контурных операций). Часто такие операции применяются с отрицательным припуском, что позволяет получить канавку заданной глубины на криволинейных поверхностях.

- Задайте припуск =-0.5 мм и перегенерируйте операцию.

Метод Радиальное резание

Метод управления **Радиальное резание** позволяет выполнить обработку поперечными ходами полосы заданной ширины, расположенной вдоль кривой.

- Выполните команду создания операции FIXED_CONTOUR, установите **Метод управления** – **Радиальное резание**.
- Сразу при переключении метода управления диалоговое окно параметров метода откроется (рис. 10.36).
- Выполните команду **Задать управляющую геометрию** (1), диалоговое окно задания границы появится, выберите кривые, как на рис. 10.37, и нажмите **ОК**.

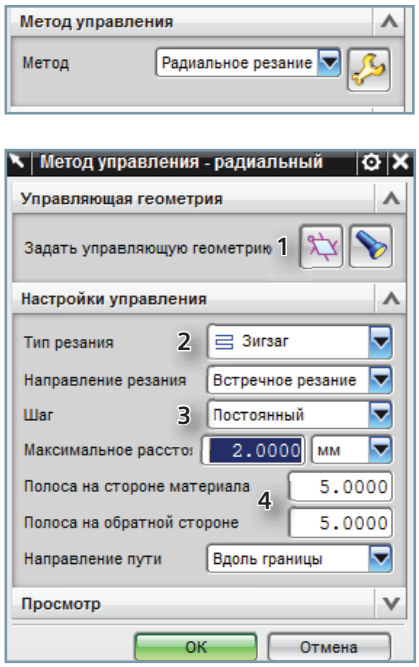


Рис. 10.36. Параметры метода управления Радиальное резание

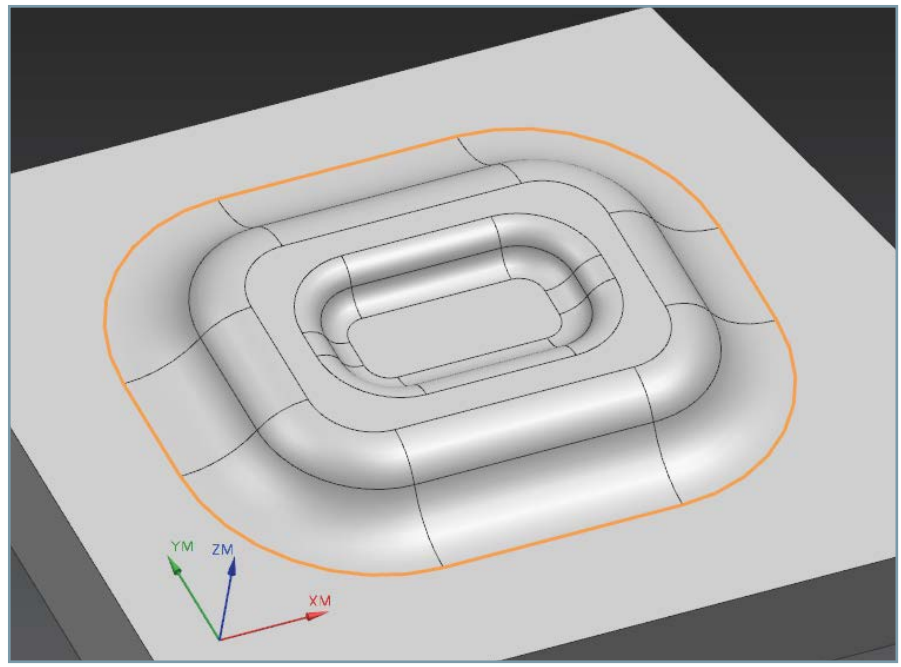


Рис. 10.37. Задание кривой для метода управления Радиальное резание

- **Тип резания** (2) возможен **Зигзаг** и **Зиг,** оставим **Зигзаг**. Задайте шаг 2 мм (3). Имеются еще два специфических параметра: **Полоса на стороне материала** и **Полоса на обратной стороне** (4), их назначение будет понятно, когда создадим траекторию.
- Границы рассматривались в главе 6, посвященной операциям плоского фрезерования (PLANAR_MILL). У границ имеется понятие стороны материала, и смещение задается в обе стороны, будем использовать равное смещение, поэтому сторона материала в данном случае не важна. Задайте оба параметра по 5 мм.
- Нажмите **ОК** и генерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 10.38.
- Траектория похожа на доработку вогнутых углов поперечным зигзагом и может применяться там, где углы не распознаются.

Гравировка текста

Рассмотрим три способа гравировки текста в NX. Это операции контурного гравирования CONTOUR_TEXT, плоского гравирования PLANAR_TEXT и использование операции FIXED_CONTOUR с методом управления **Линии/Точки** для гравировки текста.

- Продолжаем работать с примером surf_area7_setup_2.prt. Включите слой 2 и выключите слой 3.

В модели имеются 3 текстовых блока, которые расположены в плоскости XY рабочей системы координат (рис. 10.39). Именно в этой плоскости они строятся по умолчанию. Надписи 12345-00 и Siemens – это объекты **Замечание**, созданные средствами модуля черчения. Надпись **Фреза** создана как кривые в модуле моделирования (ленточное меню **Кривая** – **Текст**), причем в данном случае использована опция расположения текста вдоль кривой. Если посмотреть на модель вдоль оси Z, то будет видно, что надпись 12345-00 находится над плоским участком модели.
Команда операции контурного фрезерования относится к типу операции mill_contour (1), а плоского фрезерования – к типу mill_planar (2, рис. 10.40). Строго говоря, операция PLANAR_TEXT не является контурной, и она рассматривается в этом разделе для сравнения.

- Выполните команду создания операции PLANAR_TEXT (рис. 10.41), используйте инструмент BALL_MILL_D05 (шаровая коническая фреза с диаметром сферы 0.5 мм).
- В этой форме необходимо **Задать текст чертежа** (1), **Задать пол** (2) и **Глубину текста** (3).

- Параметры **Глубина текста** и **Расстояние от заготовки** (4) служат для задания многопроходного варианта и работают так же, как в операции PLANAR_MILL.
- Задайте необходимые параметры, используйте надпись 12345-00 в этом случае, уровень пола – верхняя плоская грань. Генерируйте операцию.
- Выполните команду создания операции CONTOUR_TEXT (рис. 10.42).
- В этом диалоговом окне необходимо **Задать текст чертежа** (1) и **Глубину текста** (2).
- Выберите надпись **Siemens** и генерируйте операцию.

Вектор проекции (3) установлен на значение **Ось инструмента**, то есть текст проецируется по оси Z на модель и добавляется смещение на глубину текста. Многопроходный вариант также имеется, это задается в параметрах резания. Обе эти операции отсчитывают глубину текста вниз. Результат данных операций показан на рис. 10.43. Переходы между буквами осуществляются на высоте безопасности (это можно изменить через **Вспомогательные перемещения**).

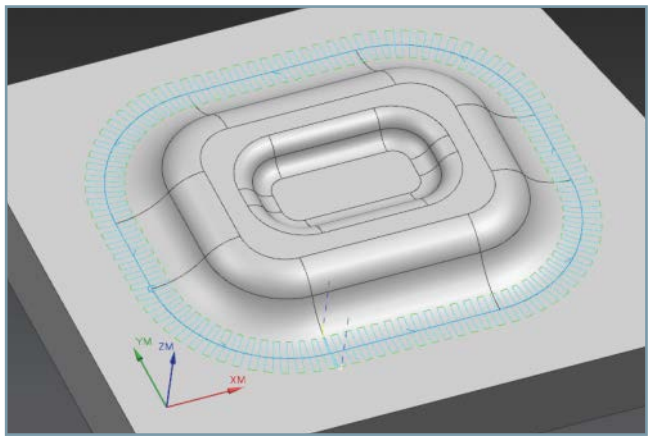


Рис. 10.38. Траектория как результат обработки поперек кривой с явным заданием ширины области обработки

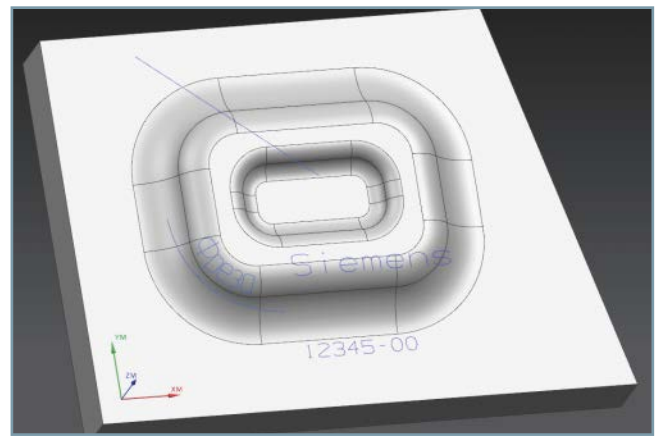


Рис. 10.39. Пример для иллюстрации 3 способов гравировки

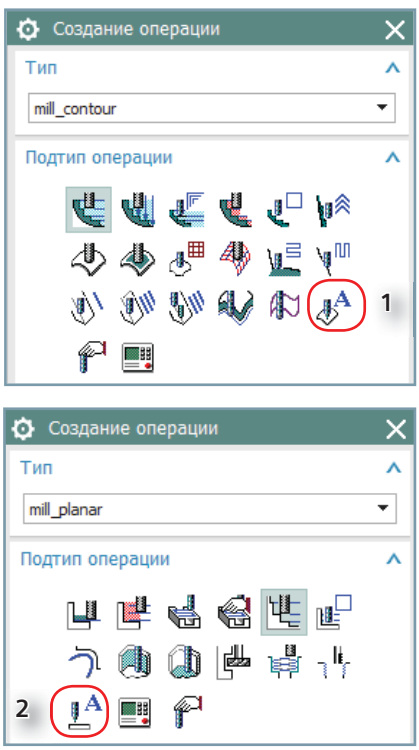


Рис. 10.40. Расположение команд операций гравировки

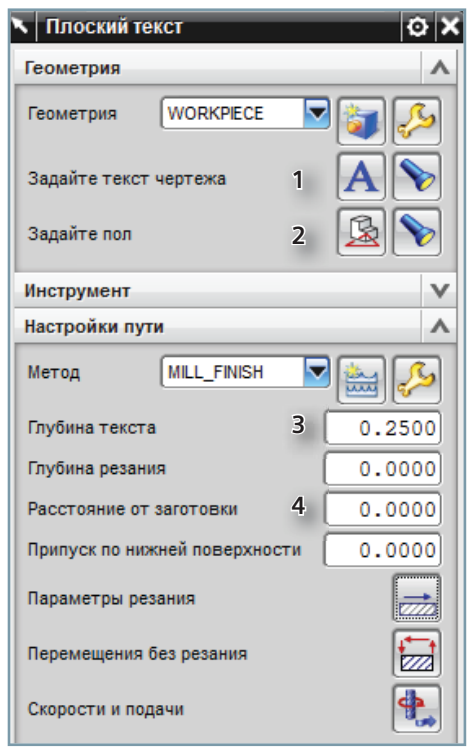


Рис. 10.41. Диалоговое окно операции PLANAR_TEXT

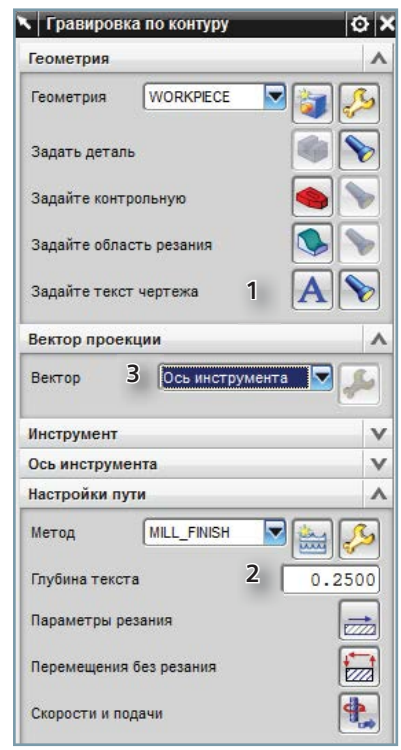


Рис. 10.42. Диалоговое окно операции CONTOUR_TEXT

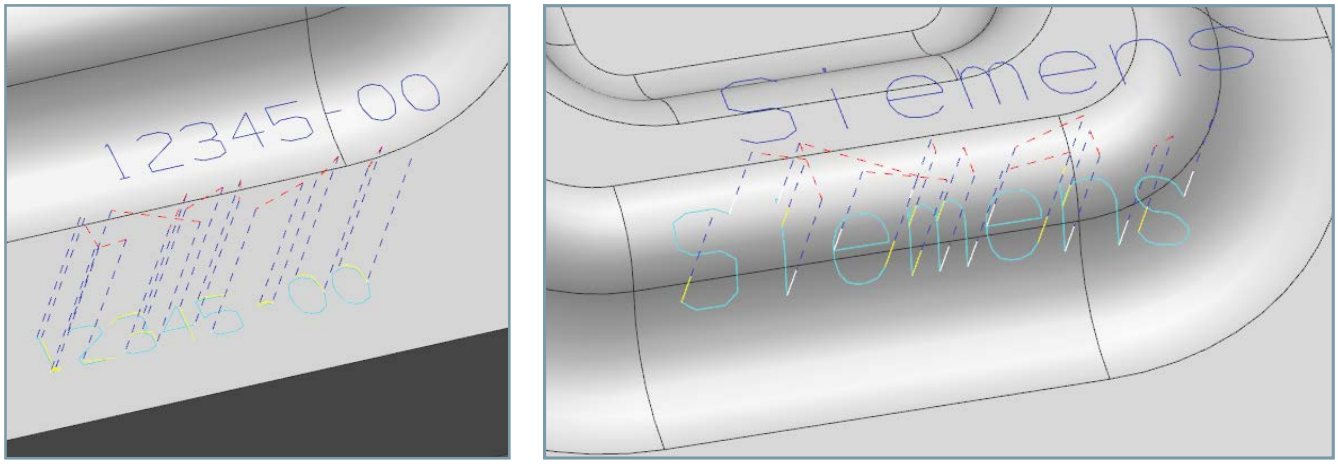


Рис. 10.43. Траектории гравировки как результат операций PLANAR_TEXT и CONTOUR_TEXT

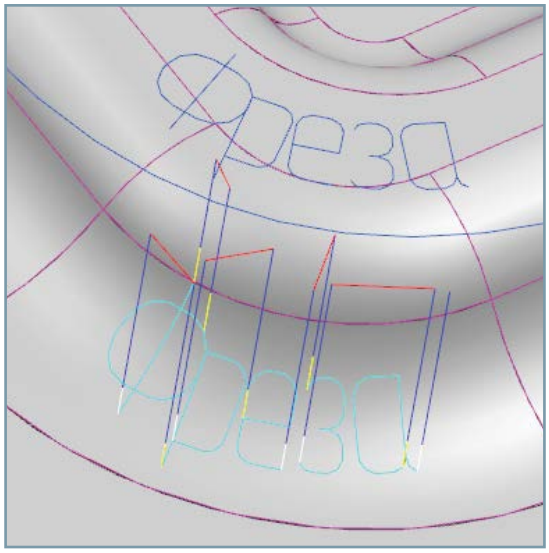


Рис. 10.45. Траектория гравировки, созданная операцией FIXED_CONTOUR

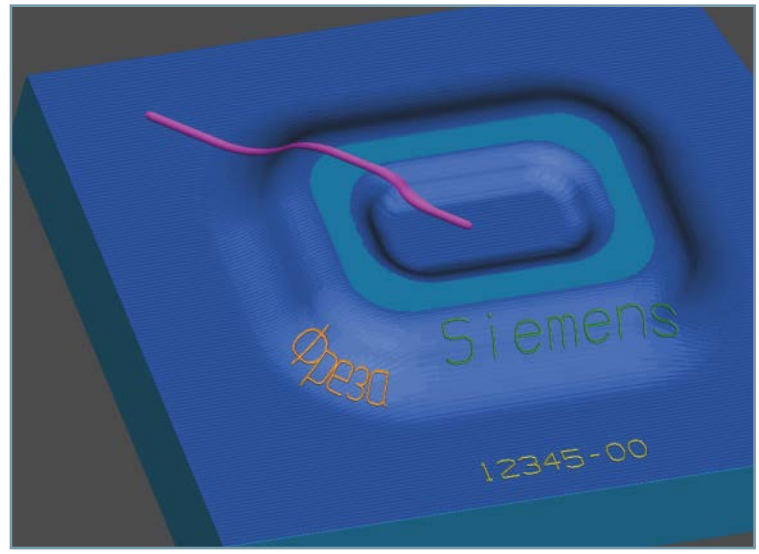


Рис. 10.46. Результат визуализации всех 3 способов гравировки

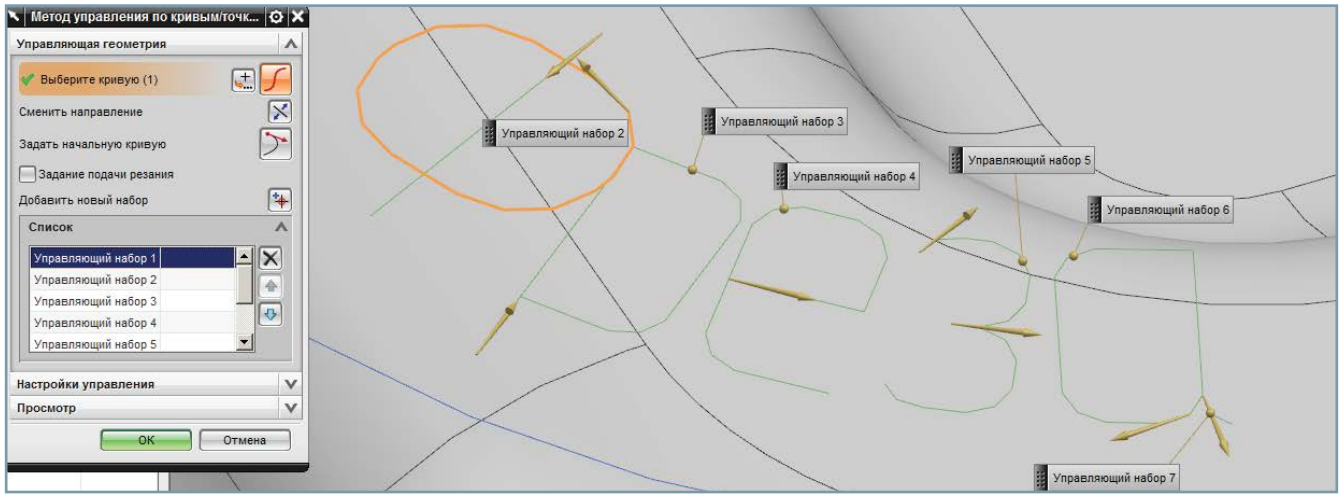


Рис. 10.44. Текст как кривые будет использоваться для гравировки в операции FIXED_CONTOUR с методом управления Линии/Точки

Для гравировки надписи Фреза, расположенной вдоль кривой, предыдущие способы не годятся. Будем использовать операцию FIXED_CONTOUR с методом управления **Линии/Точки**, которая уже рассматривалась в этой главе.

- Создайте операцию FIXED_CONTOUR с методом управления **Линии/Точки**.

Диалоговое окно операции нам знакомо. Особенностью ее использования в данном случае является задание списка кривых в диалоговом окне параметров управления метода (рис. 10.44). Все контуры, образующие слово Фреза, заданы как отдельный управляющий набор, это необходимо, чтобы переходы между буквами осуществлялись с подъемом инструмента. Также в этой операции нужно задать глубину текста, но такого параметра нет, поскольку нет объекта текст, и мы имеем дело с кривыми. Глубину задаем как отрицательный припуск (–0.25 мм). Операция слегка сложнее, но она более мощная. Так же можно гравировать и другие геометрические фигуры.

- Выберите все контуры слова Фреза и нажмите **ОК**, задайте отрицательный припуск в **Параметрах резания** и генерируйте операцию (рис. 10.45).
- Результат симуляции всех операций показан на рис. 10.46. Воспроизведите его.

Глава 11

Высокоскоростная обработка

Содержание главы

- Трохоидальный шаблон резания
- Фрезерование погружением (PLUNGE_MILLING)

Высокоскоростная обработка

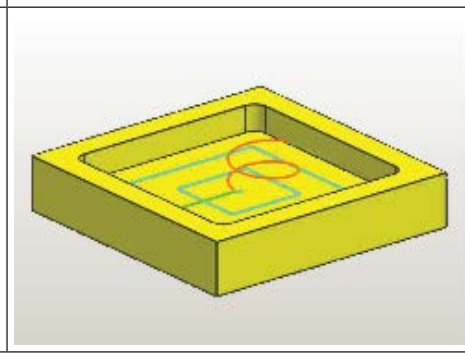
Теоретическим обоснованием высокоскоростной обработки (ВСО, также часто используется аббревиатура HSM – High Speed Machining) явились исследования процесса резания, которые показали снижение сил резания в некотором диапазоне скоростей, а также факт перераспределения тепла в зоне резания. При небольших сечениях среза в данном диапазоне скоростей основное тепло отводится из зоны резания стружкой, не успевая нагревать заготовку и инструмент. Именно это позволяет вести обработку закаленных сталей, что упрощает сам технологический процесс. Главный эффект ВСО – это не уменьшение машинного времени за счет интенсификации режимов резания, а общее упрощение производственного процесса, повышение качества обработки и возможность исключить слесарные операции.

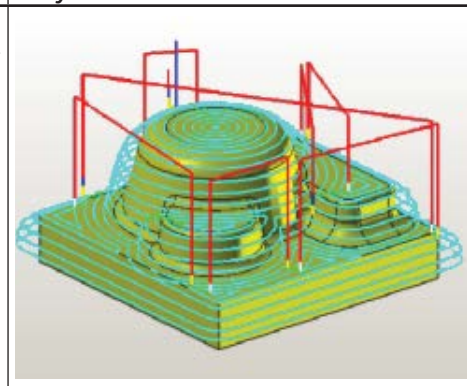
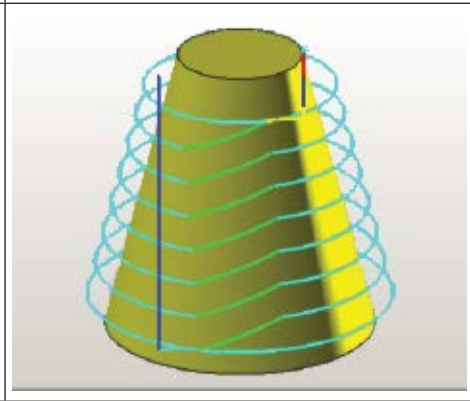
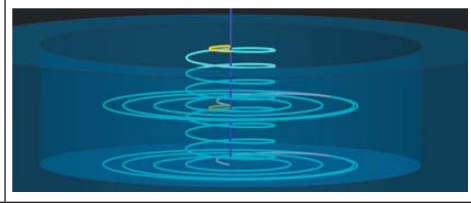
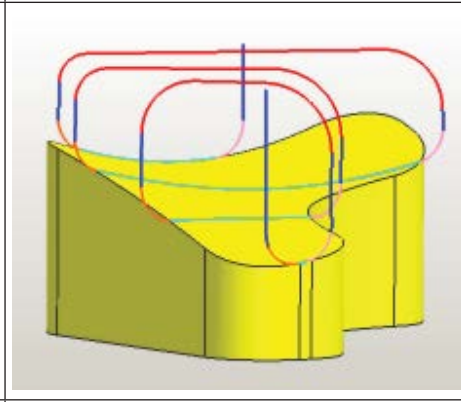
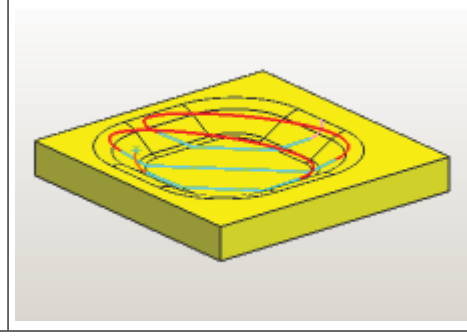
Рис. 11.1. CAM-система как одно из условий успешной высокоскоростной обработки

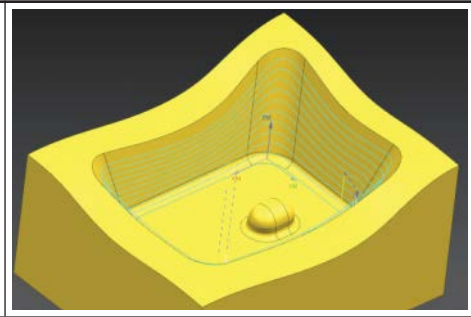
Высокоскоростная обработка будет успешной только при должном внимании ко всем составляющим технологической системы при резании (рис. 11.1). Это станок, система ЧПУ, режущий инструмент, вспомогательный инструмент, CAM-система, квалификация технолога-программиста. В этой главе рассмотрим в основном возможности системы NX CAM для решения этих задач.

Программы для ВСО имеют особенности, по сравнению с традиционными программами. Прежде всего это малые сечения среза, снимаемые с большой скоростью. Как результат выполнения этого правила – размер программ для ВСО значительно возрастает. Для работы на больших подачах требуется, чтобы траектория инструмента не содержала острых углов, это требование вытекает из необходимости снижения динамических нагрузок при смене направления движения инструмента. Также требуются минимизация колебаний нагрузки на инструмент и, что особенно важно, исключение проходов на полную ширину фрезы.

Многие операции в NX имеют дополнительные параметры для работы в условиях ВСО. Также имеются некоторые специализированные операции. Ряд из них уже рассматривался ранее в этой книге, сведем их упоминание в таблицу.

№ п/п	Требование	Операция или параметр (где описано)	Рисунок
1	Сглаживание острых углов траектории	Операции CAVITY_MILL, FLOOR_WALL, PLANAR_MILL и др. **Параметры резания – Углы** (главы 2, 4, 6)	
2	Спиральное врезание	Операции CAVITY_MILL, FLOOR_WALL и др. **Вспомогательные перемещения – Врезание – Винтовое или спиральное** (глава 2)	

№ п/п	Требование	Операция или параметр (где описано)	Рисунок
3	Обработка между уровнями (пологих участков) в стратегиях по Z-уровням	Операция ZLEVEL_PROFILE. **Параметры резания – Соединение – Резание между уровнями** (глава 5)	
4	Переходы между уровнями в стратегиях по Z-уровням	Операция ZLEVEL_PROFILE. **Параметры резания – Соединение – Со слоя на слой** (глава 5)	
5	Спиральный и винтовой шаблоны при фрезеровании отверстий	Операция HOLE_MILL, **Шаблон резания – Винтовой, Спиральный** (глава 8)	
6	Сглаживание переходов и холостых ходов	Операция FIXED_CONTOUR, **Вспомогательные перемещения – Сглаживание – Переход/Ускоренный** (глава 9)	
7	Сглаживание обходов (переходов внутри и между областями резания)	Операция FIXED_CONTOUR, **Вспомогательные перемещения** – **Переход/Ускоренный – Обход – Сглаженный** (глава 9)	

№ п/п	Требование	Операция или параметр (где описано)	Рисунок
8	Обработка по потоку (Обтекаемость)	Операция STREAMLINE, в том числе со спиральным шаблоном (глава 10)	
9	Библиотека режимов резания	Учет схемы обработки через **Метод обработки** (глава 7)	Разные режимы обработки для традиционного и высокоскоростного резания

Упомянем и другие возможности, связанные с BCO. Это NURBS-интерполяция, торможение в углах, оптимизация подачи и др. Библиотека режимов резания при соответствующем наполнении может использоваться для автоматического попадания в области безвибрационного резания.
Параметры, используемые в 5-осевой высокоскоростной обработке, рассмотрим позже в главах 16, 17.
Некоторые операции и параметры рассмотрим подробнее в этом разделе.

Трохоидальный шаблон резания

Трохоидальный шаблон резания предназначен для устранения проходов на полный диаметр фрезы. При резании полным диаметром существенно возрастает нагрузка на инструмент, что может привести к его поломке. Инструмент для первого прохода вместо прямолинейного движения совершает спиральные движения с некоторым продвижением вперед. Далее для расширения паза используется обычная эквидистантная обработка (как в шаблоне **Вдоль детали**).
Этот шаблон используется в основном для высокоскоростной обработки, но может быть полезен и для традиционного фрезерования.
Несколько операций поддерживают этот шаблон. В текущем разделе будет использоваться операция CAVITY_MILL.

- Откройте пример form_mold_setup_1.prt. В нем имеются две операции CAVITY_MILL, в одной из них инструмент имеет возможность врезания сбоку – CAVITY_MILL_OPEN (рис. 11.2), а в другой – нет: CAVITY_MILL_CLOSE (рис. 11.3).
- Во втором случае инструмент начинает обработку из предварительно просверленного отверстия (в нашем проекте для этого уже имеется сверлильная операция).
- Для наглядности в операциях использован только один уровень.

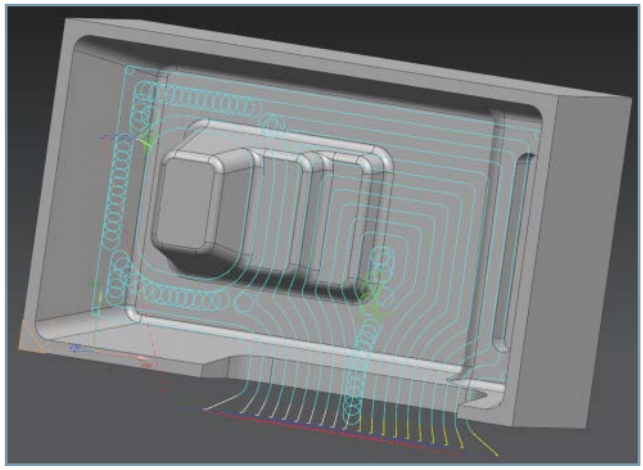


Рис. 11.2. Трохоидальный шаблон при заходе инструмента сбоку

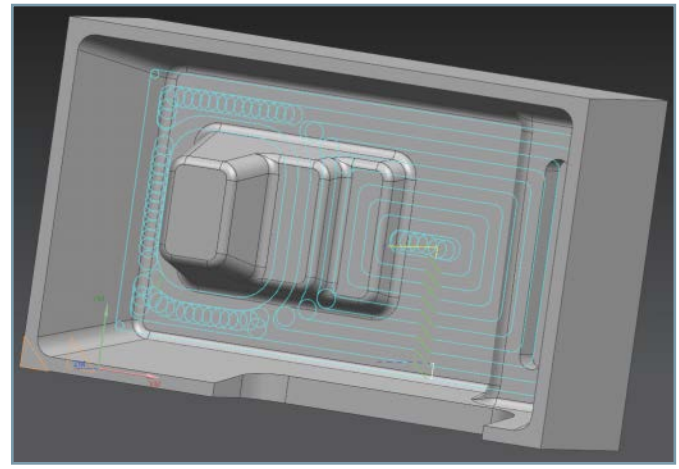


Рис. 11.3. Трохоидальный шаблон при работе из предварительно просверленного отверстия

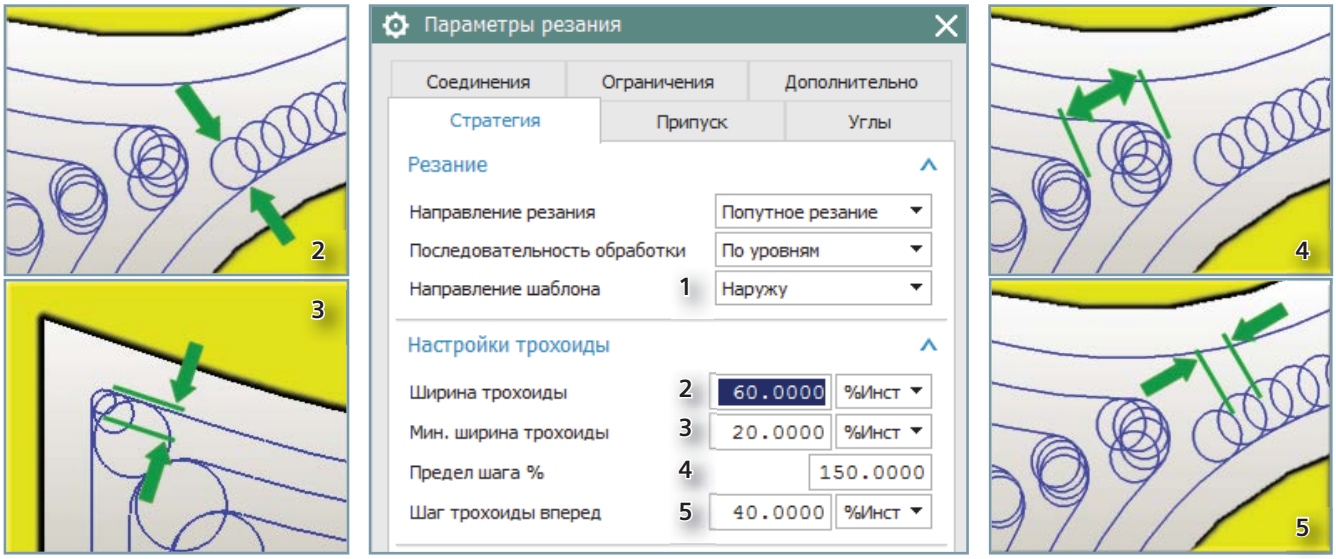


Рис. 11.4. Параметры трохоиды в диалоговом окне параметров резания

Параметры трохоиды задаются в диалоговом окне параметров резания (рис. 11.4). Основное **Направление шаблона – Наружу** (1). В этом случае основных параметров четыре: **Ширина трохоиды** (2), **Минимальная ширина трохоиды** (3), **Предел шага** (4) и **Шаг трохоиды вперед** (5). Они взаимосвязаны друг с другом и с параметром **Шаг** из основного диалогового окна операции. NX контролирует допустимые сочетания значений этих параметров. Малое значение минимальной ширины трохоиды лучше обрабатывает углы, но на дугах малого радиуса наблюдается торможение.

Некоторые производители инструмента выпускают специальные инструменты, оптимизированные для высокоскоростной (в том числе трохоидальной) обработки. Они могут работать с шириной фрезерования 1.5–2 диаметра, но с шагом (или глубиной резания) около 0.1 от диаметра инструмента. Такие инструменты часто вообще не могут работать на погружение, поэтому для закрытых областей резания требуется предварительное сверление.

Операция CAVITY_MILL поддерживает **Точки предварительного засверливания**. Именно в этих точках будет осуществляться погружение инструмента. Задание точек осуществляется в диалоговом окне **Вспомогательные перемещения**, вкладка **Точки начала/Сверления**, группа параметров – **Точки предварительного засверливания** (рис. 11.5). Точки необходимо располагать в самых глубоких местах области резания. Если точки этому условию не удовлетворяют, то они игнорируются. Точки отображаются списком, причем в списке можно поменять порядок точек.

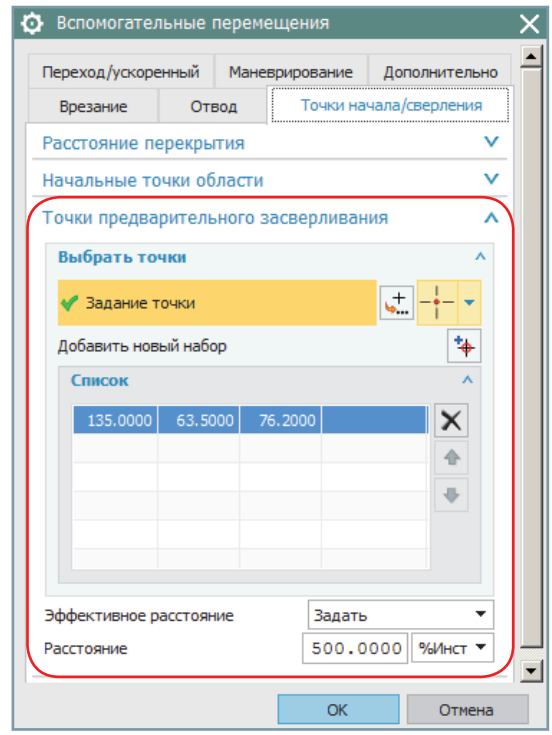


Рис. 11.5. Точки предварительного засверливания в диалоговом окне вспомогательных перемещений

- Выполните верификацию существующих операций.

Фрезерование погружением (PLUNGE_MILLING)

Ряд производителей инструмента выпускают фрезы для так называемого погружного фрезерования (plunge milling). Эти фрезы применяются для черновой обработки вместо традиционной послойной черновой обработки. Резание осуществляется вертикальными движениями сверху вниз. Эффективность такой обработки тем выше, чем более закрытой является зона обработки. При этом методе обработки основная составляющая силы резания направлена по оси инструмента, радиальная составляющая мала. Это уменьшает отжим инструмента при работе и позволяет обрабатывать изделия с тонкими стенками. Операцию иногда относят не к высокоскоростной обработке, а к так называемой

высокоэффективной, так как сечение срезаемого слоя в данном случае больше, чем принято для ВСО. Инструменты для такой обработки чаще всего не могут работать как сверла, то есть они не могут погружаться в материал полным диаметром. Для закрытых областей резания требуются предварительно просверленные отверстия.

- Откройте пример form_mold_setup_2.prt.
- Дважды щелкните по операции PLUNGE_MILLING, откроется диалоговое окно операции (рис. 11.6).

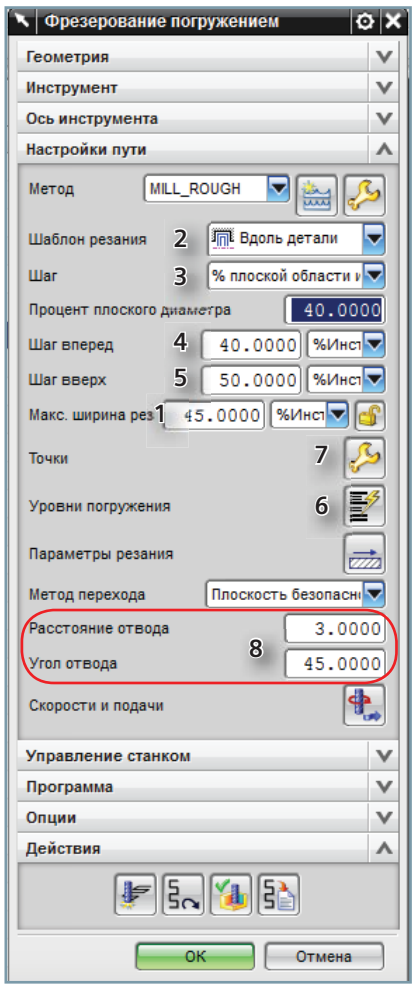


Рис. 11.6. Диалоговое окно операции PLUNGE_MILLING

В нем все параметры, связанные с настройкой пути, вынесены в основное диалоговое окно операции. **Максимальная ширина реза** (1) – это максимальная ширина, на которую инструмент может резать, если смотреть в направлении оси инструмента. Она обычно задается производителем инструмента и зависит от размеров режущей части. Если это расстояние меньше, чем 50% от диаметра, то инструмент имеет в центре нережущий участок. Фактически этот параметр определяет тип инструмента для операции фрезерования погружением. NX осуществляет проверку и ограничивает **Шаг** и **Шаг вперед**, чтобы предотвратить обработку нережущей частью инструмента.

Шаблон резания (2) выглядит привычным образом, но в данном случае это порядок движения инструмента между погружениями. Параметры **Шаг** (3) и **Шаг вперед** (4) управляют движением вдоль шаблона (рис. 11.7). **Шаг вверх** (5) позволяет регулировать количество ступенек, слишком малое значение шага вверх приведет к потере производительности, слишком большое – к большим ступенькам между уровнями.

Диапазон **Уровней погружения** (6) в этой операции равен 1. NX контролирует порядок погружения в пределах диапазона, начиная всегда с самых глубоких участков. Это опять же связано с тем, что инструмент обычно имеет нережущую часть и не должен погружаться ниже на последующих шагах. Команда **Точки** (7) служит для задания начальных точек области и точек предварительного сверления.

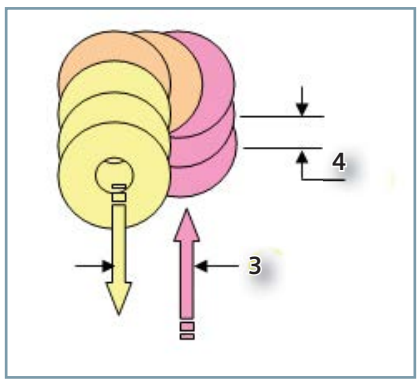


Рис. 11.7. Схема, поясняющая параметры погружной траектории

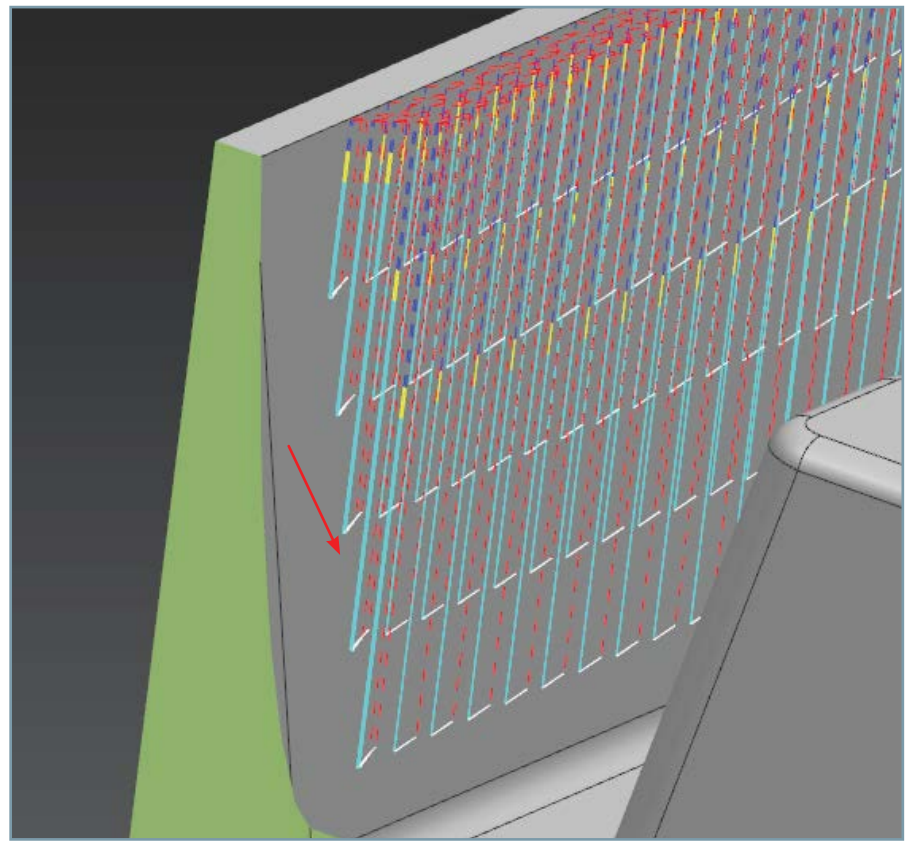


Рис. 11.8. Движение инструмента вверх не должно осуществляться по той же линии, что и вниз

Движение инструмента вверх обычно не должно осуществляться по той же линии, что и вниз, – требуется отвод инструмента от стенки и от дна. Для этого служат параметры **Расстояние** и **Угол отвода** (8), на рис. 11.8 эти движения показаны белым цветом.
Траектория в операции PLUNGE_MILLING показана на рис. 11.9. Результат верификации – на рис. 11.10. В этой операции используется точка предварительного сверления, и в этой же точке создана операция сверления, которая должна выполняться раньше.

- Убедитесь в том, что инструмент начинает погружения из точки предварительного сверления, выполнив верификацию траектории.

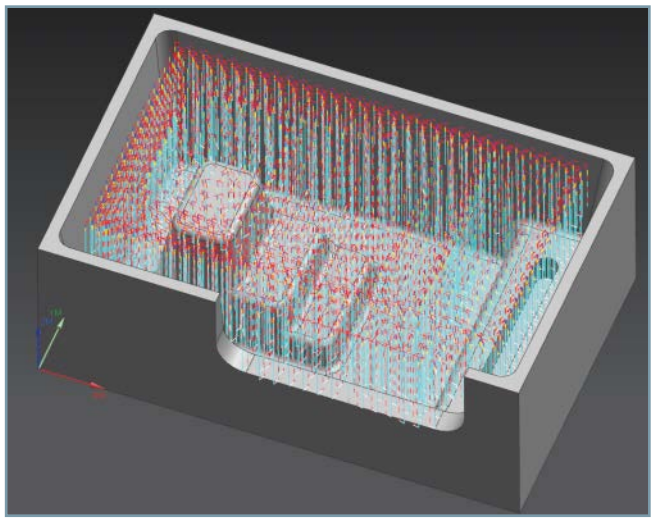


Рис. 11.9. Пример погружной траектории

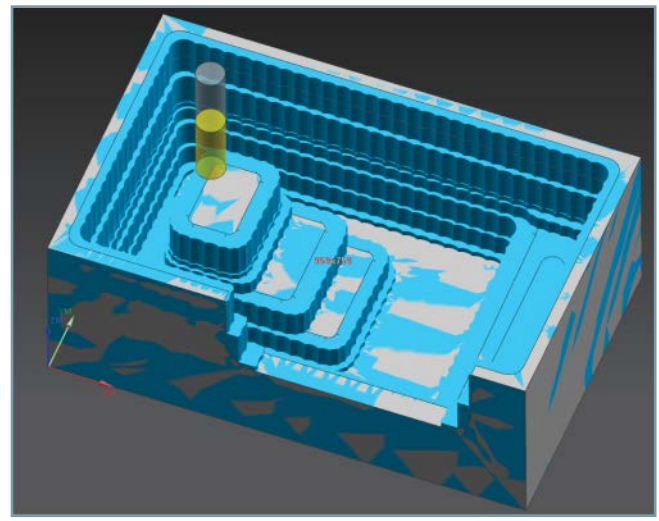


Рис. 11.10. Результат верификации погружной траектории

Глава 12

Инструменты CAD в модуле CAM

Содержание главы

- Инструменты технологического анализа
- Технология синхронного моделирования для технологов
  - Упрощение модели для производства
  - Ассоциативность операций
  - Создание модели заготовки по модели детали
- Зашивка отверстий – заплатки
- Помощник замены

Инструменты CAD в модуле CAM

Иногда конструкторская модель требует доработки при подготовке к обработке на станках с ЧПУ. Также иногда требуется создание вспомогательной геометрии при работе в модуле CAM. Возможно создание моделей заготовки для обработки или моделей приспособлений на основе обрабатываемой детали. Такие задачи можно решать, не выходя из модуля CAM. Эти вопросы и рассмотрим в этом разделе.
Инструменты анализа, создания вспомогательной геометрии, синхронного моделирования доступны из ленточного меню модуля CAM и не требуют CAD-лицензии (рис. 12.1). Они содержат следующий функционал:

1 – инструменты технологического анализа на наличие уклонов, радиусов, уровней;
2 – создание дополнительной каркасной и твердотельной геометрии;
3 – создание WAVE-копии геометрии;
4 – инструменты редактирования кривых и граней (соединение, проецирование кривых, разделение, обрезка, расширение и сшивка граней, создание заплаток);
5 – синхронное моделирование.

Создание WAVE-копии геометрии рассматривалось в главе 1 при рассмотрении концепции Мастер-модели, этот функционал снова будем использовать в данном разделе. Создание каркасной и твердотельной геометрии и ее редактирование рассматривать не будем, с этим функционалом можно ознакомиться в изданиях по NX CAD. В этом разделе рассмотрим инструменты анализа, создание заплаток и те инструменты синхронной технологии, которые чаще применяются для задач CAM.

Инструменты технологического анализа

В главе 1 для анализа модели использовалась функция **Измерения**, а также инструмент анализа граней (**Анализ – Геометрические свойства**). Рассмотрим еще некоторые полезные инструменты. В панели инструментов CAD для CAM среди инструментов технологического анализа имеется Помощник ЧПУ (можно использовать меню **Анализ – Помощник ЧПУ**).

- Откройте деталь form_mold_setup_1.prt. Выполните команду вызова помощника ЧПУ, диалоговое окно операции появится (рис. 12.2).

Доступны следующие виды анализа (1): **Уровни**, **Углы**, **Скругления**, **Уклоны**. Требуется задание **Граней для анализа** (2), **Ссылочного вектора** (3) и **Ссылочной плоскости** (4), **Пределов измерения** (5). Команда **Анализ геометрии** выполняет расчет (6), после выполнения расчета становится активной команда **Информация** (7), которая выводит информационное окно с подробностями по результатам анализа. Ссылочный вектор в 3-осевой обработке – обычно это ось Z.
Виды анализа подробнее:

1. **Уровни** – распознает глубины всех плоских уровней в детали относительно ссылочной плоскости. Эта опция помогает правильно назначить длину инструмента;
2. **Углы** – распознает радиусы вдоль стенок детали. Эта опция помогает назначить радиус (диаметр) инструмента;

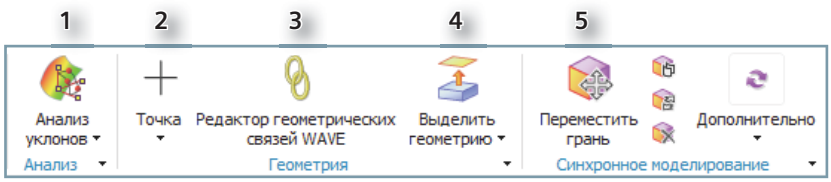


Рис. 12.1. Инструменты анализа, создания вспомогательной геометрии, синхронного моделирования доступны из ленточного меню модуля CAM

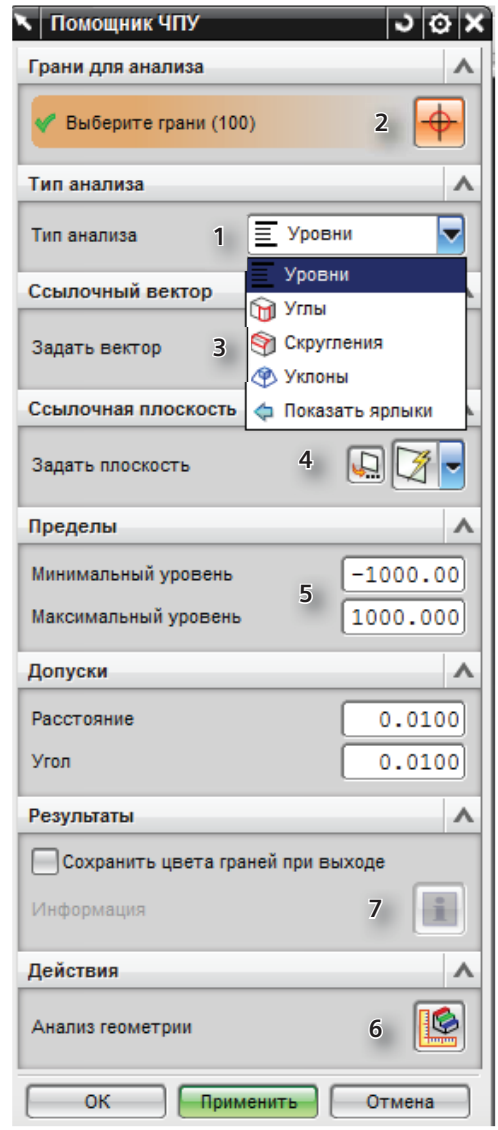
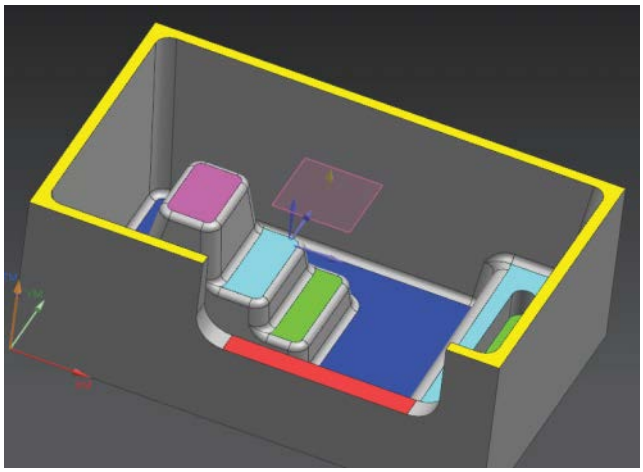
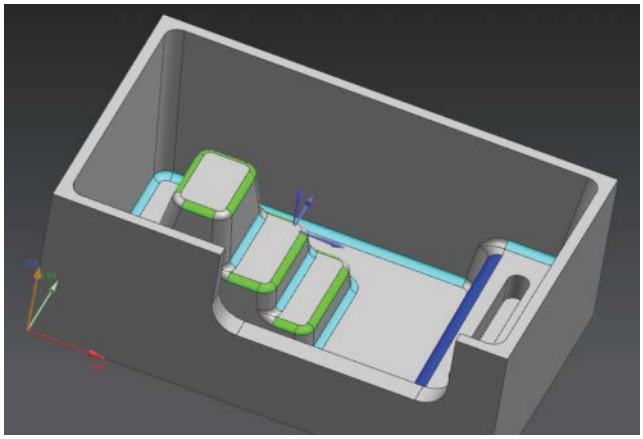


Рис. 12.2. Диалоговое окно операции Помощник ЧПУ

3. **Скругления** – распознает скругления или радиусы между стенками и дном. Эта опция помогает определиться с радиусом при вершине режущей кромки (см. параметры инструмента);
4. **Уклоны** – распознает угол наклона стенок. Эта опция помогает определить угол конуса инструмента.

Анализ уровней	Информация об анализе
	Color Number of faces Расстояние Color Set No. : 1 212 (Deep Blue) 1 = -71.120000000 29 (Strong Green) 2 = -58.420463862 25 (Strong Cyan) 2 = -45.720463862 147 (Deep Red) 1 = -39.030677166 146 (Strong Magenta) 1 = -20.320000000 42 (Deep Yellow) 1 = 0.000000000
Анализ скруглений	Информация об анализе
	Color Number of faces Радиус Color Set No. : 1 212 (Deep Blue) 1 = -6.350000000 29 (Strong Green) 14 = -3.175000000 25 (Strong Cyan) 21 = 3.175000000

- Задайте ссылочный вектор – ось Z, ссылочную плоскость – верхняя грань модели.
- Выполните анализ уровней и анализ скруглений.
- После каждого вида анализа используйте команду **Информация** для вывода подробной информации об анализе.
- Результат показан в таблице.
- Как видим, этот функционал выдает точные значения для каждой грани, но криволинейные грани таким способом не анализируются.

Часто требуется просто проверка изделия на технологичность, для моделей оснастки это прежде всего проверка на допустимый уклон и допустимый радиус.
Среди инструментов технологического анализа имеются проверки уклона и радиуса.

- Из ленточной панели выполните команду **Анализ наклона** (из выпадающего списка инструментов анализа).
- Появится диалоговое окно анализа уклона (рис. 12.3).
- Задайте вектор – направление разъема – ось Z.
- Укажите грани для анализа.
- Результат сразу будет показан цветом, также в графической области будет показана цветовая шкала уклона.

Движком (1) можно эту шкалу изменить. Середина шкалы может быть изменена и движком (2), но это требуется редко. Также можно изменить направление разъема – ссылочный вектор (3). Еще имеются параметры, влияющие на точность анализа, и параметры представления диапазонов (плавно, ступенчато и др.).

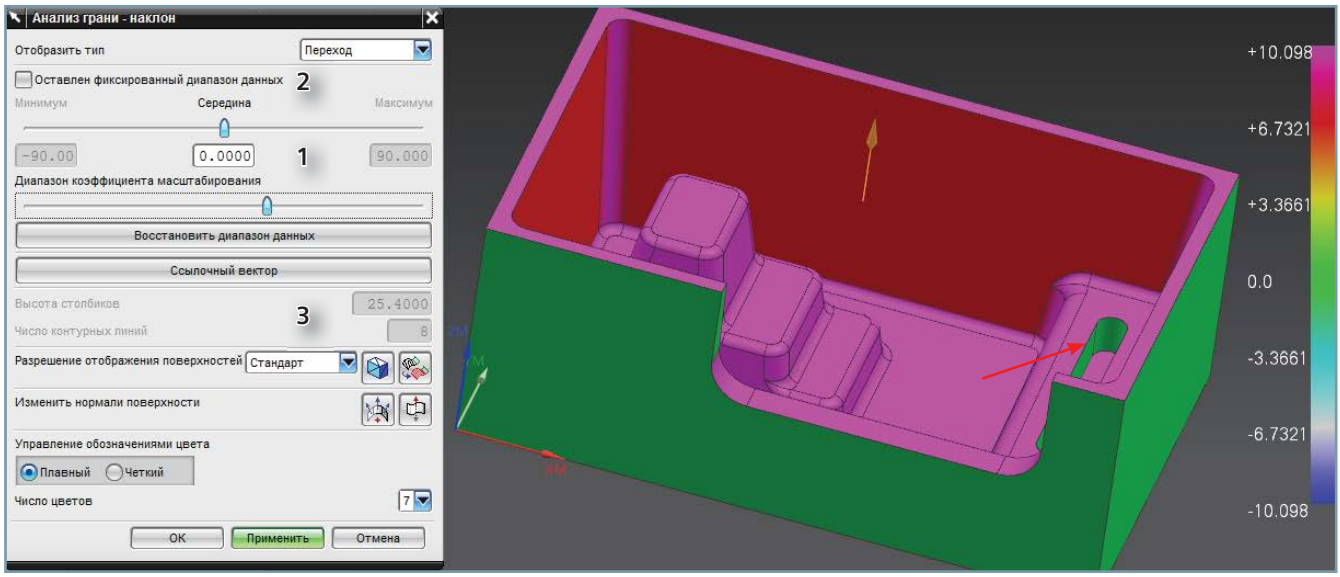


Рис. 12.3. Диалоговое окно анализа уклона

- В результате анализа данной модели видно, что в пазу, показанном стрелкой, уклон не задан, что является ошибкой конструкции матрицы.

Закрашенный цветами анализа вид остается на экране после выхода из операции. Вернуть обычный вид можно через меню **Вид** – **Закраска**.

Технология синхронного моделирования для технологов

Синхронное моделирование является дальнейшим развитием операций прямого моделирования и реализует новые подходы к моделированию: интеллектуальное распознавание элементов, поддержка геометрических взаимосвязей, размерную параметризацию, редактирование отдельных участков модели без учета дерева построения. Синхронная технология позволяет редактировать даже 3D-модели, импортированные из других CAD-систем. Технология синхронного моделирования удобна для быстрой подготовки моделей к обработке. Данный функционал позволяет технологу доработать модель для обработки очень быстро. Кроме того, возможно ассоциативное создание заготовки на основе модели изделия, а также быстрое проектирование элементов приспособления на основе модели детали.
Часть команд синхронного моделирования доступна прямо из ленточной панели (5 на рис. 12.1), остальные можно вызвать, выполнив команду **Дополнительно**. Появится расширенная панель инструментов (рис. 12.4). Такие расширенные панели (называются также палитрами) – это новинка версии NX 9.0.

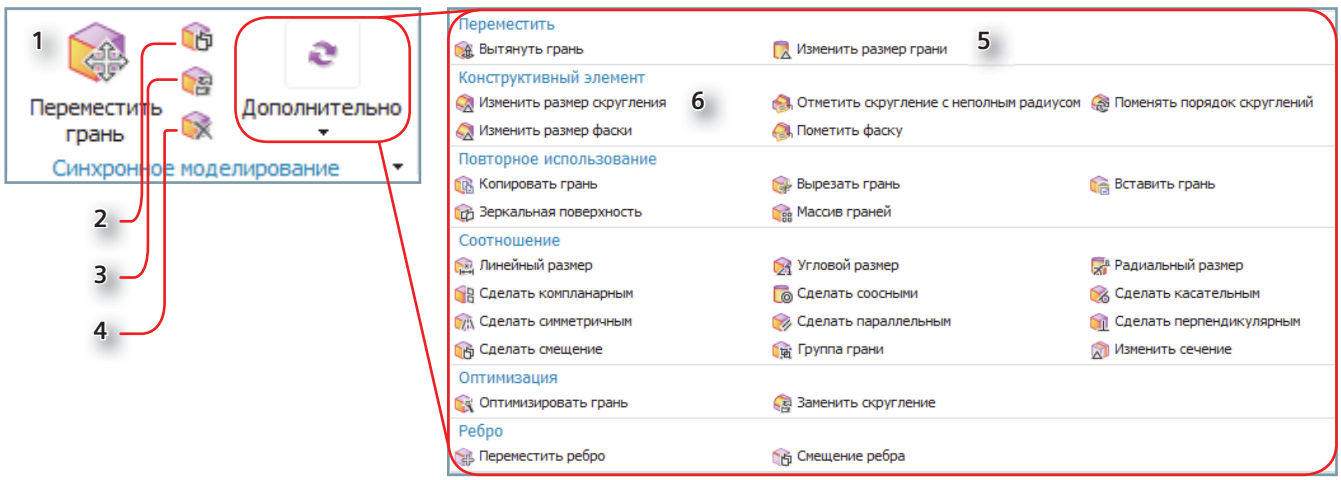


Рис. 12.4. Расширенная панель инструментов синхронного моделирования

Для нас наиболее полезными будут следующие операции:

1 – Переместить грань;
2 – Смещение области;
3 – Заменить грань;
4 – Удалить грань;
5 – Изменить размер грани;
6 – Изменить размер скругления.

Важное значение при выборе граней имеют правила выбора граней (рис. 12.5), которые доступны в панели опций выбора и привязки объектов. Интеллектуальный выбор позволяет быстро выбирать все грани бобышки, паза, отверстия или целой области граней.
Рассмотрим две задачи:

1) упрощение модели – удаление элементов с ассоциативной копии модели, которые предполагается обрабатывать позднее другим способом (например, электроэррозионной обработкой);
2) создание модели заготовки по модели детали.

Упрощение модели для производства

- Откройте модель synchr_mould_core.prt (рис. 12.6).

Это конструкторская модель, создадим ассоциативную копию, в которой и выполним необходимые изменения.

- Выполните инициализацию (подробнее рассмотрено в главе 1).
- Создайте новый файл, в появившемся диалоговом окне укажите вкладку **Обработка**, шаблон **Общие настройки**, и нажмите **ОК**. В результате будет создана сборка для обработки с именем synchr_mould_core_setup_1.prt, и она будет рабочей деталью.
- Создайте WAVE-копию тела на уровне сборки (3 на рис. 12.1), в появившемся диалоговом окне (рис. 12.7) переключите тип на значение **Тело** и выберите тип Тело.

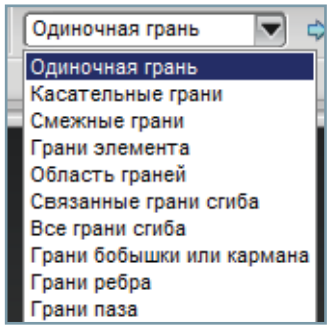


Рис. 12.5. Правила выбора граней обеспечивают интеллектуальный выбор необходимых элементов

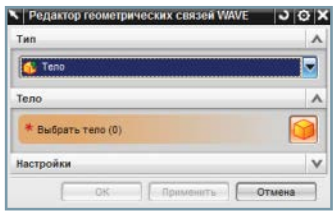


Рис. 12.7. Диалоговое окно редактора геометрических связей WAVE

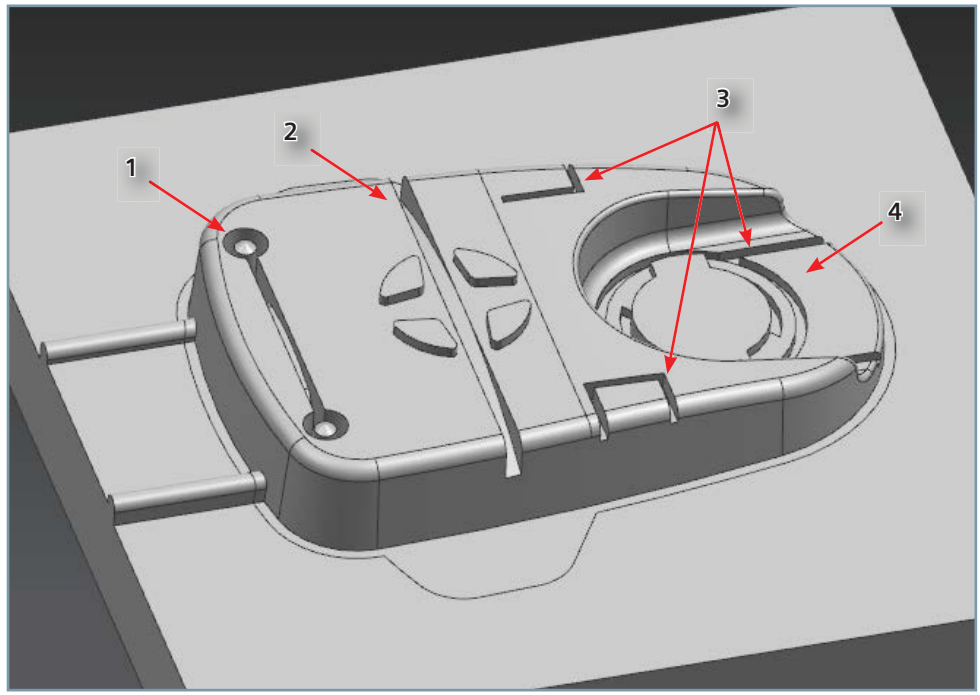


Рис. 12.6. Модель пуансона, в которой узкие пазы планируется обрабатывать электроэррозионной обработкой

- После этого погасите отображение компонента в навигаторе сборки. На экране останется ассоциативная копия. Удалите в этой модели (рис. 12.6) карман (1) и все пазы (2, 3).
- Такие элементы обычно выполняются с помощью электроэрозионной обработки.
- Для пазов можно использовать правило выбора граней – грани паза, для кармана – грани бобышки или кармана (рис. 12.8).
- Для паза 4 проиллюстрируем использование команды замены граней (рис. 12.9).
- Грани для замены (1) показаны зеленым, грань, на которую меняем (2), показана желтым.

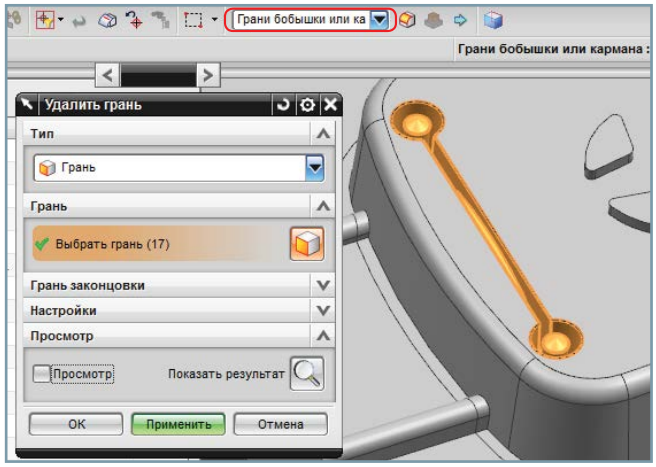


Рис. 12.8. Использование команды удаления граней

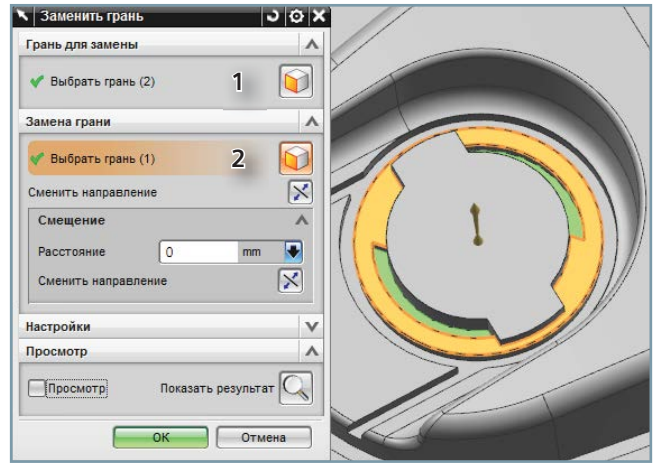


Рис. 12.9. Использование команды замены граней

Результат представлен на рис. 12.10. Операции синхронной технологии ассоциативны при работе в **Режиме истории** (3) и отображаются в навигаторе модели (рис. 12.11).

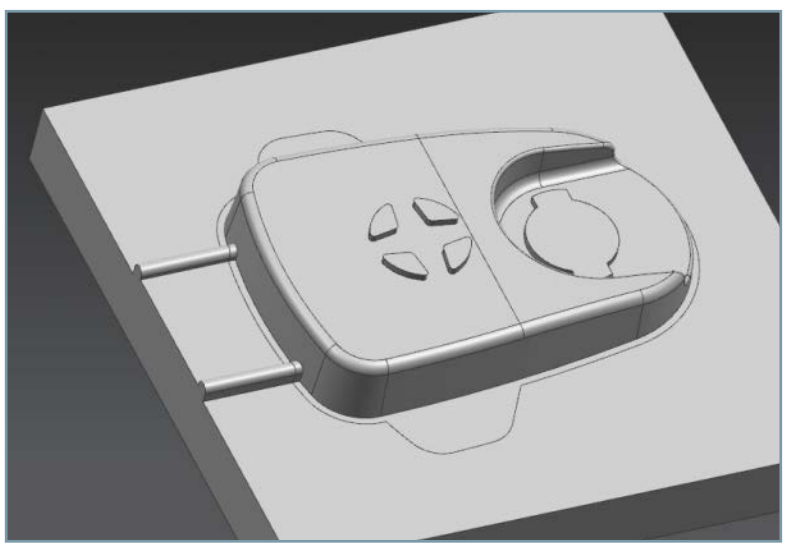


Рис. 12.10. Модель пуансона, подготовленная для обработки на станке с ЧПУ

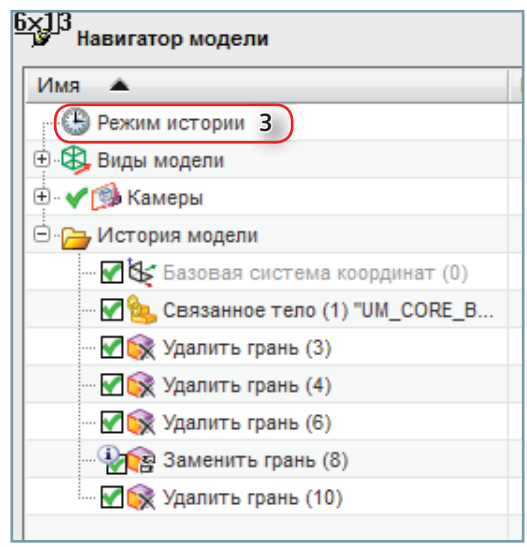


Рис. 12.11. Операции синхронной технологии отображаются в навигаторе модели

Теперь создадим операции обработки и покажем их ассоциативность с конструкторской моделью.

Ассоциативность операций

Важным достоинством NX CAM является то, что операции ассоциативны с обрабатываемой моделью и при изменении модели они могут быть обновлены простым выполнением команды **Генерировать**. При этом факт изменения фиксируется значком статуса операций.

Создадим две операции черновой обработки: первую операцию с инструментом диаметром 10 мм, вторую – с диаметром 4 мм, учитывающую ЗвПО.

- Создайте эти операции самостоятельно.
- Сделайте отображаемой деталью пуансон (компонент сборки synchr_mould_core).
- Войдите в модуль моделирования.
- Выполните модификацию модели, развернув выступы на 90° (грани для выбора показаны на рис. 12.12).
- Для этого используйте операцию **Переместить грань** (рис. 12.13).

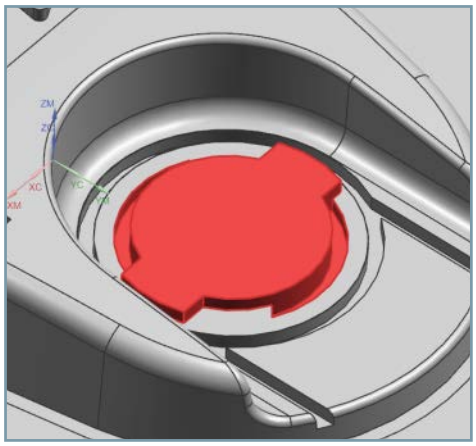


Рис. 12.12. Грани для модификации (пример)

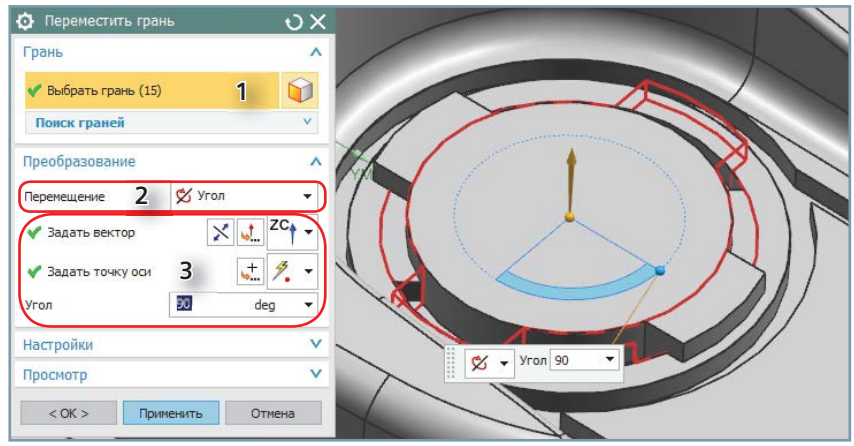


Рис. 12.13. Использование команды перемещения граней

- Все требуемые грани можно выбрать (1), указав одну из граней в режиме выбора – **Грани бобышки или кармана**. Тип преобразования **– Угол** (2), при этом задайте вектор, точку и значение угла (3).
- Режим предварительного просмотра помогает контролировать результат. Нажмите **ОК**.
- Отобразите родительскую сборку, сделайте ее рабочей деталью.
- Вернитесь в модуль **Обработка**.
- Скройте компонент.
- Убедитесь, что связанное тело обновлено автоматически.

В навигаторе обработки статус операций изменился на ⃠ (**Требуется пересчет**). Это признак того, что исходные данные (в данном случае модель) изменились. Требуется только перегенерировать операции, просто выполнив команду **Генерировать** сразу для всех операций.

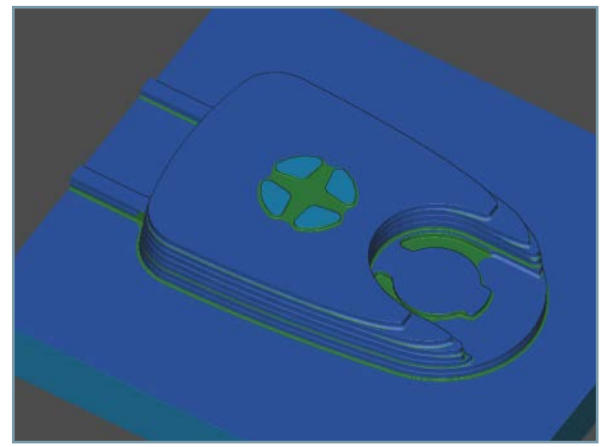


Рис. 12.14. Результат верификации подчеркивает ассоциативность операций обработки

- Перегенерируйте операции и выполните их верификацию.
- Обратите внимание на вторую операцию, выполняющую доработку в области выступов.
- Траектория учитывает, что выступы развернуты.
- Результат показан на рис. 12.14.

Создание модели заготовки по модели детали

Очень часто модель заготовки может быть получена (приблизительно) на основе модели детали. Особенно это актуально для корпусных деталей. В таких деталях достаточно удалить отверстия, получаемые сверлением, добавить припуски на грани, обрабатываемые фрезерованием, изменить размер отверстий, которые присутствуют в заготовке. Все это удобно делать с помощью синхронной технологии.

- Откройте пример hole_mill1_setup_1.prt (рис. 12.15).
- Создайте WAVE-копию компонента и скройте компонент в навигаторе сборки.
- Далее работаем со связанным телом (WAVE-копией).

Для получения заготовки отверстия малого диаметра необходимо удалить, для больших отверстий следует изменить размер отверстия, также нужно добавить припуск по торцам отверстий. Считаем, что все остальные поверхности обработки не требуют.
Помимо операций удаления граней, будем использовать операцию изменения размера грани. При указании цилиндрической поверхности (рис. 12.16) диаметр цилиндра считывается с модели и отображается в диалоговом окне (1).

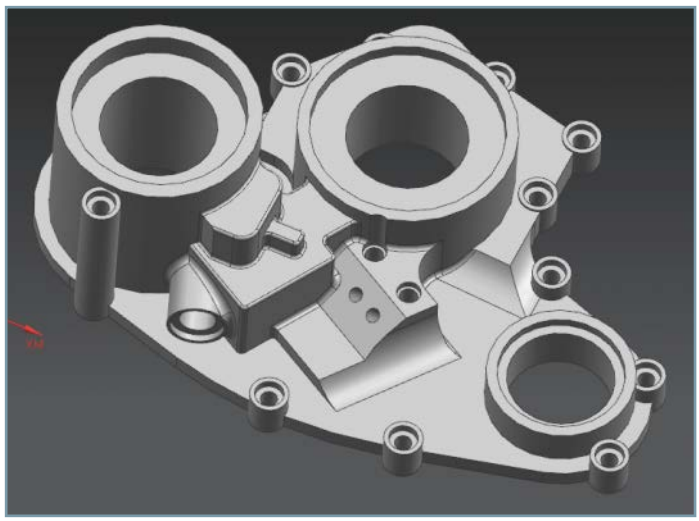


Рис. 12.15. Пример корпусной детали, для которой спроектируем заготовку

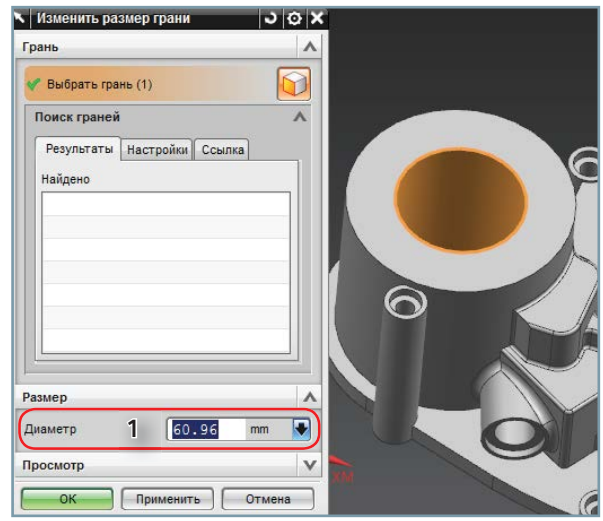


Рис. 12.16. Использование операции изменения размера грани

- Удалите малые отверстия. Измените диаметры больших отверстий на 54 мм.
- Теперь необходимо выполнить смещение граней, чтобы задать припуск на обработку.
- Проиллюстрируем еще одну возможность интеллектуального выбора объектов.
- При указании одного из торцов грани и включив признак компланарности, можно выбрать сразу несколько граней и выполнить смещение для группы граней (рис. 12.17).
- Выполните смещения торцов больших отверстий.
- Измените отображаемый объект (измените цвет и прозрачность).
- Деталь и итоговая отливка изображены на рис. 12.18.

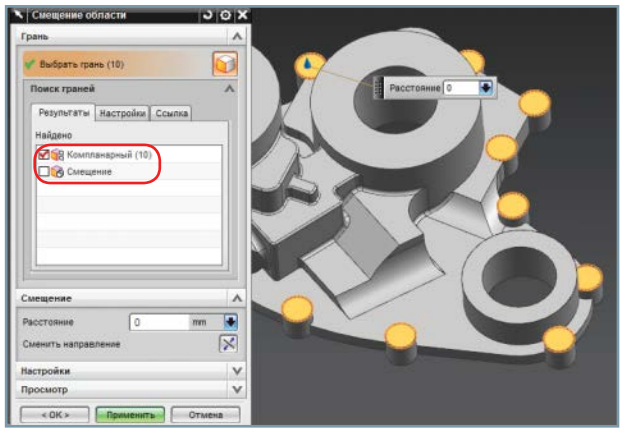


Рис. 12.17. Использование группового выбора в операциях синхронной технологии

Рис. 12.18. Заготовка показана полупрозрачной, чтобы было видно, где добавлены припуски для обработки

Зашивка отверстий – заплатки

В ряде случаев удобнее не удалять паз или отверстие с помощью операций синхронного моделирования, а наложить заплатку. Заплатка – это новое листовое тело, которое строится по указанным граням и ребрам с учетом касательности. Заплатка может учитываться одними операциями и игнорироваться другими.

Операция вызывается из выпадающего меню ленточной панели группы команд **Геометрия** (рис. 12.19).

- Проиллюстрируем этот функционал на примере synchr_mould_core_setup_2.prt. Это уже знакомый нам пример, но в нем нет ассоциативной копии детали.
- Выполните команду **Зашивка отверстий**.
- Диалоговое окно операции показано на рис. 12.20.
- В окне необходимо указать все граничные грани (1), в данном случае одну, далее указать одно из граничных ребер, по умолчанию выбираются все ребра в режиме связанных граней (2).
- Также необходимо указать **Тип заплатки** (3).
- Нажмите **ОК**.
- Результат показан на рис. 12.21.
- Обратите внимание, что связанная грань создалась автоматически, в навигаторе модели она расположена перед операцией заплатки.

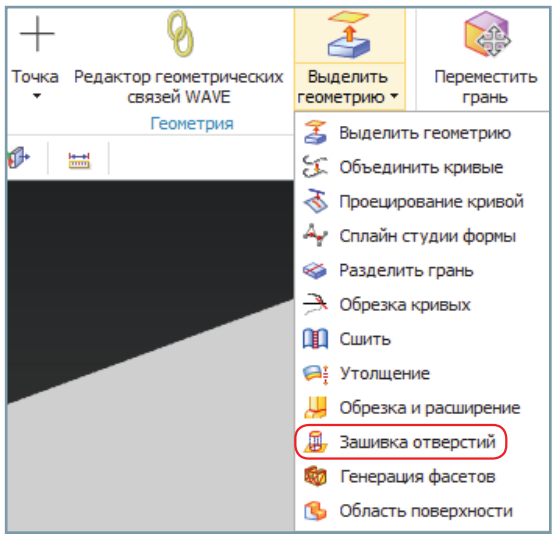


Рис. 12.19. Операция Зашивка отверстий в ленточной панели

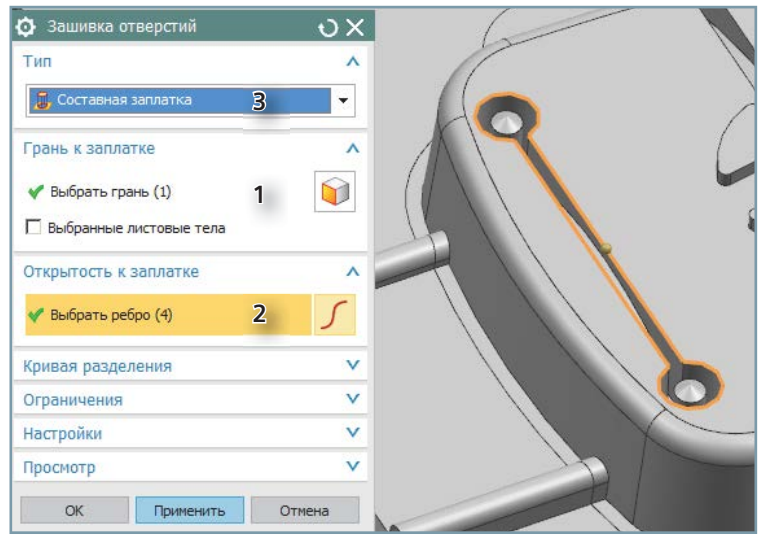


Рис. 12.20. Диалоговое окно операции Зашивка отверстий

Возможные типы заплаток показаны на рис. 12.22, чаще всего лучший результат достигается экспериментально. Помните, что при создании операций обработки в геометрической группе WORKPIECE необходимо указывать не только твердое тело, но и листовое тело заплатки.

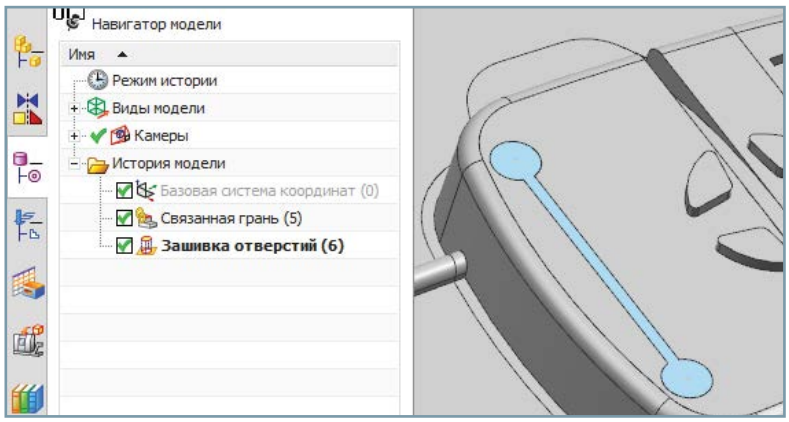


Рис. 12.21. Заплатка как результат операции Зашивка отверстий

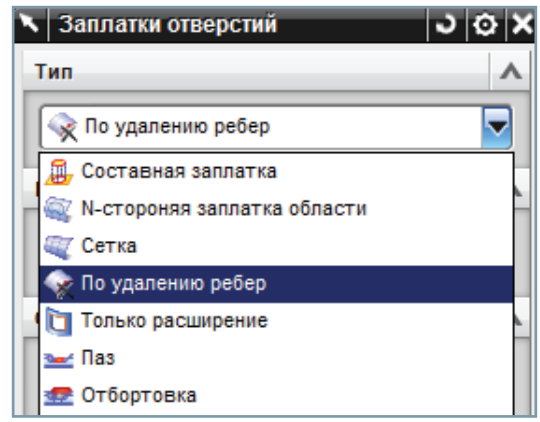


Рис. 12.22. Возможные типы заплаток в диалоговом окне операции Зашивка отверстий

Помощник замены

Выше говорилось об ассоциативности CAD- и CAM-данных. А что делать, если вы работаете с импортированной геометрией и вам прислали новую версию модели в формате STEP или parasolid? Для такого случая в NX имеется специальный инструмент – Помощник замены. Он работает с ассоциативной копией модели и помогает установить соответствие между старой и новой геометрией. Рассмотрим его в этом разделе.

- Откройте модель synchr_mould_core_setup_3.prt.
- Это уже известная нам модель, но она содержит компонент с другим именем synchr_mould_core_modif.prt.
- На уровне сборки создана его WAVE-копия, и в ней удалена часть элементов с помощью синхронного моделирования.

В навигаторе операций имеются три операции (рис. 12.23). Операции типа Cavity_Mill работают с телом целиком, а операция CONTOUR_AREA использует геометрическую группу MILL_AREA, где заданы две верхние грани. Потребуется некоторое ручное вмешательство в дальнейшем, поэтому обратите на эту операцию внимание.
Теперь предположим, что пользователь провел изменения, но сделал это неассоциативно и прислал вам новую версию модели в формате parasolid.

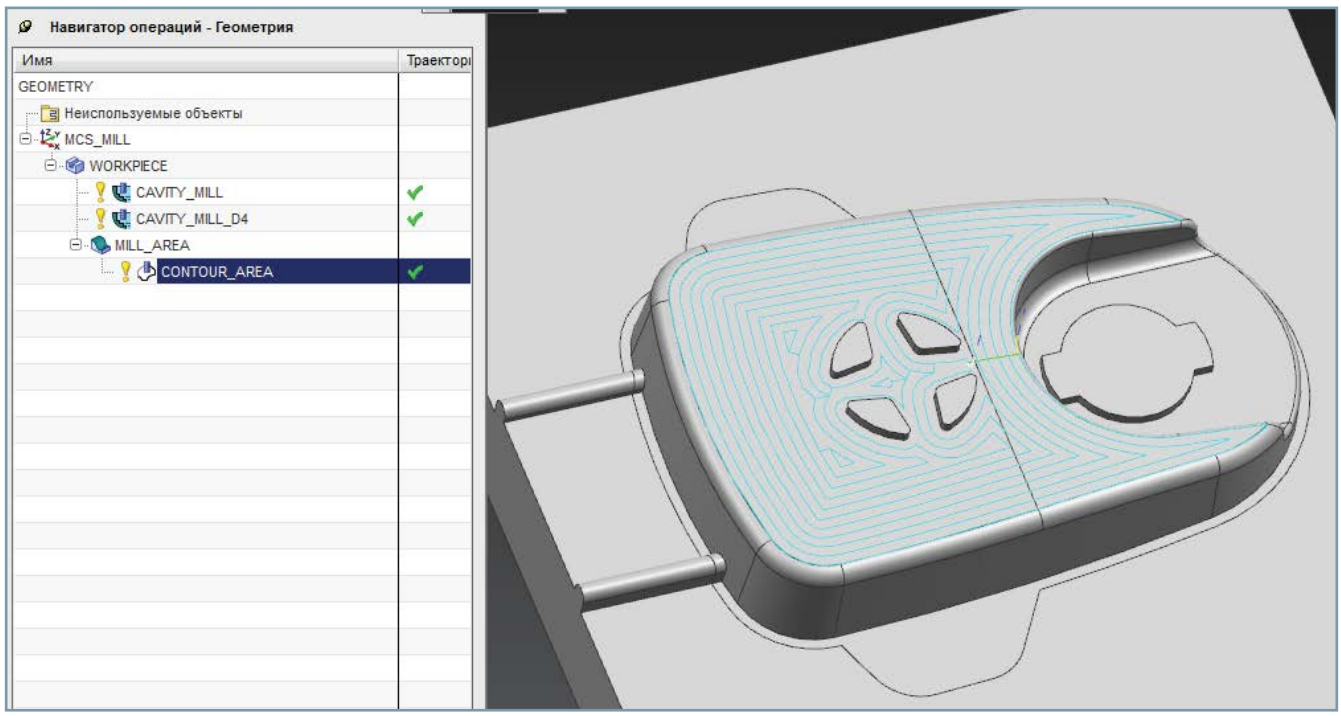


Рис. 12.23. Пример детали и операций для иллюстрации функции Помощник замены

- Сделайте отображаемой деталью synchr_mould_core_modif.prt.
- В этот файл импортируйте новую версию модели – файл core_new.x_t.

На рис. 12.24 показаны обе версии модели, в навигаторе модели можно увидеть два тела: body_v1 и Body_v2new (переименование выполнено для наглядности). В новой версии увеличился размер четырех бобышек (1) и добавился паз (2).

- Сделайте рабочей сборку для обработки – файл synchr_mould_core_setup_3.prt. Включите отображение компонента в навигаторе сборки.
- Должны быть видны оба тела (если это не так, то установите ссылочный набор **Вся деталь** для компонента сборки).
- Перейдите в навигатор модели и для объекта «Связанное тело» из контекстного меню выполните **Изменить параметры**. Появится новое диалоговое окно (рис. 12.25).
- В графической области укажите новое тело.
- После этого станет активной команда **Помощник замены** (1), нажмите на нее.

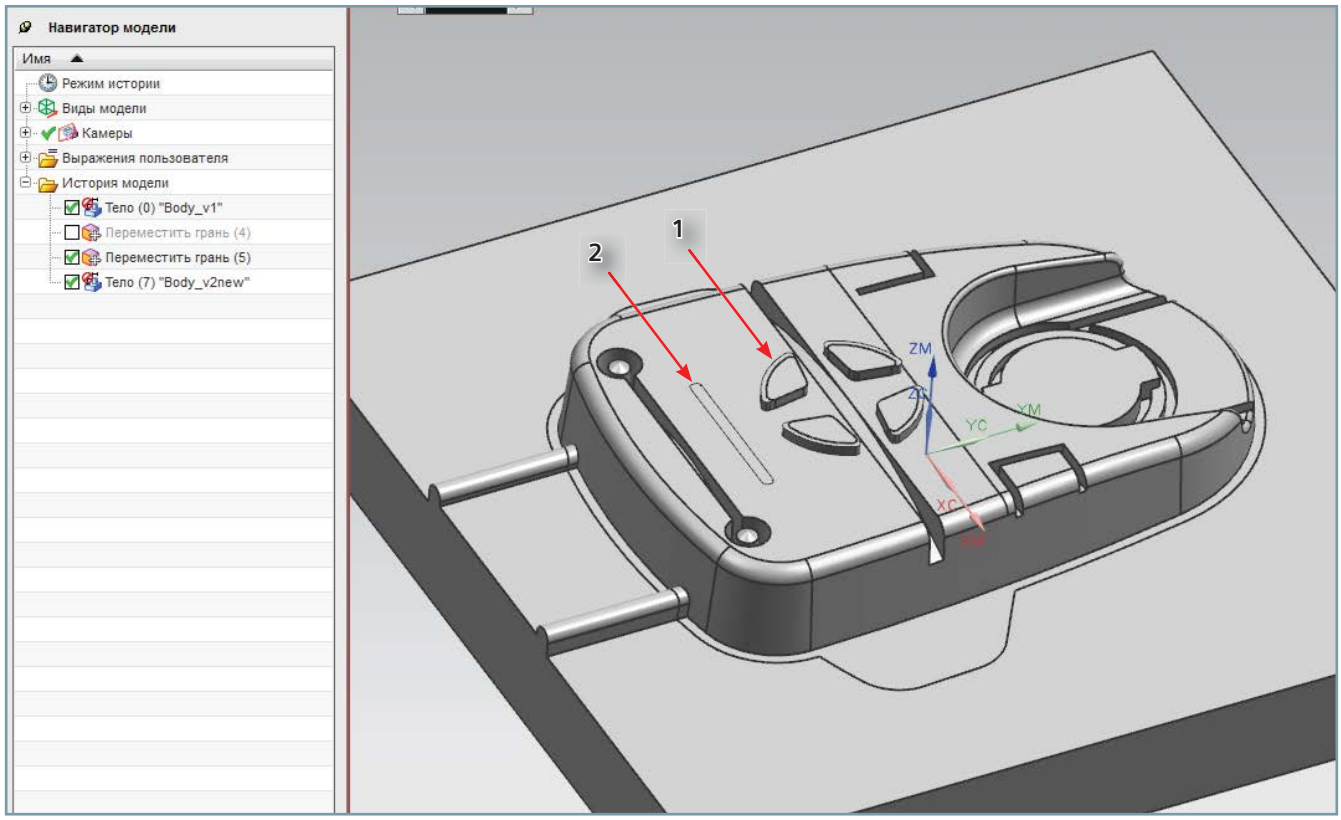


Рис. 12.24. Новая версия изделия (по нашему сценарию)

- Появится диалоговое окно помощника замены, графическая область будет поделена на две части: слева – старая модель, справа – новая.
- Задайте **Алгоритм соответствия** – **Геометрически** (1) и выполните команду **Поиск соответствия геометрии** (2).
- Включите флаг **Выделенные несогласованные области** (3) и поменяйте цвет для показа граней соответствия (4) (рис. 12.26).
- Для большей части граней соответствие установлено автоматически.
- Грани, для которых соответствие не установлено, показаны серым.
- Это измененные и новые грани. Для измененных граней назначим соответствие вручную.
- Для этого будем указывать соответствующие грани в левом и правом окнах (можно указывать несколько граней одновременно).
- Укажите грани, как показано на рис. 12.27, и выполните команду **Новый набор** (5). Повторите процесс для оставшихся 3 бобышек. После чего нажмите **ОК** 2 раза.

Ассоциативное тело будет обновлено и станет отображать новый вариант модели. Сразу после этого автоматически отработают операции синхронной технологии по упрощению связанного тела.

- Погасите отображение компонента сборки. Должно остаться видимым только обновленное связанное тело.
- Перейдите в **Навигатор операций** – **Вид геометрии**.

Значки статуса операций показывают, что все операции требуют пересчета. Но прежде проверим, что задано в геометрической группе MILL_AREA (рис. 12.28). Откройте диалоговое окно геометрической группы, убедитесь, что верхние грани выбраны правильно, несмотря на то что модель обновилась. Не выбран только новый элемент, его придется добавить вручную.

- Добавьте грани нового элемента в геометрическую группу MILL_AREA и перегенерируйте все операции.

Помощник замены существенно ускоряет обновление CAM-операции при работе с неассоциативной геометрией.

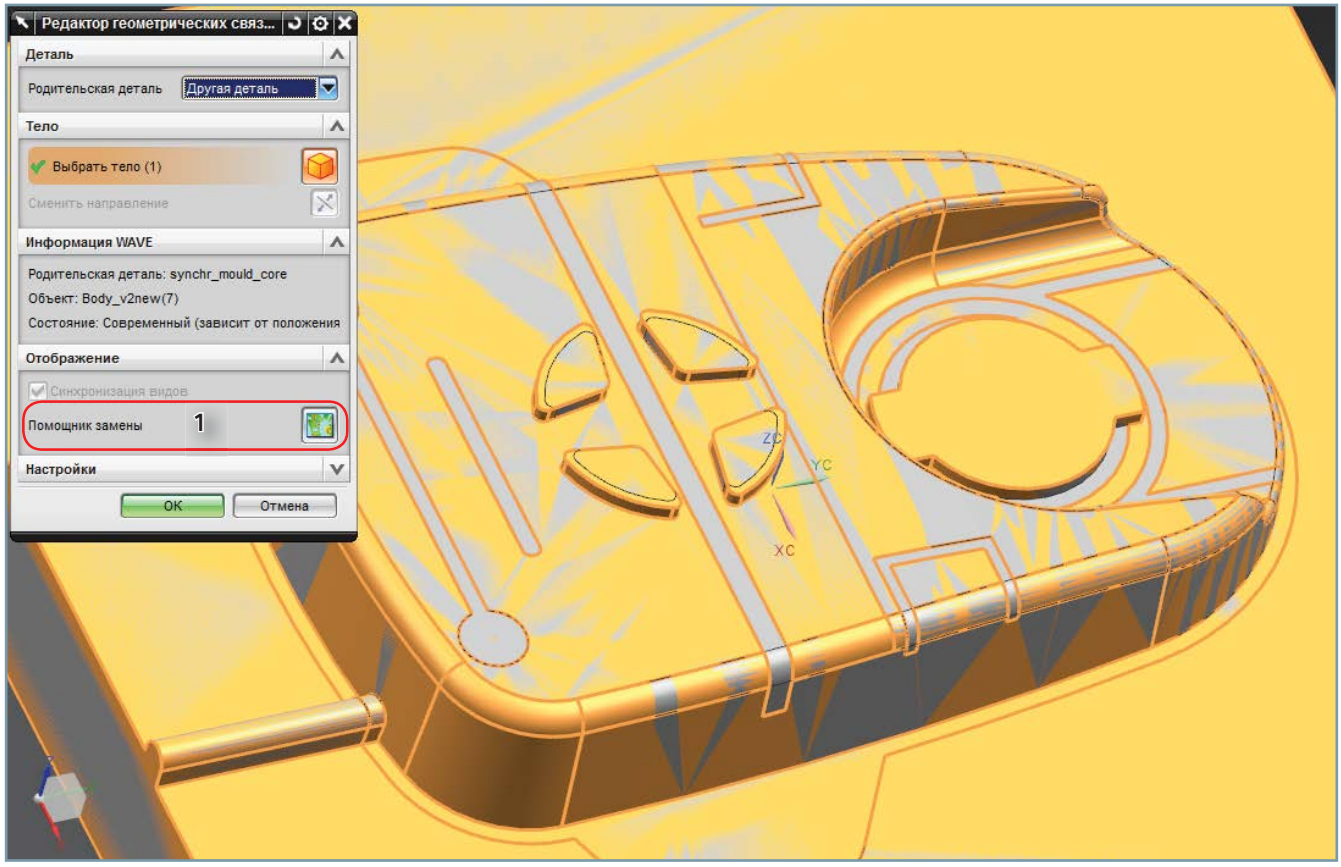


Рис. 12.25. Расположение команды Помощник замены в диалоговом окне редактора геометрических связей WAVE

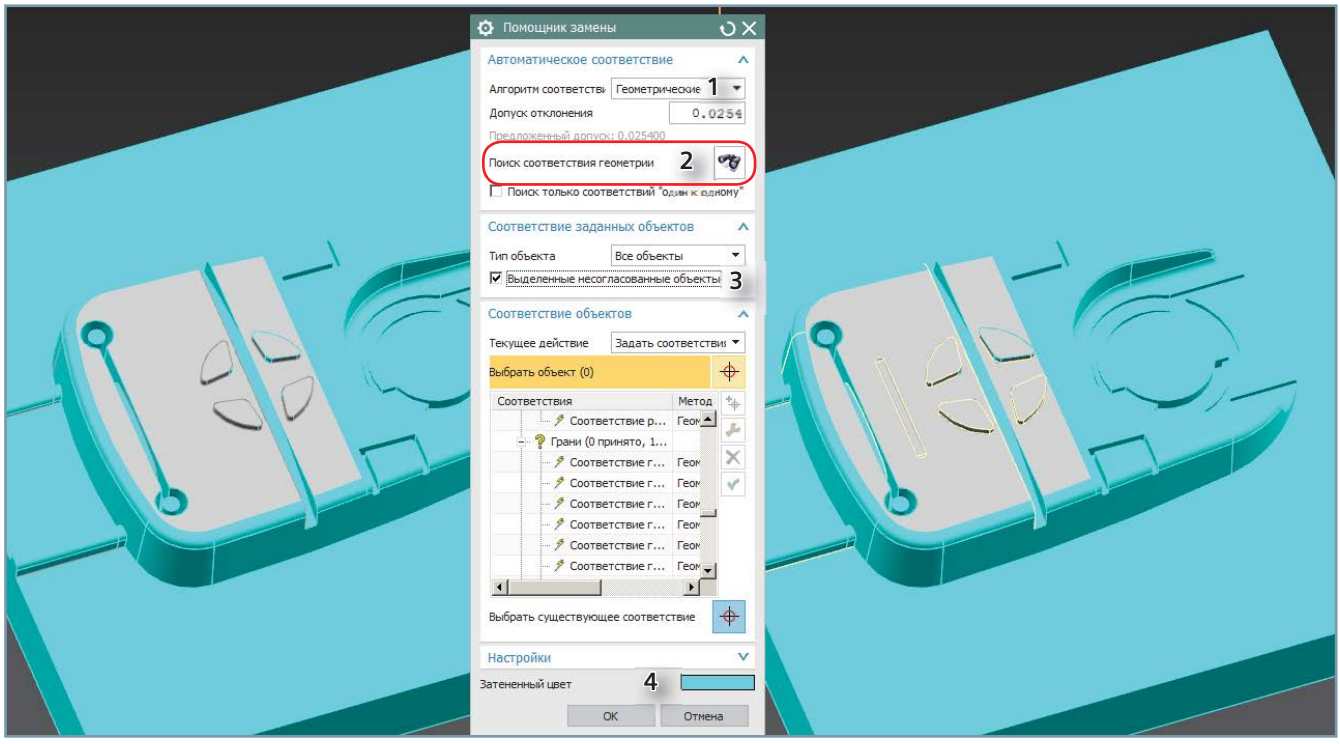


Рис. 12.26. Помощник замены делит графическое окно на 2 части для отображения обоих версий детали

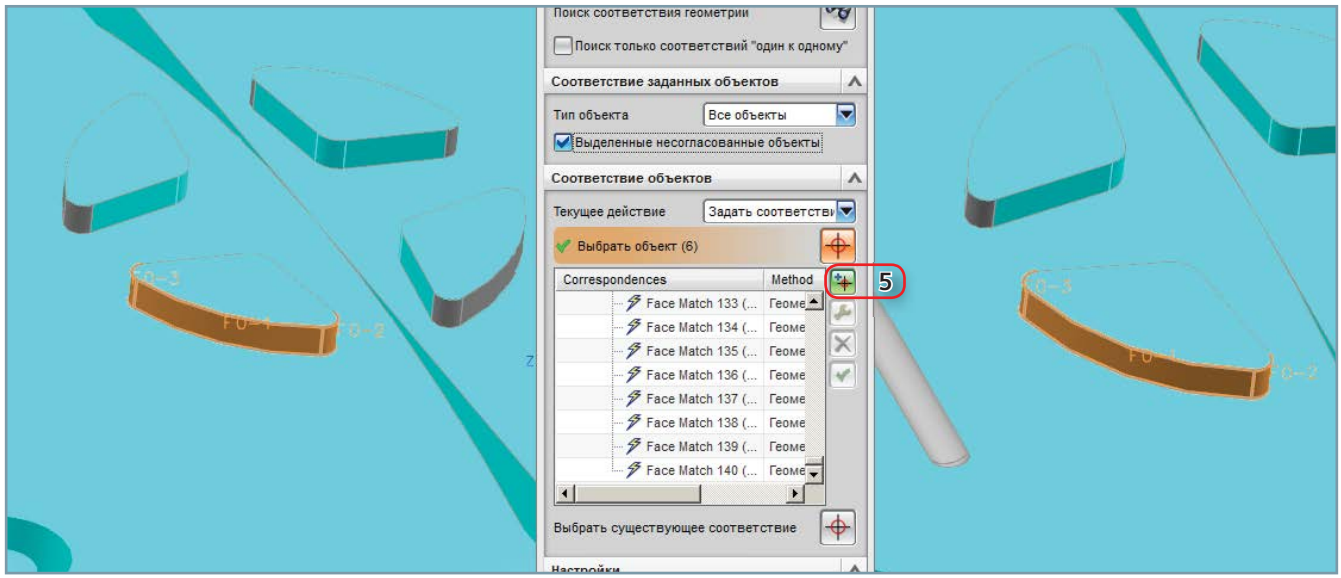


Рис. 12.27. Указание граней соответствия вручную в Помощнике замены

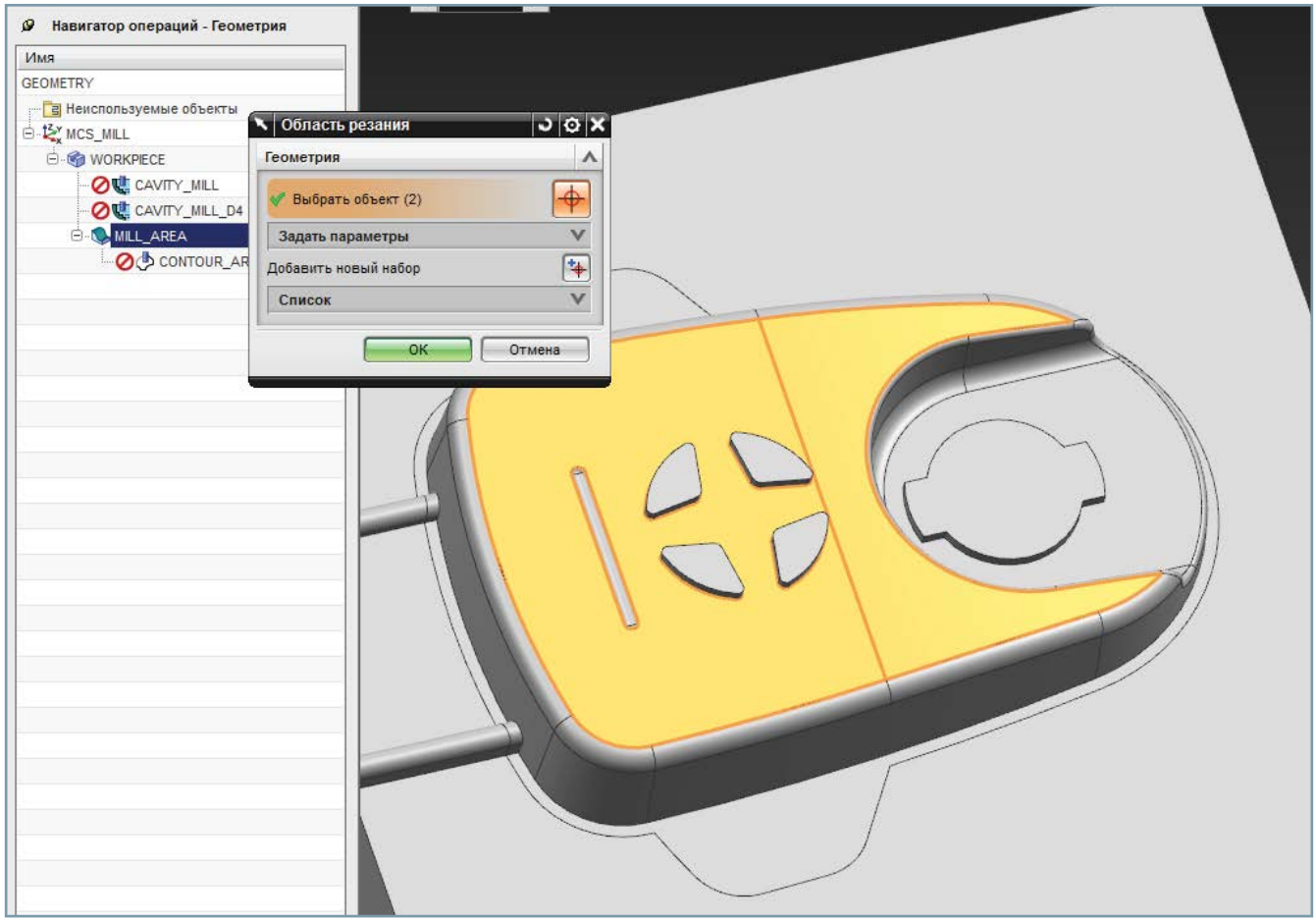


Рис. 12.28. Большая часть граней в геометрической группе MILL_AREA выбрана – это результат восстановления ассоциативности при работе Помощника замены

Глава 13

Перенос заготовки и 5-осевая позиционная обработка

Содержание главы

- Поддержка позиционной обработки в операциях
- Перенос заготовки
- Главная и локальные системы координат
- Перенос заготовки (продолжение)
- Поддержка позиционной обработки в операциях (продолжение)
  - FLOOR_WALL_IPW (продолжение)
  - Обработка боковых пазов (GROOVE_MILLING)
  - Операция общего перемещения (GENERIC_MOTION)

Перенос заготовки и 5-осевая позиционная обработка

Часто призматические детали требуют обработки с разных сторон. Такая обработка может выполняться с несколькими установками на разных станках, а при наличии 5-осевого станка может выполняться на одном станке, когда поворотные оси являются установочными. В подобных случаях говорят о 5-осевой позиционной обработке или о 3+2-осевой обработке. Различий на уровне операций в NX нет, различия проявляются в иерархии геометрических групп и их параметрах.
Как показывает статистика, около 70% 5-осевых станков используются именно для 5-осевой позиционной обработки. Изготовителей привлекает возможность обработки сложных изделий с одного установа. Это существенно экономит время, повышает точность, исключает возможность ошибок при смене программ и перепозиционировании. А необходимыми условиями для этого послужили снижение цен на 5-осевые станки и доступное программирование таких операций в системах подготовки программ для станков с ЧПУ.
При этом виде обработки поворотные движения выполняются вне процесса резания. Это как бы набор 3-осевых траекторий, выполняемых для разного положения оси инструмента. В этом случае жесткость технологической системы существенно выше, так как поворотные оси зажаты в процессе резания.

Поддержка позиционной обработки в операциях

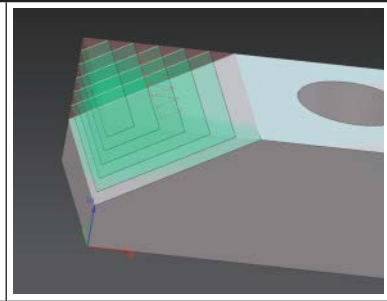
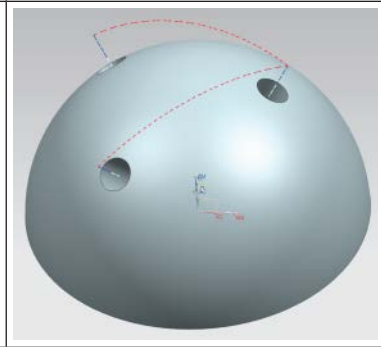
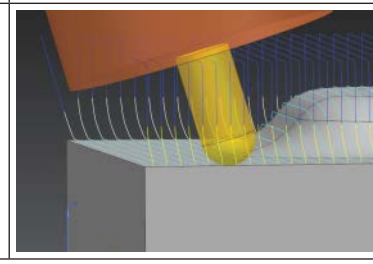
При рассмотрении 2.5- и 3-осевых операций мы отмечали, что многие такие операции поддерживают 5-осевое позиционирование.
При обработке корпусных деталей с разных сторон, но с одного установа широко используются операции обработки граней, когда инструмент установлен перпендикулярно грани. Этот случай рассматривался в главе, посвященной операциям FLOOR_WALL и FACE_MILLING. NX при этом автоматически рассчитывает необходимые углы поворота детали или инструмента.
Значительная экономия времени получается и при сверлении множества отверстий, оси которых имеют различную ориентацию в пространстве. На первый взгляд, сверление кажется более простой операцией, по сравнению с фрезерованием, но практика показывает, что при ручном перепозиционировании изделия для 3-осевого сверления часто возникают ошибки, приводящие к браку изделия. 5-осевое сверление выполняется автоматически, что увеличивает производительность и устраняет ошибки. Этот случай также рассматривался в главе, посвященной сверлению.
При обработке формообразующей оснастки чаще используются 3-осевые контурные операции. Но при наличии 5-осевого станка возможны фиксированное отклонение оси инструмента и работа в 3-осевом режиме. Отличие же от 3-осевого варианта состоит в том, что можно использовать более короткий инструмент для работы вблизи высоких стенок. Для более короткого инструмента можно использовать более высокие режимы резания. Также можно применять инструмент меньшего диаметра, что уменьшает объем последующих доработок и ручных операций. Еще одним положительным моментом от наклона инструмента является то, что резание в этом случае осуществляется периферией инструмента (вершина инструмента, где условия резания наихудшие и скорость резания равна 0, выведена из обработки), что улучшает качество поверхности и увеличивает стойкость инструмента. Сами режимы обработки выше при позиционной 5-осевой обработке. Если поворотные оси работают как установочные, то шпиндельная головка (или стол) фиксируется до начала резания, и в процессе резания можно использовать режимы, характерные для 3-осевой обработки.
Сведем упоминание 5-осевой позиционной обработки в предыдущих главах в табл. 13.1.
Как известно, заготовка обычно задается в геометрической группе Workpiece. В пределах одного объекта Workpiece поддерживается расчет ЗвПО (заготовки в процессе обработки). В NX есть специальный функционал по передаче заготовки между разными группами Workpiece, он используется для передачи текущего состояния заготовки между разными установами. Этот функционал и рассмотрим в следующем разделе.

Перенос заготовки

Новый функционал переноса заготовки не требует сохранения ЗвПО в отдельный файл, не используются системы координат для позиционирования. ЗвПО автоматически выравнивается по текущему состоянию обрабатываемой детали. Установы могут программироваться как в одном, так и в различных файлах, при этом ЗвПО между установами ассоциативно связана. Рассмотрим оба случая.

- Откройте пример ipw_transfer_setup_1.prt (рис. 13.1).
- В нем заготовка задана традиционным образом и созданы операции фрезерования и сверления.
- Выполните верификацию операций.
- Результат обработки показан на рис. 13.2.
- Полагаем, что заготовка закреплена в тисках, ее нижняя часть недоступна для обработки.

Таблица 13.1

№ пп	Требование	Операция или параметр (где описано)	Рисунок
1	Обработка наклонных граней	Операции FACE_MILL, FLOOR_WALL_MILLING, **Ось инструмента – Нормально к грани** (глава 4)	
2	Обработка отверстий произвольной ориентации	Операция DRILLING, **Ось инструмента** устанавливается автоматически (глава 8)	
3	Использование наклонного фиксированного инструмента на контурных операциях	Операция FIXED_CONTOUR, **Ось инструмента** задается вектором (глава 9)	

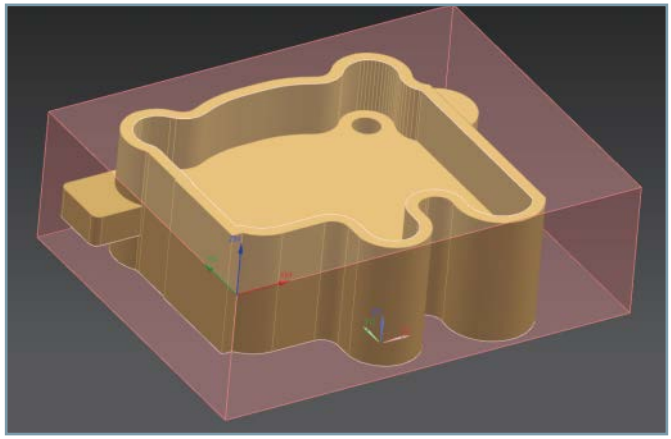


Рис. 13.1. Деталь и заготовка на первом установе в отдельном CAM-проекте

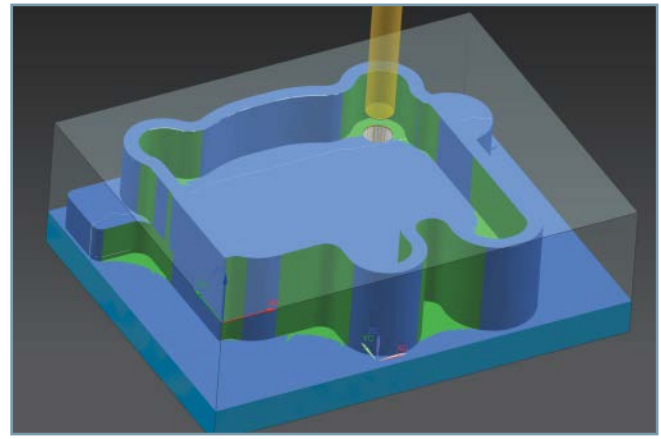


Рис. 13.2. Верификация операций на первом установе

- Заканчивать обработку будем со второго установа, перевернув деталь на 180°.
- Откройте пример ipw_transfer_setup_2.prt.
- Откройте диалоговое окно геометрической группы WORKPIECE и нажмите на фонарик, чтобы показать заготовку (рис. 13.3).
- Как видим, заготовка передана с первого установа. Как это сделано?
- В группе WORKPIECE выполните команду **Задать заготовку**.
- В новом диалоговом окне видно, что заготовка задана как **ЗвПО** – **Заготовка в процессе обработки** (рис. 13.4).

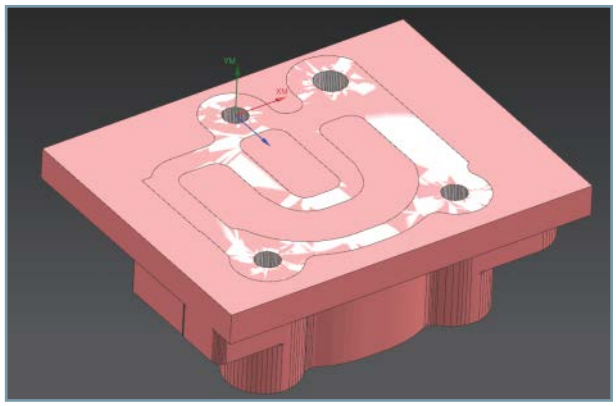


Рис. 13.3. Заготовка автоматически выровнена по новому положению детали на втором установе

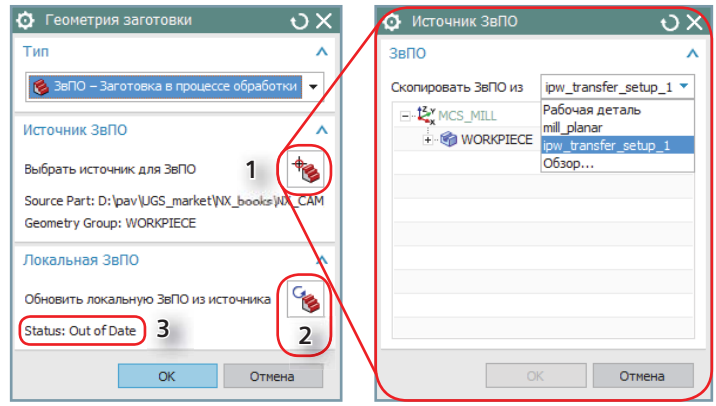


Рис. 13.4. Для задания заготовки на втором установе указывается файл и геометрическая группа WORKPIECE первого установа

- Команда **Выбрать источник для ЗвПО (1)** позволяет указать другую геометрическую группу WORKPIECE, которая может находиться как в рабочей детали, так и в другом файле. Во втором случае можно будет выбрать имя файла.
- В данном случае имя источника указано прямо в основном окне.
- Выполните команду **Выбрать источник для ЗвПО**, в новом диалоговом окне можно изменить источник.
- Мы видим, что в данном случае заготовка считывается из файла ipw_transfer_setup_1.
- Также видна структура геометрических групп первого установа. В общем случае проект мог содержать несколько установов, и необходимо выбрать нужную нам геометрическую группу.
- Мы этого делать не будем, нажмите **Отмена**.

Замечание: компонент-деталь должен быть тем же самым и, соотвественно, иметь то же имя, новое положение ЗвПО определяется по новому положению детали на втором установе.

В основном диалоговом окне имеется команда **Обновить локальную ЗвПО из источника (2)**. Рядом с командой указан статус обновления (3), сейчас это **Out to Date** (требует обновления). Данный механизм поддерживает ассоциативную связь второго и первого установов, и при изменении операций первого установа заготовка на втором установе требует обновления.

Главная и локальные системы координат

Выше говорилось, что многие операции NX поддерживают 5-осевую позиционную обработку без использования дополнительного функционала.
Другой подход к 5-осевой позиционной обработке – это создание дополнительных систем координат, которые используются для расчета операций. Этот подход позволяет использовать любые 3-осевые и 2.5-осевые операции для 5-осевой позиционной обработки.
В проекте обработки может быть несколько систем координат станка (СКС), одна из них должна быть главная, она используется постпроцессором для вывода координат в управляющую программу. Остальные являются локальными и могут использоваться для 5-осевой позиционной обработки. При этом система автоматически рассчитывает углы поворота рабочих органов станка для позиционирования.

- Откройте пример fl1_setup_1.prt.

На рис. 13.5 показана корпусная деталь. Требуется обработать два фланца, расположенных под углом к основному телу. В отверстиях имеется проточка, для обработки которой использована операция SOLID_PROFILE_3D. Для создания операций на фланцах используются вспомогательные системы координат, у которых ось Z перпендикулярна фланцу.
Организация геометрических объектов в навигаторе операций показана на рис. 13.6. Система координат MCS_MILL (1) является главной, относительно нее будем выводить управляющие программы. Системы координат MCS_1 (2) и MCS_2 (3) – локальные, они служат для расчета 3-осевых программ. Однако в них имеются параметры, которые влияют на способ вывода координат в управляющей программе.

- Дважды щелкните по объекту MCS_MILL, откроется новое диалоговое окно (рис. 13.7).

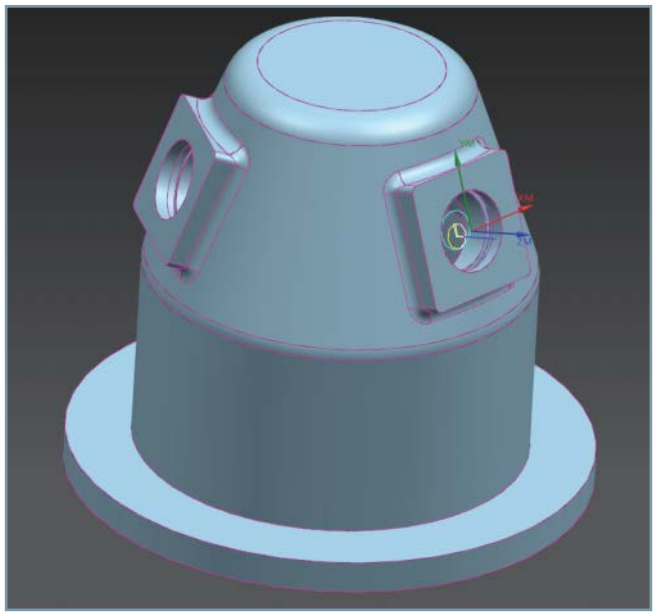


Рис. 13.5. Корпусная деталь, где применяется 5-осевая позиционная обработка

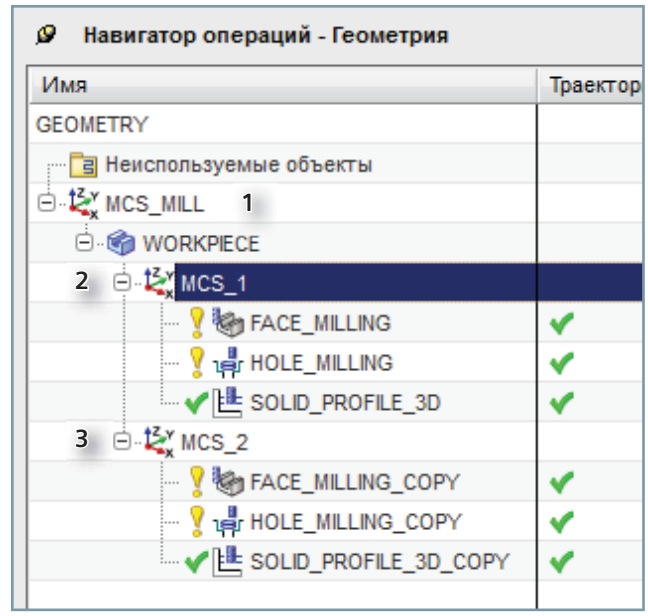


Рис. 13.6. Организация геометрических объектов в навигаторе операций для 5-осевой позиционной обработки

- Раскройте группу параметров **Подробности**.
- Параметр **Назначение** (1) задан **Главная**, а параметр **Нулевая точка (2)** равен 1.
- Главная система координат должна быть только одна. Нулевая точка определяет номер использованной G-функции (1 – это G54, 2 – G55 и т. д.).
- Теперь дважды щелкните по объекту MCS_1, откроется новое диалоговое окно (рис. 13.8).

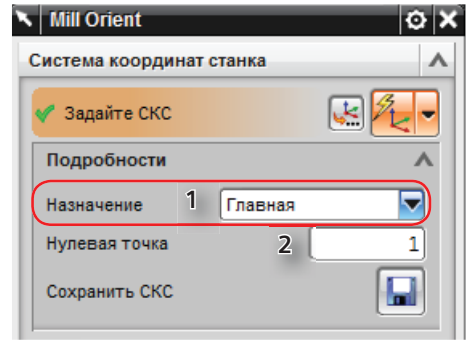


Рис. 13.7. Установки для родительской (главной) СКС

Параметр **Назначение** (1) задан как **Локальная**, в этом случае доступен еще параметр **Специальный вывод** (2). Рассмотрим два его значения: **Использовать главную СКС** и **Вращение СК**. При значении **Использовать главную СКС** все координаты в траектории выводятся относительно главной системы координат. Значение **Вращение СК** позволяет использовать специальный функционал по пересчету координат.

- На рис. 13.9 и 13.10 показан фрагмент УП для системы ЧПУ Sinumerik для первого и второго случаев.
- Кадр, где заданы поворотные движения, одинаков (1), однако во втором случае дополнительно выводятся команды переноса нулевой точки и разворота плоскости обработки TRANS и AROT (2), и в дальнейшем выводятся координаты относительно локальной системы координат (3).

Такие программы проще в понимании и редактировании для оператора станка.

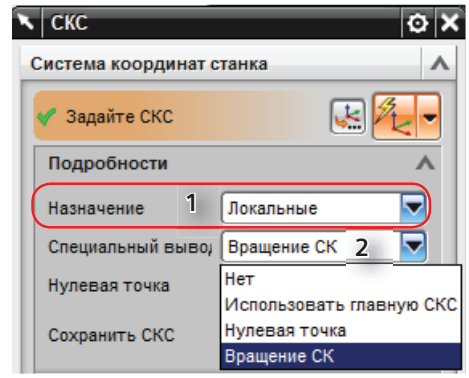


Рис. 13.8. Установки для вложенной (локальной) СКС

Перенос заготовки (продолжение)

- Рассмотрим еще один пример. Откройте ipw_Workpart_setup_1.prt.

Здесь имеется приспособление типа Tombstone, позволяющее выполнять обработку нескольких деталей одновременно. Обычно такая обработка выполняется на горизонтально-фрезерных обрабатывающих центрах. В нашем случае это две одинаковые детали, но они установлены в положение первого и второго установов соответственно (рис. 13.11).

```
N380 ;Initial Move
N390 G0 A70. C60.
N400 CYCLE832(_camtolerance,0,1)
N410 COMPOF
N420 TRAFOOF
N430 G54
N440 ORIMKS
N450 ORIAXES
N460 G0 X.196 Y76.044 Z95.323 S2000 D2 M3
N470 ;Approach Move
N480 Z81.323
N490 ;Engage Move
N500 G1 Z78.323 M8 F250.
N510 X.393 Y80.039
N520 G3 X0.0 Y72.049 I-.196 J-3.995
N530 ;Cutting
N540 I0.0 J5.99
N550 ;Retract Move
```

1

Рис. 13.9. Пример УП, где выводятся только команды поворотных осей

```
N380 ;Initial Move
N390 G0 A70. C60.
N400 CYCLE832(_camtolerance,0,1)
N410 COMPOF
N420 TRAORI
N430 G54
N440 ORIMKS
N450 ORIAXES
N460 TRANS X46.32056 Y-26.74319 Z102.51506
N470 AROT X53.94761
N480 AROT Y54.46865
N490 AROT Z30.64234
N500 G0 X.19627 Y-1.99517 Z10. S2000 D2 M3
N510 ;Approach Move
N520 Z-4.
N530 ;Engage Move
N540 G1 Z-7. M8 F250.
N550 X.39254 Y2.00001
N560 G3 X0.0 Y-5.99035 I-.19627 J-3.99518
N570 ;Cutting
N580 I0.0 J5.99035
N590 ;Retract Move
```

1 2 3

Рис. 13.10. Пример УП, где выводятся команды поворотных осей и трансформации координат

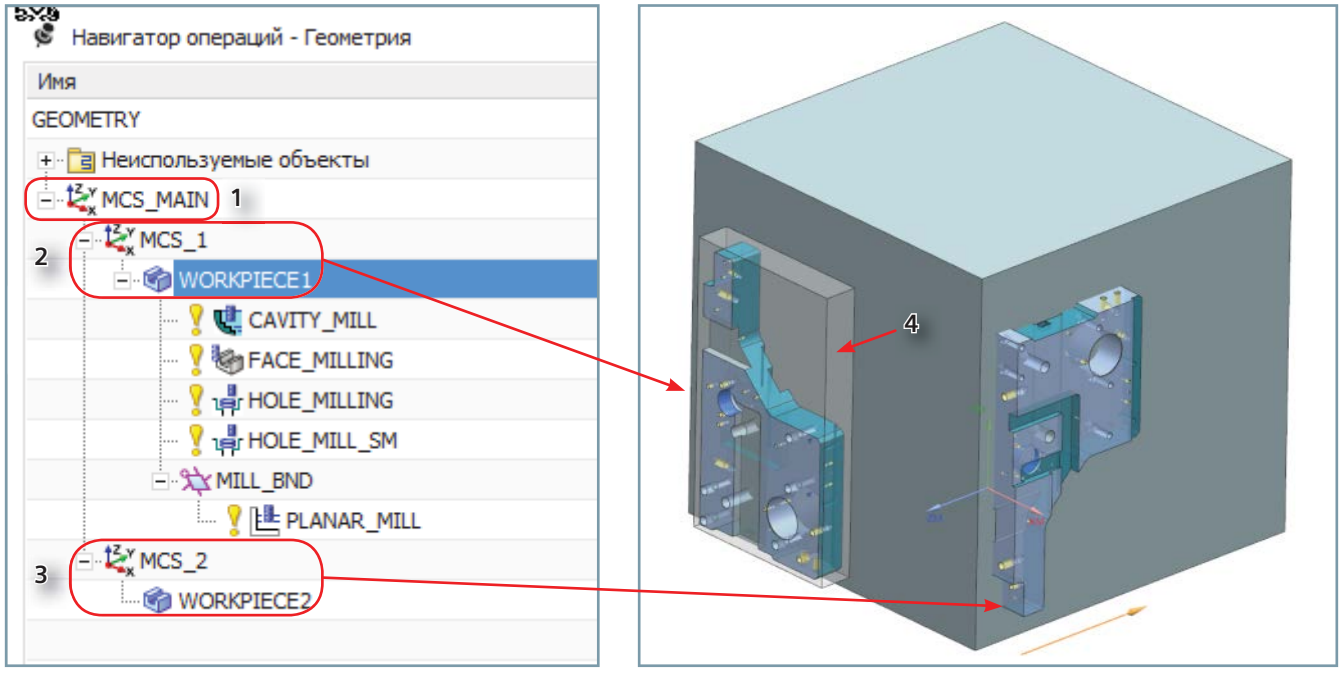


Рис. 13.11. Два установа в одном CAM-проекте

С точки зрения обработки, в NX имеется главная система координат (1), используемая для привязки к столу станка, локальные системы координат вместе с геометрическими объектами WORKPIECE для каждого установа (2 и 3). На первом установе заготовка (4) задана блоком (компонентом сборки). Для задания заготовки на втором установе используем функционал переноса заготовки.

- Дважды щелкните по объекту WORKPIECE2, в появившемся диалоговом окне выполните команду **Задать заготовку**, задайте тип заготовки как **ЗвПО** – **Заготовка в процессе обработки (1).**
- Выполните команду **Выбрать источник для ЗвПО (2)**, в новом диалоговом окне параметр **Скопировать ЗвПО из** указывает на **Рабочую деталь,** это нас устраивает.
- Укажите WORKPIECE1 и нажмите **ОК**.

- Статус нового положения ЗвПО (3) имеет значение **None** (Нет).
- Выполните команду **Обновить локальную ЗвПО из источника (4).**
- ЗвПО будет отображена в новом положении (рис. 13.13), а статус обновится до значения **Up_to_date** (обновлено).
- Нажмите **ОК** дважды.
- Скопируйте операцию CAVITY_MILL из WORKPIECE1 в WORKPIECE2. В копии замените инструмент на EM_50MM (так как прежний инструмент слишком велик для доработки) и генерируйте операцию.
- В данном случае также полезно включить параметр **Обрезка по силуэтным линиям** в диалоговом окне **Параметры резания – Ограничения**.
- Перегенерируйте операцию, результат показан на рис. 13.14.
- Как видим, операция учитывает ЗвПО.

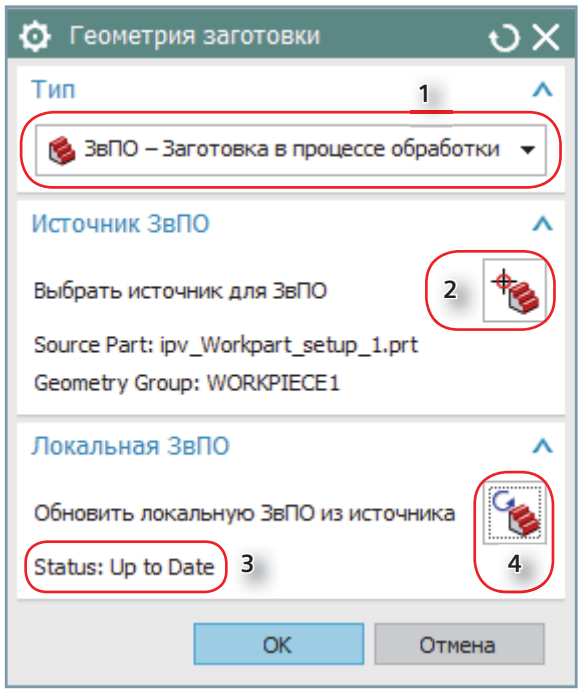


Рис. 13.12. Для задания заготовки на втором установе указывается другая геометрическая группа WORKPIECE этого же файла, где задана заготовка первого установа

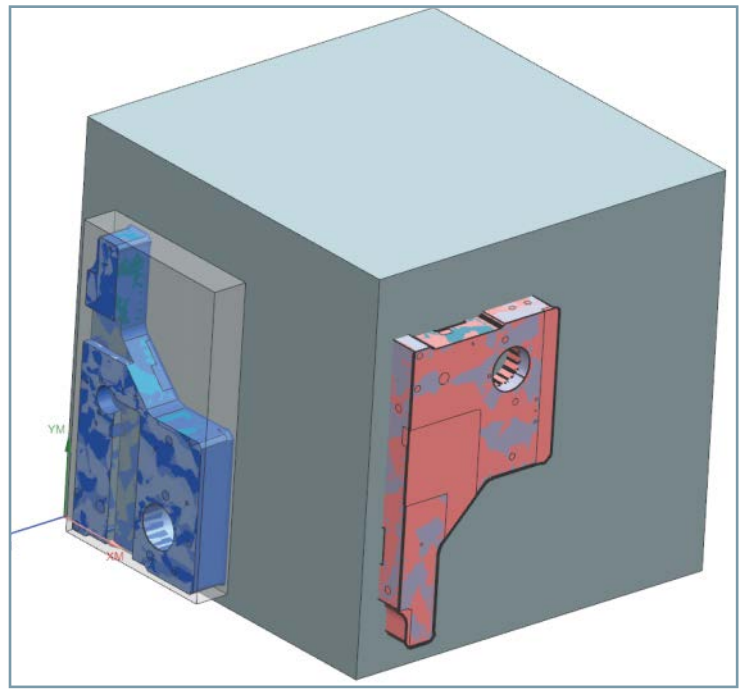


Рис. 13.13. Заготовка автоматически выровнена по положению детали на втором установе

Поддержка позиционной обработки в операциях (продолжение)

FLOOR_WALL_IPW (продолжение)

- Откройте пример Floor_wall_multiaxis_setup_1.prt (рис. 13.15).

Детали такого типа нередко имеют много пазов и вырезов, которые накладываются друг на друга, и использование обработки на основе отдельных граней может быть неэффективным. Кроме того, для таких деталей черновая и чистовая обработки не так строго разделены, как на деталях типа матриц и пуансонов, и использование классической операции CAVITY_MILL нецелесообразно.
Деталь можно полностью обработать на 4-осевом станке. Все траектории можно получить, используя один тип операций – FLOOR_WALL_IPW. Можно сказать, что материал будем снимать «элементарными объемами». Операция была рассмотрена в главе 4 для случая 2.5-осевой обработки. Здесь логично рассмотреть ее возможности для 4- и 5-осевой позиционной обработки.

- В примере уже имеются операции обработки.
- Первые четыре показаны в табл. 13.2.
- Каждая следующая выполняется после поворота детали вокруг оси X.

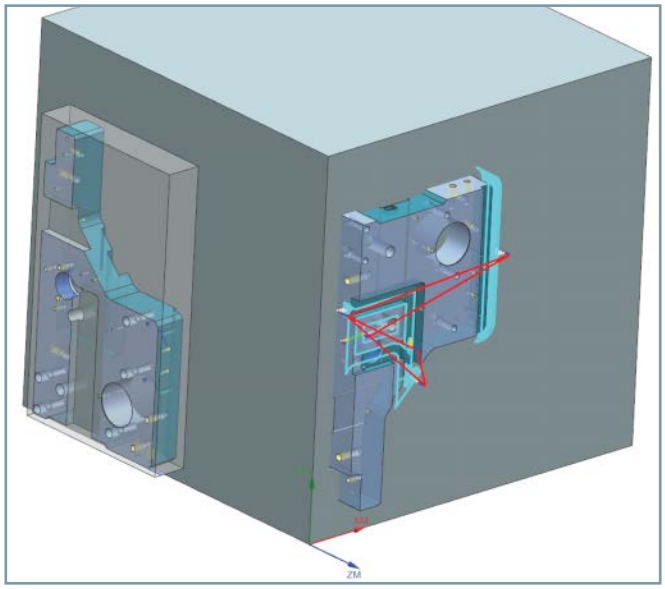


Рис. 13.14. Траектория обработки показывает, что корректная заготовка используется

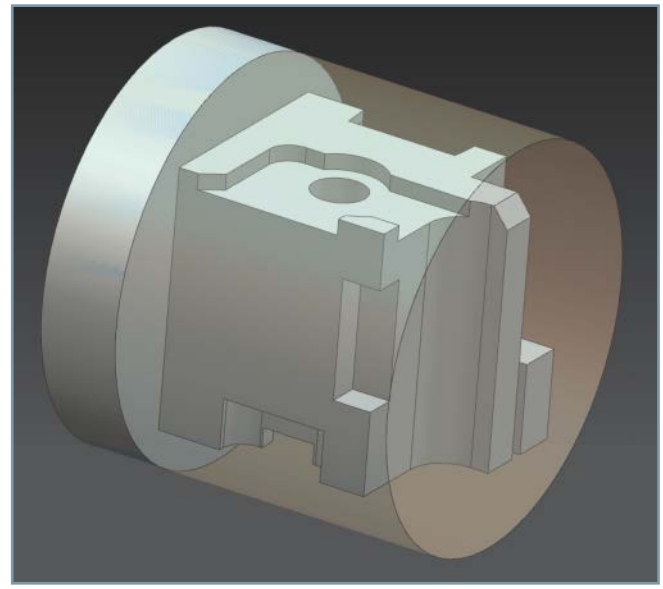
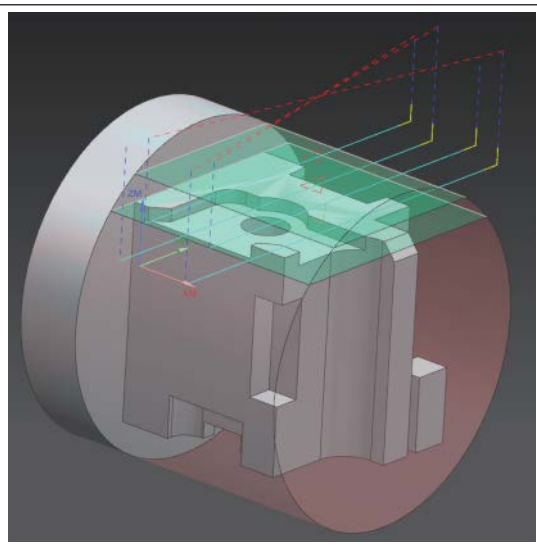
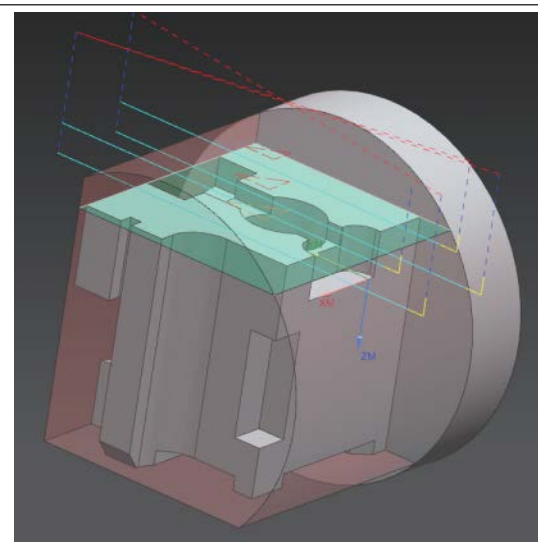
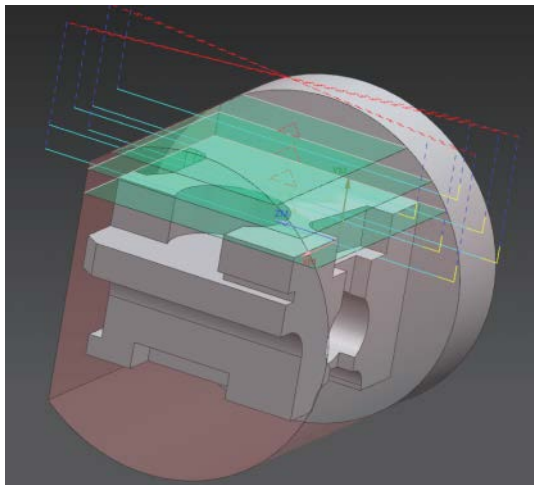
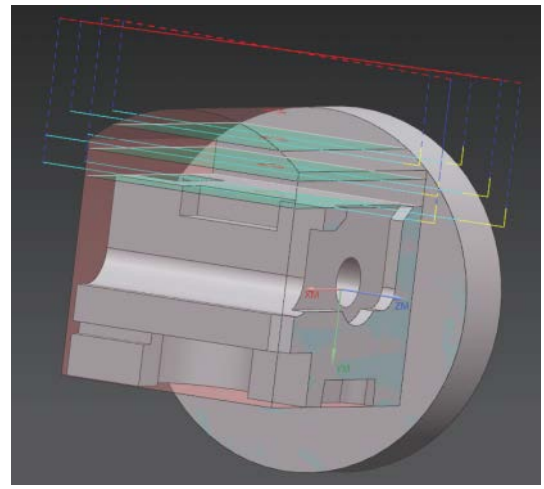


Рис. 13.15. Деталь для иллюстрации операции FLOOR_WALL_IPW при использовании 5-осевой позиционной обработки

Таблица 13.2

1		3	
2		4	

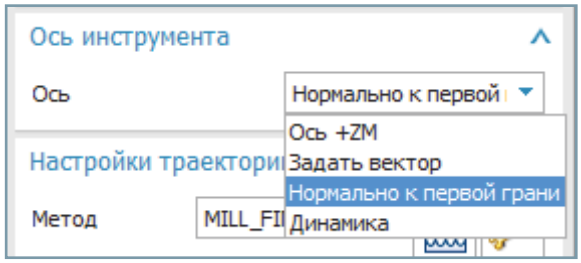


Рис. 13.16. Ось инструмента задается параметром Нормально к первой грани

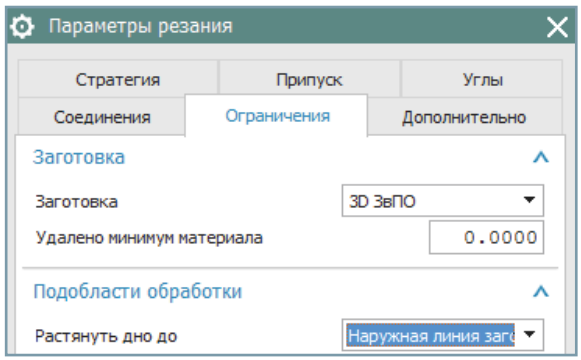


Рис. 13.17. Расположение параметра Растянуть дно до Наружней линии заготовки

На первой операции заготовкой является цилиндр (показан полупрозрачным телом). На следующих операциях видно, что у заготовки-цилиндра срезаны лыски. Также видно, что обрабатываемая грань растягивается до контура заготовки (ЗвПО). В этих операциях ось инструмента указана **Нормально к первой грани** (рис. 13.16) и включен параметр **Растянуть дно до Наружней линии заготовки** в диалоговом окне **Параметры резания – Ограничения** (рис. 13.17).

Операцию FLOOR_WALL_POCKET оставим без комментариев, отметим только, что она обрабатывает карман, показанный на рис. 13.18 цифрой 1, и идет до операции FLOOR_WALL_SLOT. Это видно из навигатора операций (2). На рис. 13.18 показана операция FLOOR_WALL_SLOT. Ее особенностью является то, что в ней имеется всего один проход посередине паза, в диалоговом окне операции задано **Число проходов 1** (3). Эта возможность поддерживается всеми операциями FLOOR_WALL.

Также обратите внимание на предварительный просмотр области обработки, грань растянута, но учтено, что карман (1) уже обработан.

Операция WALL_IPW обрабатывает верхнюю часть стенки, выделенной синим цветом (рис. 13.19). В этой операции дно не задано, поэтому установка оси инструмента по умолчанию не срабатывает и ось задана явно по +Z. Стенка является очень высокой для обработки с одной стороны, поэтому для ограничения уровней задан параметр **Смещение глубины –Z**. Остальная часть стенки обрабатывается операцией WALL_IPW_180 (рис. 13.20), в которой ось инструмента развернута на 180°. Для поворота оси инструмента удобно использовать параметр **Динамика**, после чего будут доступны динамические маркеры осей и углов поворота (показаны на рисунке). Параметр **Смещение глубины –Z** здесь не используется (равен 0), так как материал в нижней части стенки уже снят и учитывается через ЗвПО.

Обработка боковых пазов (GROOVE_MILLING)

Для обработки боковых пазов в NX 9.0 добавлена специальная операция – GROOVE_MILLING. Ее тоже можно отнести к операциям на основе объемов. Операция находится в группе mill_planar.

- Откройте пример side_slot_setup_1.prt.
- Создайте операцию GROOVE_MILLING с установками как на рис. 13.21.
- Диалоговое окно операции (рис. 13.22) содержит возможность задания геометрии бокового паза как отдельного типа объекта.
- Выполните команду **Задать геометрию бокового паза** (1) и укажите дно бокового паза (с точки зрения оси Z это стенка).

Система автоматически рассчитает снимаемый объем и отобразит его в графической области. Специфическими параметрами операции являются **Уровни резания** (2), они определяют порядок проходов. Но в этой операции они выполняются необязательно сверху вниз (рис. 13.23). Чаще они выполняются от середины. Метки уровней проходов и их порядок отображаются в графическом окне специальными маркерами.

- Генерируйте операцию, результат показан на рис. 13.24.

Операция поддерживает вывод точки контакта. Для Т-образных фрез возможно использование 4 точек трассировки: верх и низ диска, центр и периферия.

При включении режима коррекции инструмента с выводом точки контакта (рис. 13.25) в этой операции доступен выбор точки трассировки. Помимо явного указания точки трассировки как точки контакта (4 варианта), возможно автоматически менять точку трассировки при обработке низа и верха паза.

На рис. 13.26 показана траектория, где точка контакта задана как **Автоматическая SYS_OD**. В этом случае можно обрабатывать точные пазы неточным инструментом.

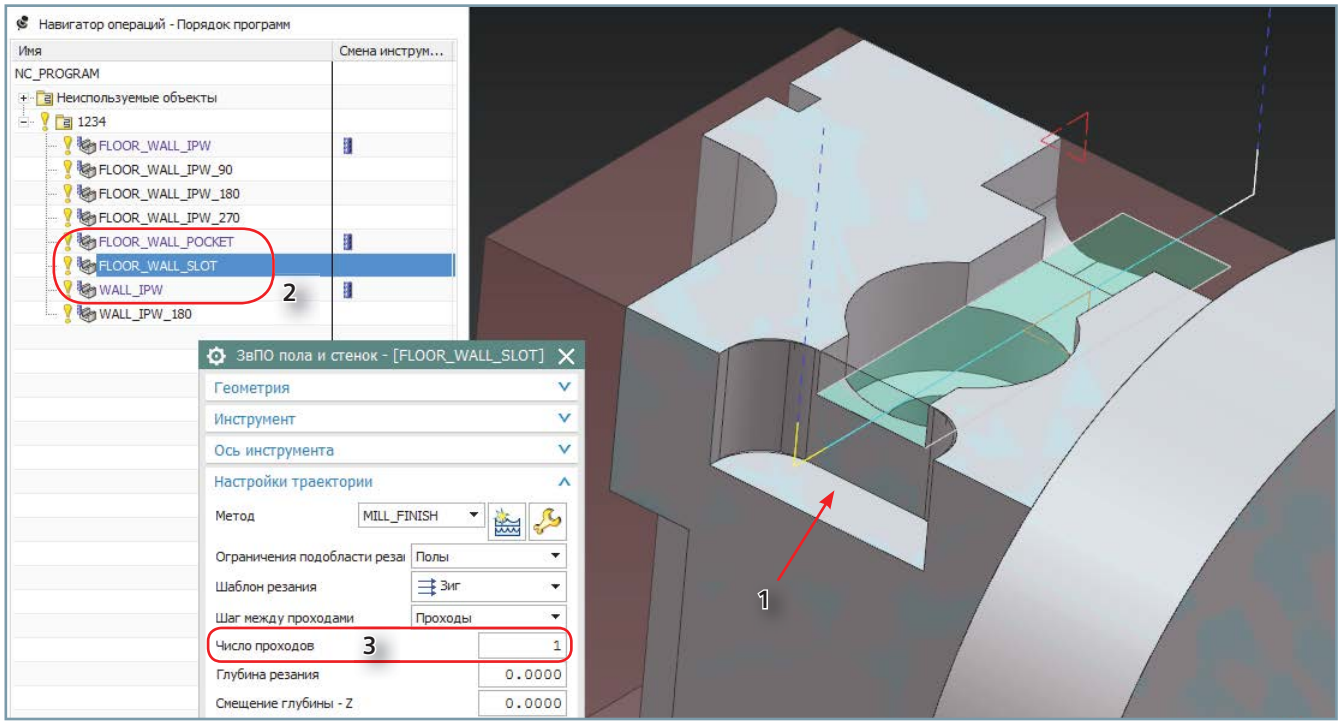


Рис. 13.18. Однопроходный вариант операции FLOOR_WALL

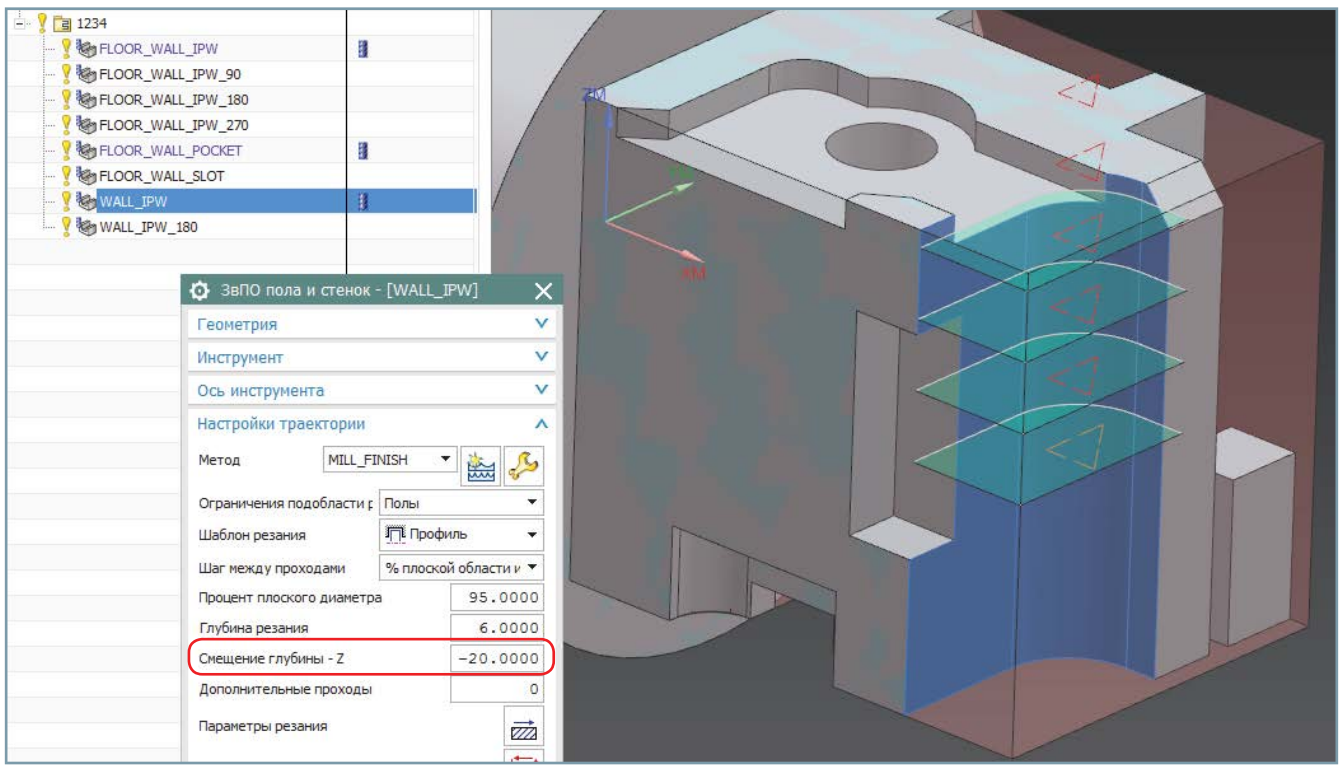


Рис. 13.19. Вариант обработки части стенки, если дно не задано

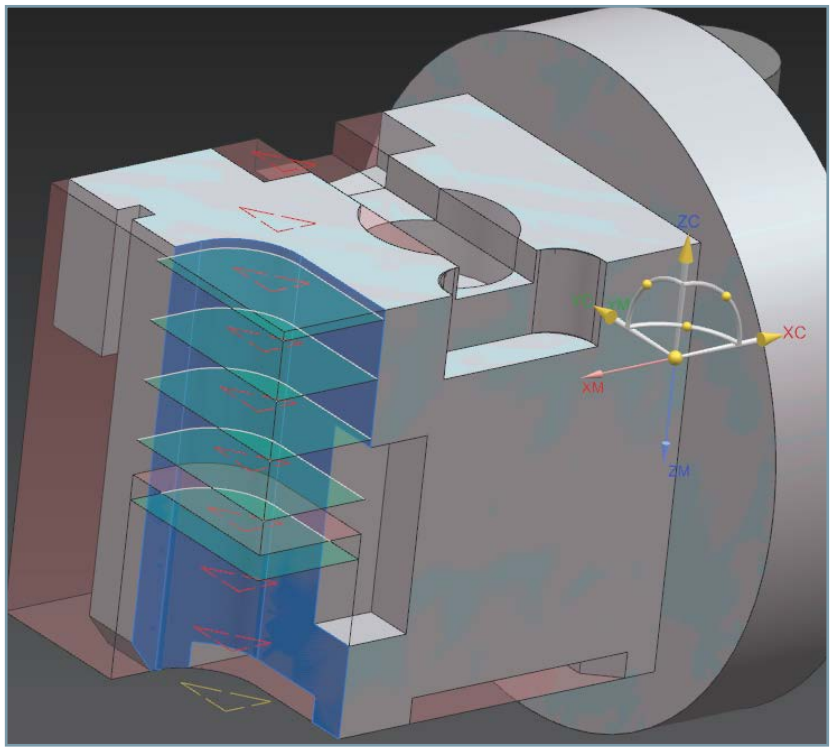


Рис. 13.20. Доработка оставшейся части стенки с обратной стороны

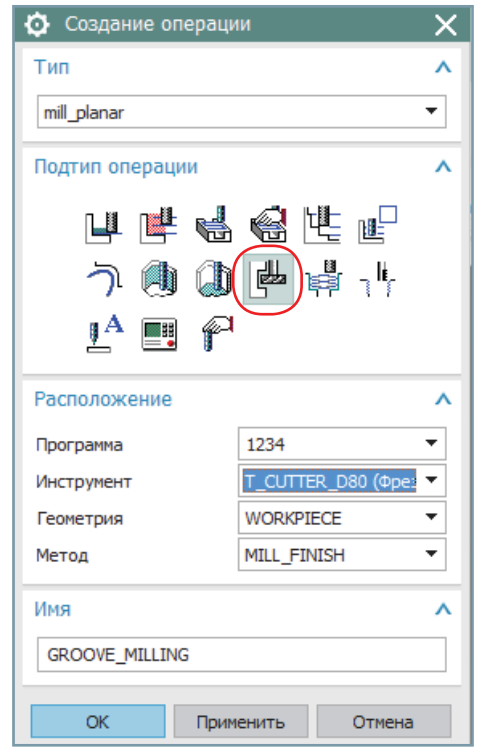


Рис. 13.21. Расположение операции GROOVE_MILLING

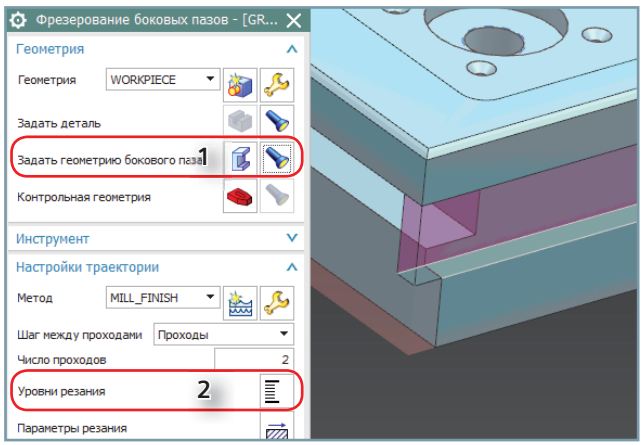


Рис. 13.22. Диалоговое окно операции GROOVE_MILLING

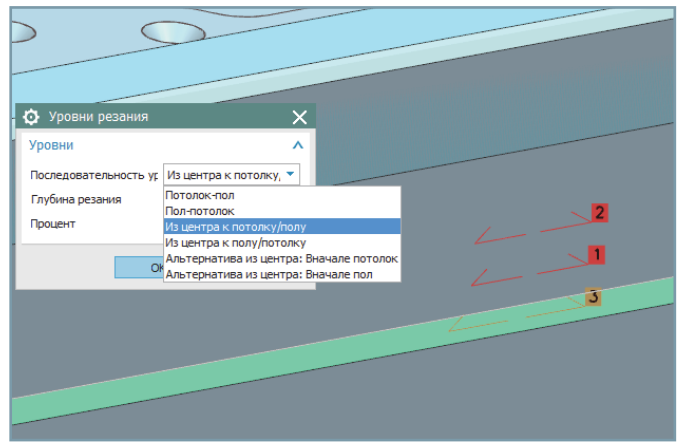


Рис. 13.23. Варианты задания уровней резания в операции GROOVE_MILLING

Операция общего перемещения (GENERIC_MOTION)

Эта операция не похожа на те, что мы изучали ранее. Она позволяет создавать траекторию на основе элементарных движений или подопераций. Последовательность позиций инструмента указывается явно, при этом доступны все возможности меню **Точка** и привязки. В каждой позиции можно задать ось инструмента, тип движения и другие параметры. Операция предназначена в основном для перепозиционирования и переориентации инструмента между операциями резания. Однако может использоваться и для создания траекторий резания.
Команда операции находится в группах Mill_multi-axis (рис. 13.27) и Probing. Но эта операция не требует лицензии на 5-осевую обработку.

- Продолжим работать с примером side_slot_setup_1.prt.
- Надо обработать фаски. Создайте операцию GENERIC_MOTION, новое диалоговое окно появится (рис. 13.28).

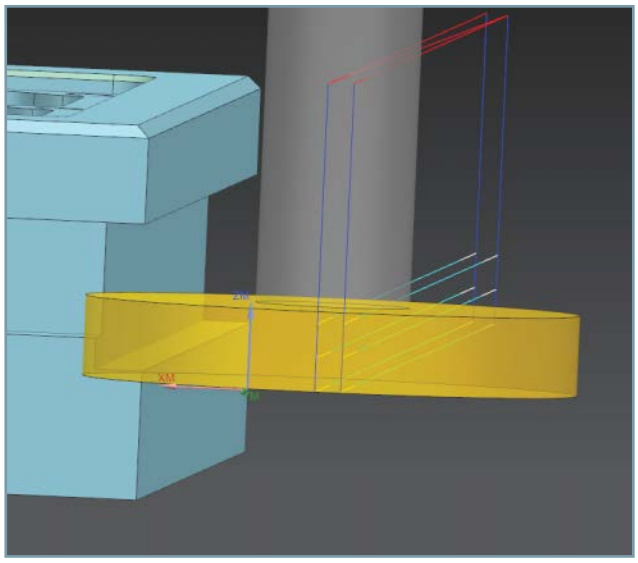


Рис. 13.24. Результат операции GROOVE_MILLING

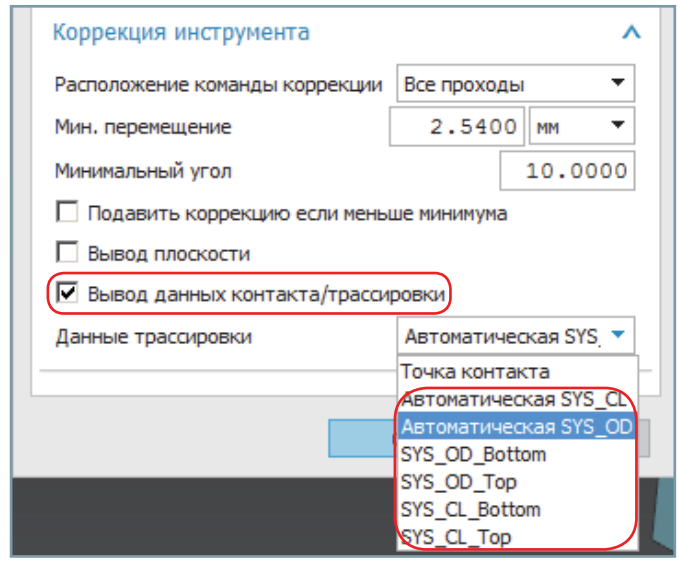


Рис. 13.25. Варианты задания точек трассировки в операции GROOVE_MILLING

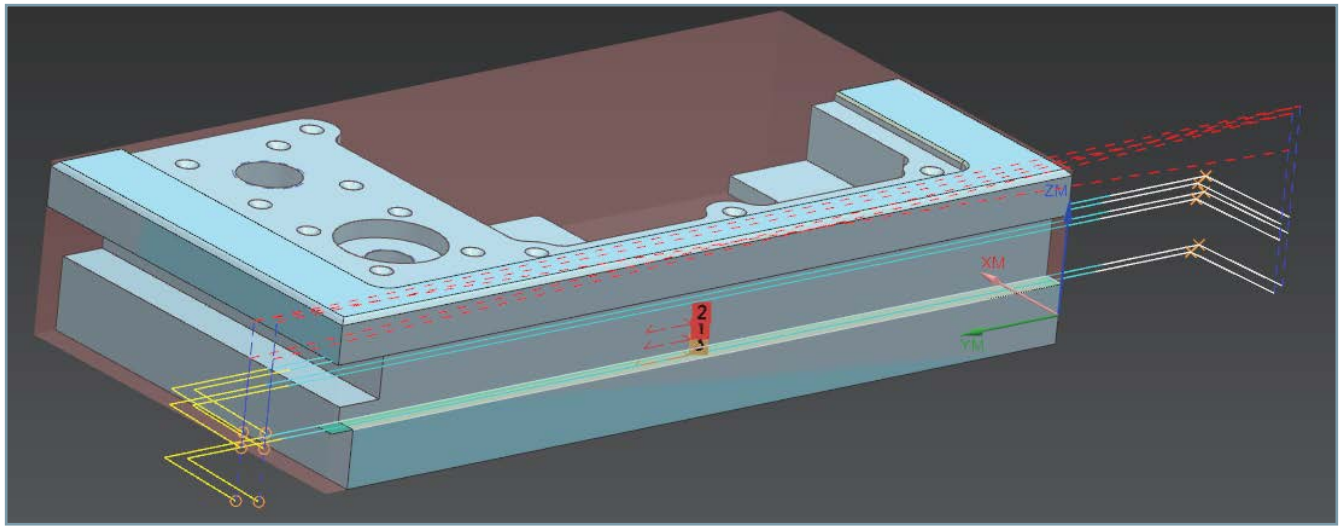


Рис. 13.26. Результат операции GROOVE_MILLING с автоматической сменой точки трассировки

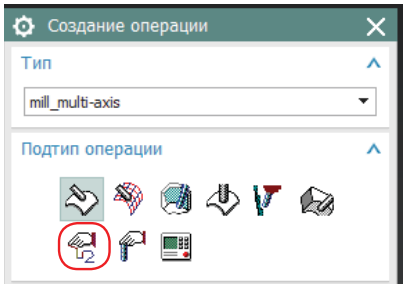


Рис. 13.27. Расположение операции GENERIC_MOTION

Основное диалоговое окно операции содержит команду создания подопераций (1), при ее выполнении появится еще одно диалоговое окно, позволяющее выбрать способ задания перемещения (2) и тип перемещения (3). После создания подопераций они сохраняются в списке (4), для подопераций из списка станут доступны команды редактирования (5), а также инструменты анимации/верификации (6).

- Выполните команду **Добавить новую подоперацию** (1), в новом диалоговом окне выберите тип перемещения **Перемещение в точку с заданной осью инструмента**.

Этот тип перемещения (способ задания перемещения) работает с динамическими маркерами, поэтому весь пример будет построен на этом типе перемещения. Диалоговое окно изменится (рис. 13.29), а в графической области будут показаны инструмент и динамические маркеры для его позиционирования и ориентации. Для позиционирования и ориентации используются стандартные меню точки (1) и вектора (2).
Далее нам надо манипулировать маркерами.

- Установите инструмент с привязкой в указанную точку (рис. 13.30 слева), потяните за маркер оси Z вверх – это первое положение инструмента (рис. 13.30 справа).
- Задайте **Тип перемещения – Ускоренная** (3) и нажмите **ОК**.

В основном диалоговом окне операции будет отображена созданная подоперация – Rotary_Point_Vector_Move (4 на рис. 13.31), далее в кавычках указано имя подоперации. По умолчанию имя совпадает с типом, но его можно поменять в диалоговом окне подоперации – **Имя подоперации** (5). Если подоперация выбрана, то доступны команды ее редактирования (6).
Дальнейшую последовательность манипуляций опишем в виде таблицы (табл. 13.3).

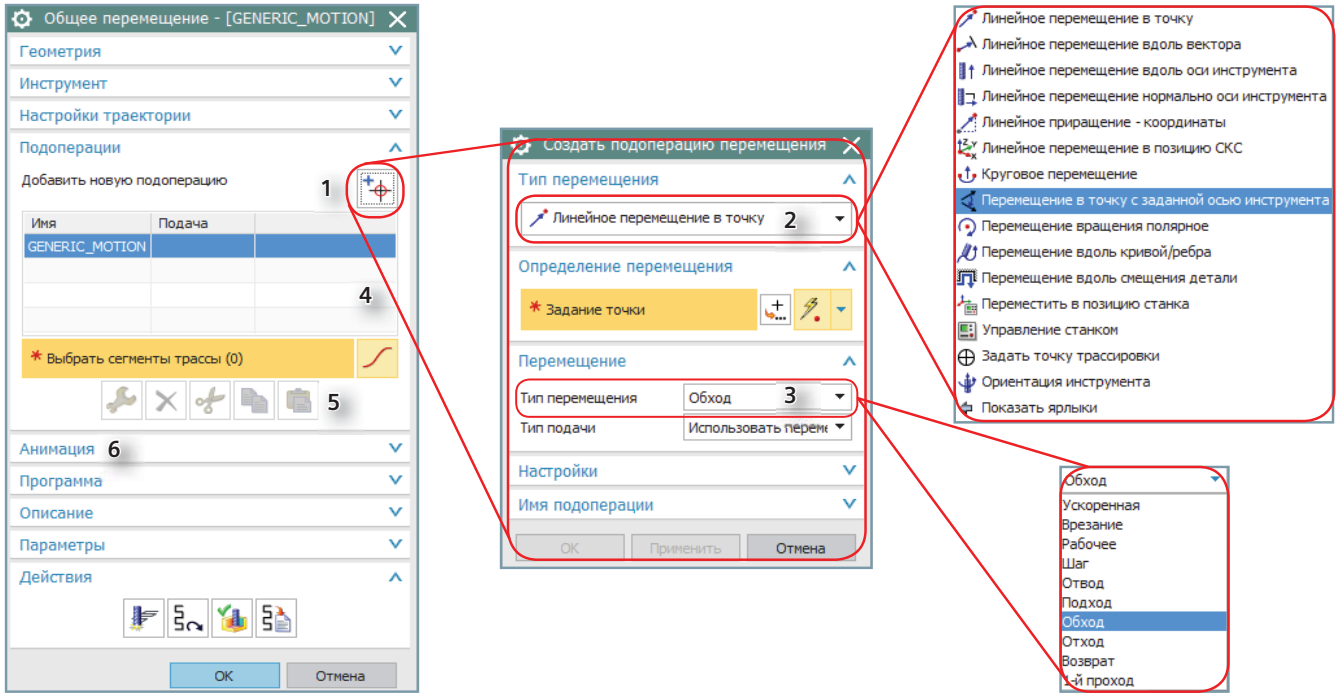


Рис. 13.28. Диалоговое окно операции GENERIC_MOTION

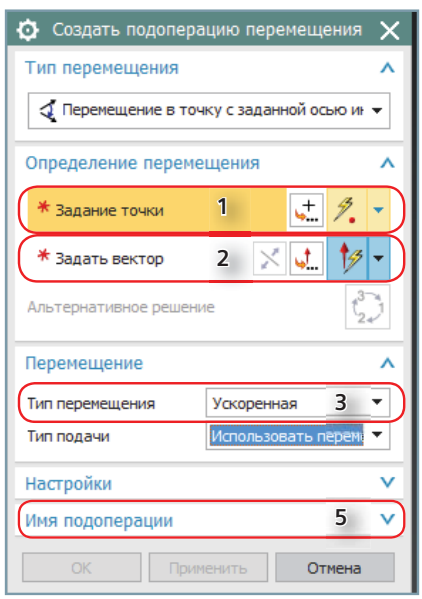


Рис. 13.29. Диалоговое окно подоперации перемещения в точку с заданной осью инструмента

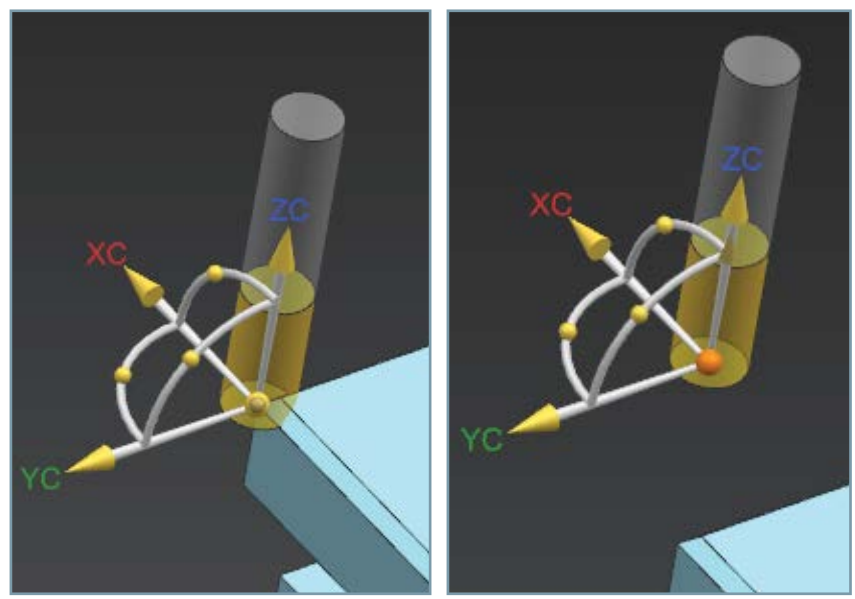
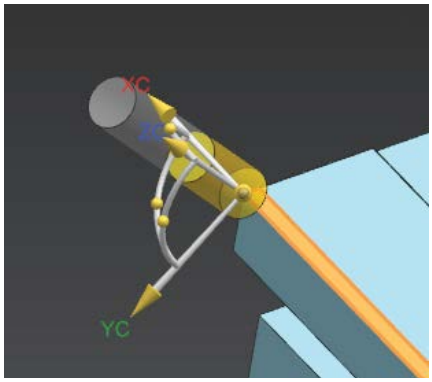
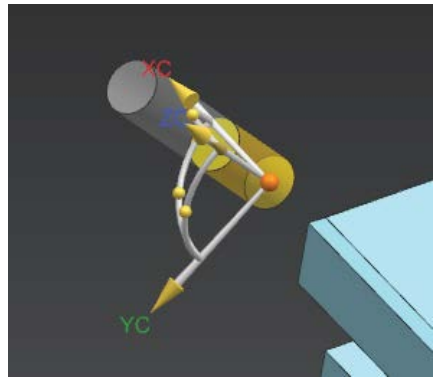
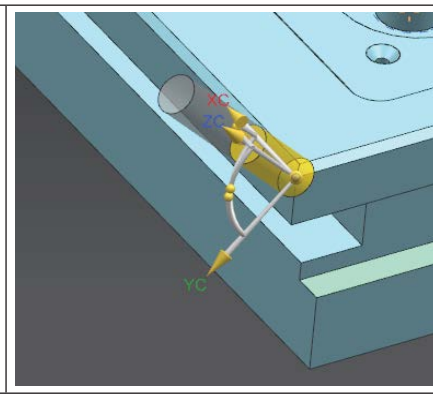
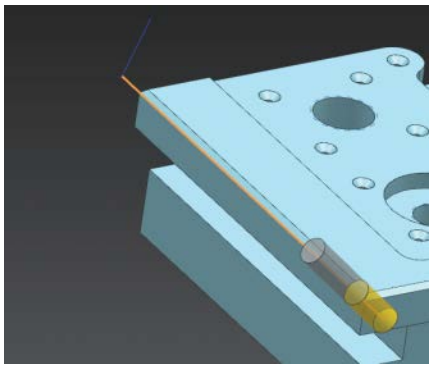
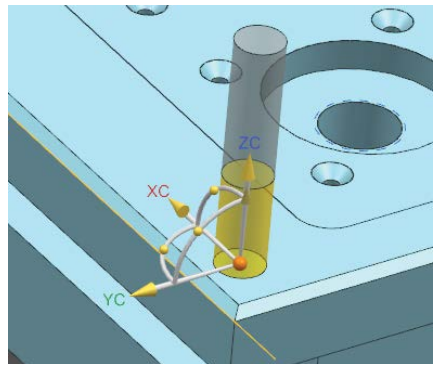
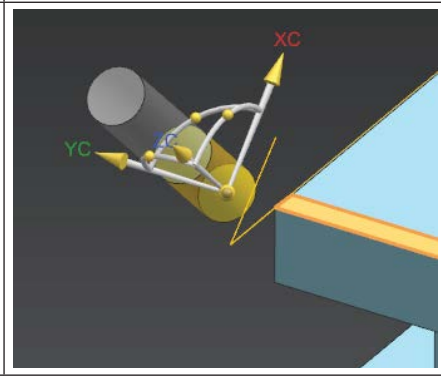
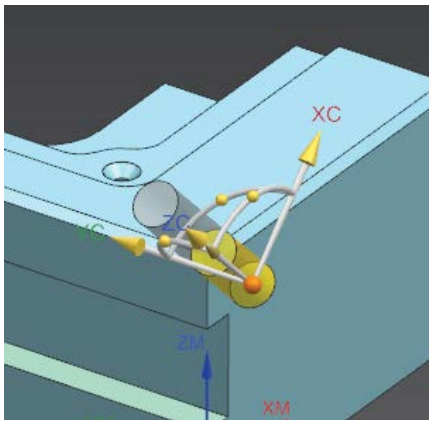
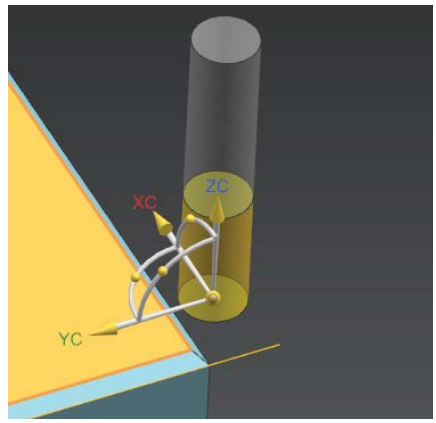
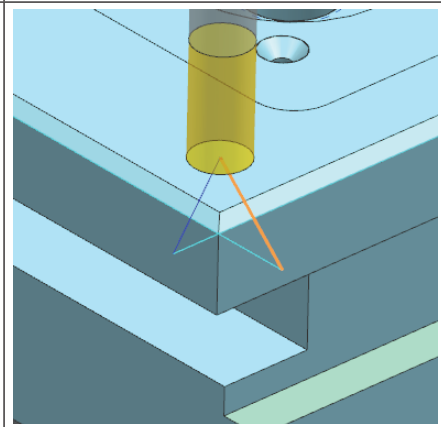


Рис. 13.30. Использование динамических маркеров для позиционирования инструмента

Таблица 13.3

		
● Добавьте новую подоперацию, тип тот же. ● Задайте точку в начале фаски и вектор перпендикулярно грани фаски	● Переместите инструмент по X, потянув за маркер оси X (для обеспечения опускания вне материала). ● Задайте тип перемещения – Обход и нажмите **OK**	● Добавьте новую подоперацию, тип тот же. ● Задайте точку и вектор, как показано
		
● Переместите инструмент по X, потянув за маркер оси X. ● Задайте тип перемещения – Рабочая и нажмите **OK**. ● Рабочий ход вдоль фаски создан	● Добавьте новую подоперацию, тип тот же. ● Задайте точку и вектор, как показано (над деталью для безопасной переориентации). ● Задайте тип перемещения – Обход и нажмите **OK**	● Добавьте новую подоперацию, тип тот же. ● Задайте точку в начале второй фаски и вектор перпендикулярно грани фаски. ● Сместите инструмент по **Y**. ● Задайте тип перемещения – Обход и нажмите **OK**
		
● Добавьте новую подоперацию, тип тот же. Задайте точку и вектор, как показано. ● Задайте тип перемещения – Рабочая и нажмите ОК. ● Рабочий ход вдоль второй фаски создан	● Добавьте новую подоперацию, тип тот же. ● Задайте точку и вектор, как показано (над деталью для безопасного отвода). ● Задайте тип перемещения – Обход и нажмите **OK**	● Обратите внимание, что между обработкой первой и второй фасок инструмент отводится вверх для переориентации в безопасном месте

Диалоговое окно операции примет вид как на рис. 13.32. При необходимости можно вставить промежуточную подоперацию. Она будет добавлена после выбранной подоперации. Возможно редактирование подопераций (кнопка с ключиком (1) для вызова диалогового окна подоперации). Можно переставлять операции, используя кнопки **Вырезать**/**Копировать**/**Вставить** (2). Конечно, можно и удалить подоперацию.

- Выберите первую подоперацию и выполните анимацию (3).
- Управление анимацией аналогично верификации обычных операций.
- Нажмите **Генерировать** и **ОК**, чтобы закончить операцию.

Мы выполнили обработку фасок торцом фрезы. Можно выполнить эту обработку боковой стороной, используя такую же операцию.

- Создайте новую операцию GENERIC_MOTION, первую подоперацию создайте аналогично предыдущей.
- При создании второй подоперации установите инструмент как на рис. 13.33.
- Для задания наклона оси инструмента используйте маркеры поворота.

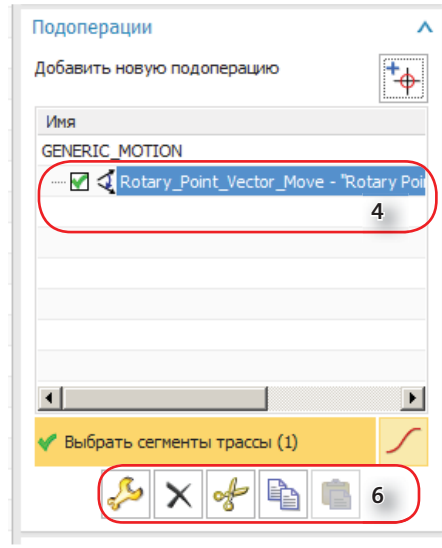


Рис. 13.31. На данный момент операция содержит одну подоперацию

При таком позиционировании становится активной команда **Альтернативное решение** (4 на рис. 13.34). Она обеспечивает позиционирование или в точку, или касательно (если возможно несколько касательных позиций, то они перебираются последовательно).
Дальнейшие действия опишем в виде таблицы (табл. 13.4).

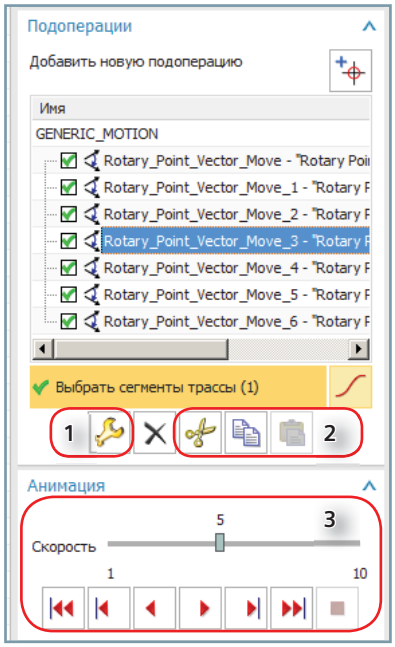


Рис. 13.32. Все подоперации для обработки двух фасок созданы

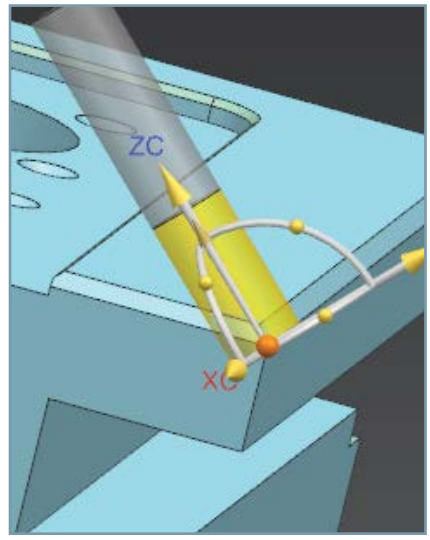


Рис. 13.33. Позиционирование инструмента для обработки фаски боковой стороной

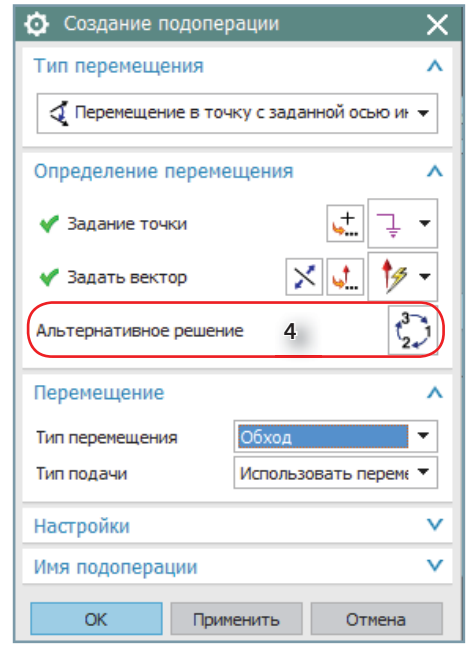
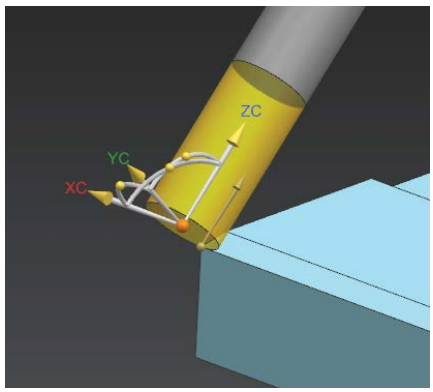
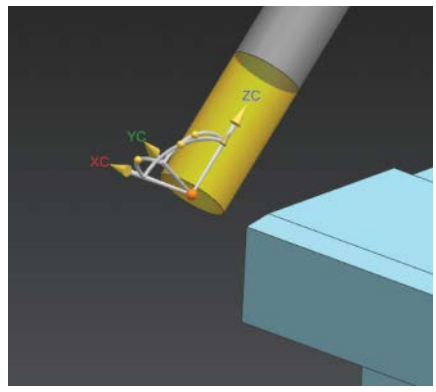
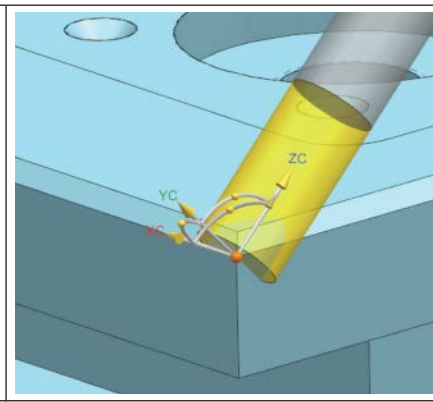
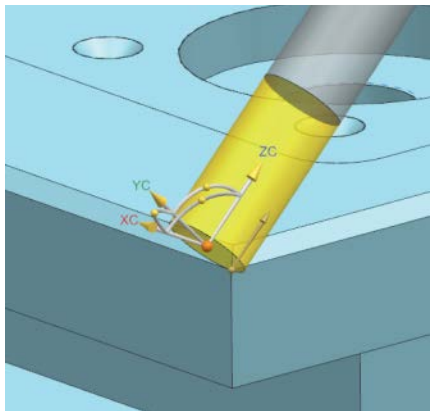
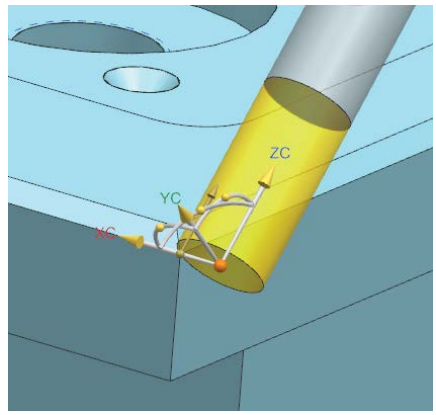
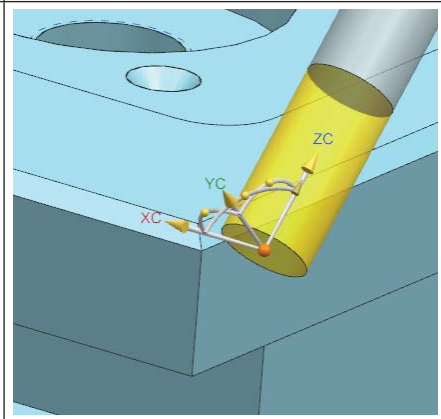


Рис. 13.34. При наличии нескольких вариантов позиционирования инструмента доступна команда Альтернативное решение

- Выполните анимацию.
- Результат показан на рис. 13.35, в процессе анимации подсвечивается текущая подоперация (1).
- Нажмите **Генерировать** и **ОК**, чтобы закончить операцию.

Рассмотрим еще одно применение операции. Операция GENERIC_MOTION может применяться для сложных перемещений между операциями резания. Это может понадобиться при использовании длинных инструментальных оправок и ограниченном ходе станка по оси Z, для обхода сложной оснастки, при применении угловых головок и др. Пример

Таблица 13.4

		
● Выполните команду **Альтернативное решение** для обеспечения касательной к фаске позиции инструмента	● Переместите инструмент по X. Задайте тип перемещения – Обход и нажмите **OK**	● Добавьте новую подоперацию, тип тот же. ● Задайте точку и вектор, как показано
		
● Выполните команду **Альтернативное решение** для обеспечения касательной к фаске позиции инструмента	● Повторное выполнение команды **Альтернативное решение** дает касательность к вертикальной стенке (выполнять не надо)	● Переместите инструмент по X. Задайте тип перемещения – Рабочая и нажмите **OK**. ● Рабочий ход вдоль фаски создан

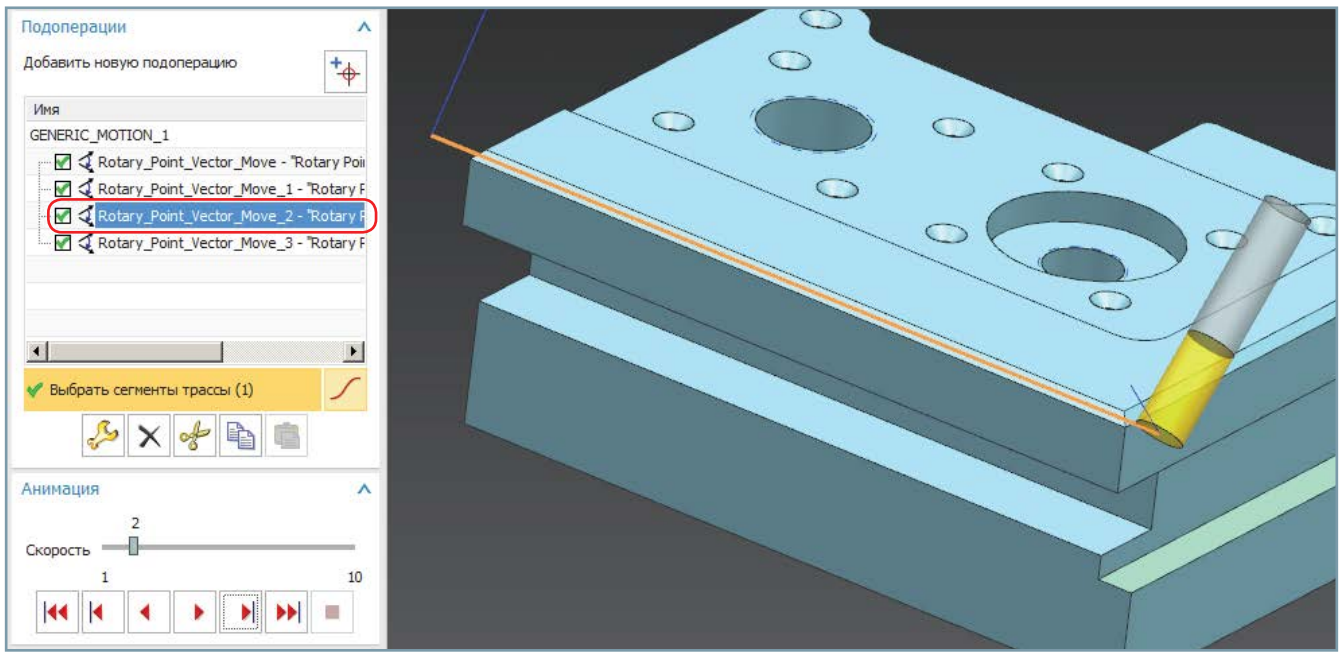


Рис. 13.35. Подсветка текущей подоперации при анимации всей операции

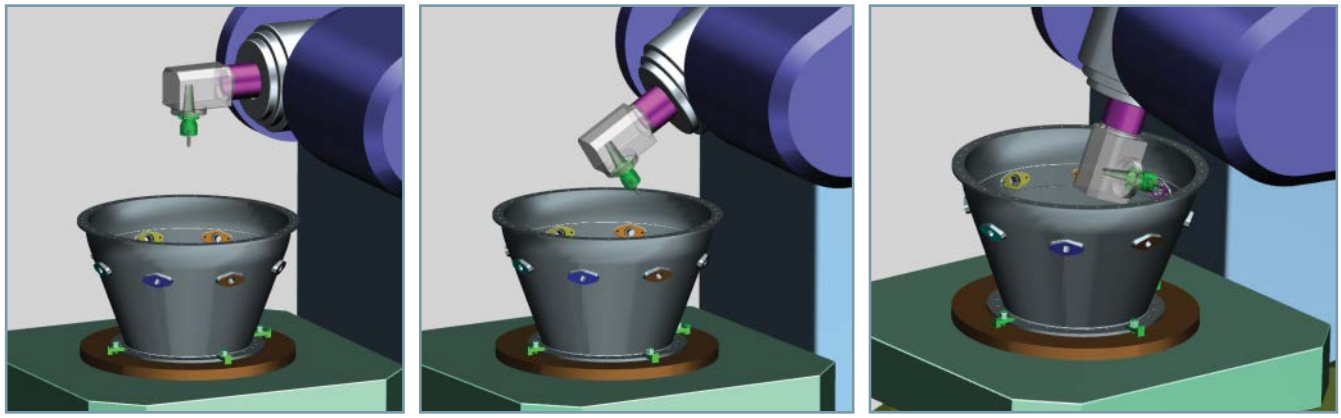


Рис. 13.36. Применение операции GENERIC_MOTION для сложного позиционирования

показан на рис. 13.36. Предполагаем, что станку не хватает хода по Z, чтобы позиционировать угловую головку вертикально над деталью, поэтому угловая головка позиционируется горизонтально и вводится внутрь разворотом.
Сама операция GENERIC_MOTION (1 на рис. 13.37) в случае такого применения не содержит движений резания и располагается между операциями резания. Вывод на постпроцессор в этом случае должен выполняться для программной группы SINGLE_NC (2), содержащей три операции.

Рис. 13.37. Операция GENERIC_MOTION расположена между операциями резания и служит для перепозиционирования инструмента

Глава 14

Измерительные операции (PROBING)

Содержание главы

- Измерение точки
- Использование результатов измерения
- Измерение цилиндра

Измерительные операции (PROBING)

Операция позволяет добавить в УП команды управления измерительным щупом. Измерительные операции поддерживаются при симуляции движений щупа с контролем столкновений.
Операция может служить основой для реализации различных схем адаптивной обработки. Главное достоинство в том, что по результатам измерения можно автоматически скорректировать процесс обработки, не снимая детали со станка.
Примеры решаемых задач:

1) присутствие детали на станке;
2) идентификация детали;
3) установка нулевой точки, исходя из фактического положения детали;
4) установка нулевой точки для перераспределения припуска на заготовке;
5) измерение детали, изменение величины коррекции инструмента и повторная обработка;
6) контроль инструмента.

В NX измерительные операции собраны как тип Probing (рис. 14.1). Всего их 4:

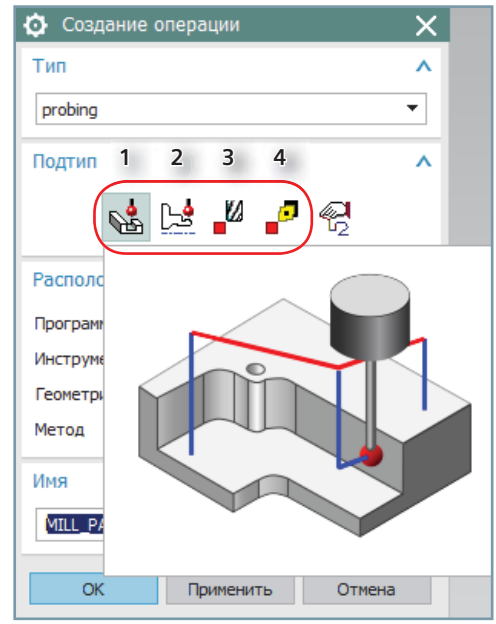


Рис. 14.1. Расположение операций измерения PROBING

1) операция измерения фрезерной детали – MILL_PART_PROBING;
2) операция измерения токарной детали – TURN_PART_PROBING;
3) операция измерения фрезерного инструмента – MILL_TOOL_PROBING;
4) операция измерения токарного инструмента – TURN_TOOL_PROBING.

Здесь же присутствует GENERIC_MOTION как родственная операция. Операция PROBING построена на основе операции GENERIC_MOTION и поэтому имеет аналогичный интерфейс.
В этой главе рассмотрим только операцию MILL_PART_PROBING.

Измерение точки

- Откройте пример probe_mill_setup1.prt. В примере имеются две измерительные операции.
- Откройте диалоговое окно операции PROBE_BLANK (рис. 14.2).

Операция состоит из подопераций. Если выбрать подоперацию, то инструмент (в данном случае измерительная головка) позиционируется в позицию, заданную подоперацией. На рисунке выбрана подоперация Probe_point. Это операция измерения точки, одним из параметров ее является направление измерения (подсвечено). Если проанализировать все подоперации, то можно выяснить, что здесь выполняются измерения 3 точек (по одной точке для X-, Y- и Z-направления). Между подоперациями измерения точек вставлены подоперации перемещения в новую позицию. Задачей этой операции в целом служит определение положения угла заготовки, по координатам которого можно скорректировать нулевую точку программы перед началом обработки.

- Выполните верификацию операции для наглядности.

Формат измерительных циклов сильно отличается для различных станков и систем ЧПУ. Унификация здесь минимальна. В стандартной поставке NX имеются 2 постпроцессора, для систем ЧПУ Sinumerik и Fanuc, в которых установлено программное обеспечение Renishaw Inspection Plus. Этот формат выбран потому, что это программное обеспечение унифицирует набор параметров для измерения и для работы с измеренными данными. Разбираться с параметрами операции проще, если мы видим формат УП для измерения. Документация на Renishaw Inspection Plus чаще использует формат системы Fanuc, поэтому будем использовать его и мы в книге.
В списке по умолчанию постпроцессоры для вывода измерительных операций не подключены.

- Добавьте постпроцессор probing_cycles_fanuc.pui в список (как это сделать, см. главу 7).
- Выполните постпроцессирование операции, используя единицы вывода – миллиметры. Текст УП показан на рис. 14.3.

- В данном случае каждая подоперация выводится отдельным кадром, но это необязательно и определяется постпроцессором.

В нашем примере всего 2 типа подопераций: **Линейное перемещение в точку** (Linear_move_to_point) и **Измерение точки** (Probe_point). Но в зависимости от типа движения в подоперации **Линейное перемещение в точку** в УП выводится или обычное движение (кадр 10 на рис. 14.3), или так называемое защищенное (код G65 P9810 в кадре 20 на рис. 14.3). При выполнении защищенного движения система ЧПУ остановит движение при любом столкновении щупа с препятствием. Тип **Ускоренное** дает простое перемещение, тип **Обход** – защищенное. Обычно движения щупа вблизи детали принято выполнять защищенными. Операция измерения точки выводится как цикл P9811 (кадр 30 на рис. 14.3). В этом же кадре указываются направление измерения и конечная координата. В цикле возможны дополнительные параметры, в данном случае команда S02 присваивает измеренное значение координате X нулевой точки 2 (то есть G55).

- Откройте диалоговое окно подоперации Probe_point (рис. 14.4).

Разберем подробнее параметры подоперации. При задании точки (1) направление измерения (2) определяется автоматически. Припуск на детали (3) добавляется к измеряемой грани. Безопасное расстояние (4) определяет расстояние,

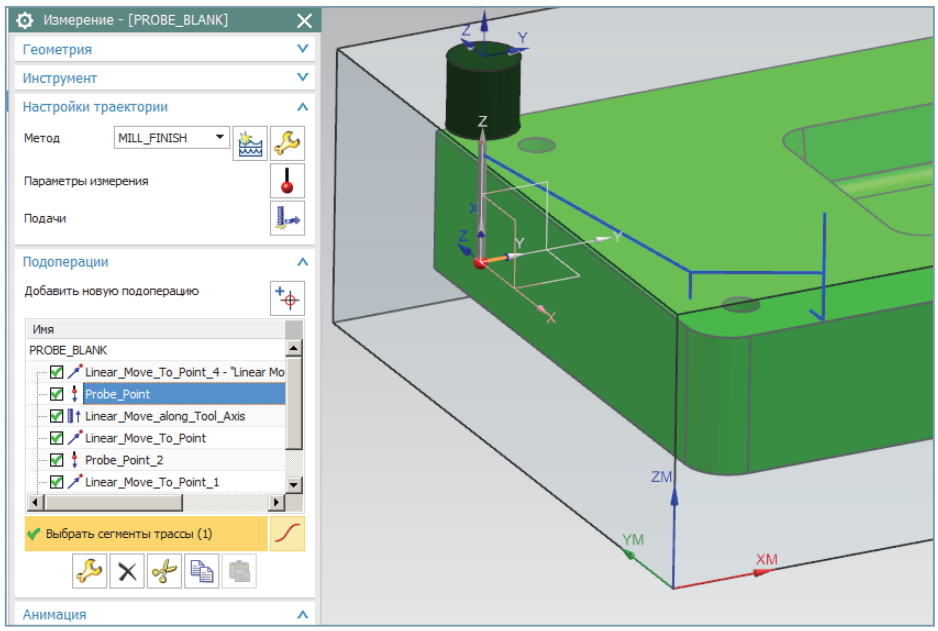


Рис. 14.2. Пример операции измерения для программной привязки в угол заготовки (включая диалоговое окно операции)

```
N0010 X-10. Y127. Z121.6
N0020 G65 P9810 X-10. Y126.489 Z73.7948 F400. M00
N0030 P9811 X0.0 S02
N0040 G65 P9810 X-10. Y126.489 Z113.7948 F400. M00
N0050 G65 P9810 X10. Y10. Z111.6 F400. M00
N0060 P9811 Z101.6 S02
N0070 G65 P9810 X50.8 Y-10. Z111.6 F400. M00
N0080 G65 P9810 X50.8 Y-10. Z93.98 F400. M00
N0090 P9811 Y0.0 S02
N0100 G65 P9810 X50.8 Y-10. Z133.98 F400. M00
```

Рис. 14.3. Текст УП с выводом измерительных циклов измерения точки

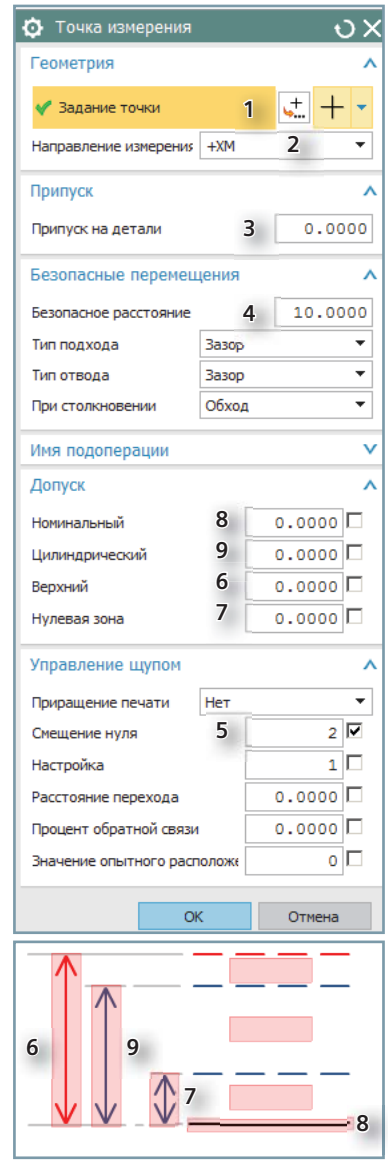


Рис. 14.4. Диалоговое окно подоперации измерения точки (Probe_point)

откуда начинается движение измерения, оно может выводиться как параметр цикла. Номер нулевой точки (5) задан параметром **Смещение нуля**. Если он требуется, то он должен быть активирован (галочка рядом с параметром). Значения допусков определяют реакцию на результат измерения. Превышение самого большого допуска – **Верхний** (6) – вызывает остановку операции измерения с сообщением об ошибке. Результат ниже нулевой зоны (7) запрещает обновление данных регистра смещения. Есть еще номинальный (8) и цилиндрический (9) допуски и промежуточные состояния, подробный разбор их в задачу книги не входит, смотрите документацию на измерительные циклы.
Возможные подоперации в операции измерения показаны на рис. 14.5. Имеются три операции калибровки (1). Обычно они используются до операций измерения для определения погрешностей установки датчика в шпиндель, погрешностей установки щупа в датчик и т. д., служат для обеспечения требуемой точности и выполняются однажды, например после смены инструмента. В нашем примере есть одна операция калибровки по сфере, которая обеспечивает вывод цикла P9804.
Операция **Измерения точки** (2) предназначена для измерений вдоль координатных осей. Большинство контактных датчиков предназначено именно для таких измерений. Однако имеются специальные датчики, например MP700, которые могут выполнять измерения в любом направлении. В этом случае можно использовать операцию **Измерение точки поверхности** (3), измерение будет проводиться по нормали в указанной точке. Операцию **Измерения цилиндра** (4) разберем позже. Операция **Плоскость безопасности** (5) позволяет устанавливать новое значение плоскости безопасности для последующих операций измерения, которое будет действовать до следующей подоперации этого типа. Остальные подоперации нам знакомы из раздела, посвященного операции GENERIC_MOTION.

Использование результатов измерения

Использование цикла P9811 с параметром S для корректировки нулевой точки мы рассмотрели в предыдущем параграфе.
Возможно использование параметра T в этом цикле для коррекции инструмента с заданным номером. Например, измерение с использованием кадра

P9811 Z40 T10

может выполняться после фрезерования плоскости, расположенной на уровне Z40 (номинальный размер), по результатам измерения будет обновлен корректор на длину инструмента с номером 10. После этого можно повторить обработку для получения более точного фактического размера.

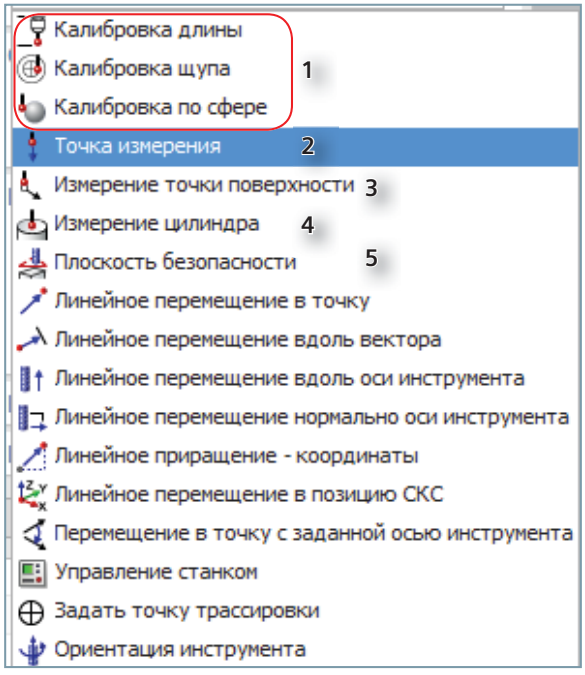


Рис. 14.5. Возможные подоперации в операции измерения

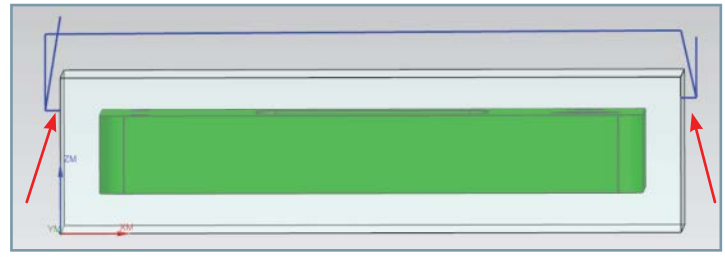


Рис. 14.6. Пример операции измерения для установки СК в плоскость симметрии детали

```
N0010 X0.0 Y20. Z141.6
N0020 G65 P9810 X-10. Y21.6447 Z79.9808 F400. M00
N0030 P9811 X0.0
#611=#135
N0040 G65 P9810 X-10. Y21.6447 Z129.9808 F400. M00
N0050 G65 P9810 X406.4 Y20. Z131.6 F400. M00
N0060 G65 P9810 X416.4 Y21.3168 Z87.547 F400. M00
N0070 P9811 X406.4
#612=#135
N0080 G65 P9810 X416.4 Y21.3168 Z127.547 F400. M00
#2501=[#612-#611]/2
```

Рис. 14.7. Текст УП с использованием измерительных циклов и станочных параметров

Циклы измерения используют параметры системы ЧПУ для сохранения измеренных данных. Так, цикл P9811 сохраняет измеренное значение по X в параметре #135 (может отличаться на конкретном станке). Также полагаем, из документации известно, что рабочее смещение G54 по X – это параметр #2501. Если мы хотим установить нулевую точку 1 (G54) по X посередине между измеренными гранями (пример операции измерения показан на рис. 14.6, точки измерения показаны стрелками), мы не можем использовать параметры цикла, так как нет такого готового параметра. Но программа, показанная на рис. 14.7, делает это. Параметры #611 и #612 – пользовательские, надо быть уверенным, что они системой ЧПУ не используются.

Обратите внимание, что для задач привязки мы измеряем заготовку, а не деталь (для наглядности заготовка в этом примере имеет большие припуски относительно детали).

Строки, дописанные красным, стандартным постпроцессором не выводятся. Они и не могут выводиться, так как решают специфическую задачу. Для автоматического вывода таких кадров надо формализовать логику обработки измеренных данных, сформировать специфические шаблоны операций, дописать события пользователя, которые будут передавать эту логику постпроцессору. Этот пример показывает, что операции измерения являются кубиками при реализации конкретных задач, например задач адаптивной обработки.

Измерение цилиндра

Рассмотрим цикл измерения отверстия.

- Скройте заготовку как компонент сборки.
- Создайте новую операцию MILL_PART_PROBING.
- Операция будет состоять из трех подопераций: линейное перемещение в точку, измерение цилиндра и линейное перемещение вдоль оси инструмента.
- При создании первой подоперации привязывайтесь к центру отверстия (1 на рис. 14.8) и задавайте смещение по Z (2).
- Это создает ассоциативную точку, связанную с отверстием (точка, введенная координатами, является неассоциативной).
- Добавьте подоперацию **Измерение цилиндра** (рис. 14.9).
- В диалоговом окне подоперации укажите цилиндрическую грань (3), цикл автоматически принимает значение внутренняя (4).

Глубина измерения (5) задана средней точкой (относительно высоты цилиндрической грани) и не требует явного задания, **Углы** (6) заданы автоматически и обеспечивают 4 точки измерения в направлении координатных осей. Эти параметры можно задать и явно.

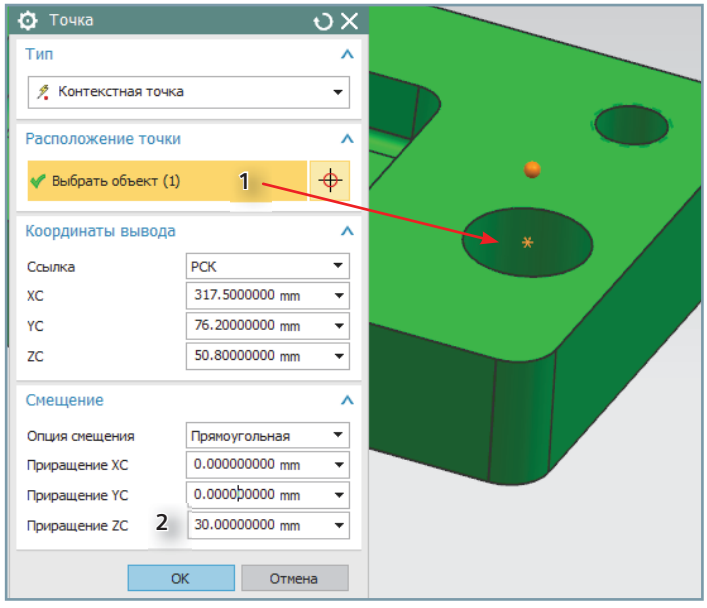


Рис. 14.8. Задание точки с привязкой к отверстию при измерении цилиндра

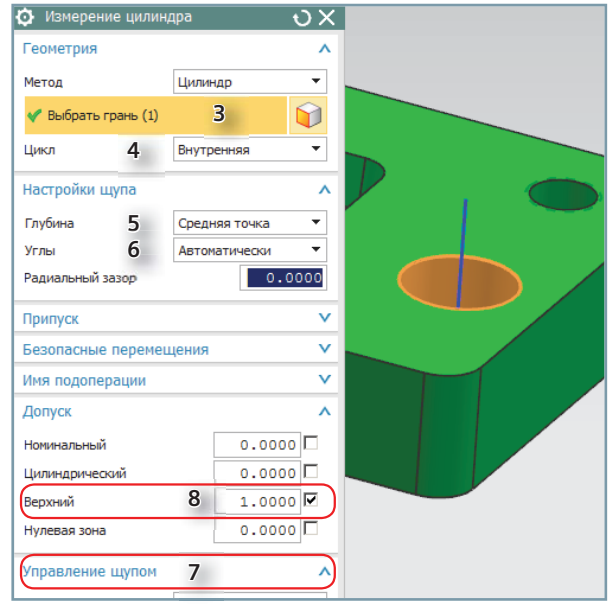


Рис. 14.9. Диалоговое окно подоперации измерения цилиндра

Параметры **Управление щупом** (7) в этой подоперации аналогичны подоперации измерения точки. Также можно задать корректировку нулевой точки или коррекции инструмента. Здесь мы зададим **Верхний допуск** (8) и активируем его использование.

```
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
```

Рис. 14.10. Текст УП с выводом измерительных циклов измерения цилиндра

- Задайте **Верхний допуск** 1 мм и установите галочку как признак его использования.
- Завершите подоперацию.
- Создайте подоперацию **Линейное перемещение** вдоль оси инструмента.

Преимуществом подоперации этого типа является то, что не требуется указание точки, инструмент от текущей позиции перемещается по оси инструмента на заданное расстояние.

- Сгенерируйте операцию и выполните ее постпроцессирование (рис. 14.10).

Подоперация измерения цилиндра в УП выводится двумя кадрами: опускание щупа в отверстие задано отдельным кадром как защищенное движение и цикл P9814, в нем явно указаны диаметр измеряемого отверстия (D45.72) и значение допуска (U1).
Если отверстие будет отсутствовать, то останов произойдет на кадре 30, так как щуп, не достигнув конечного положения, встретит препятствие. Если отверстие есть, но его размер меньше (припуск на стенке более 1 мм), то останов произойдет на кадре 40. Использование допусков рассматривалось выше (при описании рис. 14.4). Если измерение прошло успешно, то можно переходить к следующей операции (например, к операции нарезания резьбы в этом отверстии).

Глава 15

Симуляция работы станка

Содержание главы

- Подключение модели станка
- Использование примеров из стандартной поставки
- Симуляция внешнего файла
- Навигатор станка
- Репроцессор

Симуляция работы станка

Симуляция движения узлов станка в NX интегрирована с постпроцессором и осуществляется в кодах станка (G-кодах), что позволяет избежать процесса отладки программ на станке и освободить станок для производительной работы.

Подключение модели станка

Очень часто программирование фрезерных операций ведется без привязки к конкретному станку. Это позволяет легко переносить управляющие программы с одного станка на другой. Для проверки программ необходимо подключить кинематическую модель станка.
Рассмотрим симуляцию работы станка на базе примера fl1_setup_1.prt из главы 13.

- Откройте fl1_setup_1.prt. Отобразите рабочую систему координат (РСК), в нашем случае она совпадает с СКС.
- Она будет использоваться для установки детали на стол станка.
- Переключитесь на **Вид инструментов Навигатора операций** и, выбрав объект GENERIC_MACHINE, вызовите из контекстного меню команду **Изменить**.
- В новом диалоговом окне (рис. 15.1) выполните команду **Вызвать станок из библиотеки** (1), в диалоговом окне **Выбор класса библиотеки** выберите **MILL** (Фрезерные станки) и снова **ОК**.
- В диалоговом окне **Результаты поиска** выберите станок, как показано на рис. 15.2.

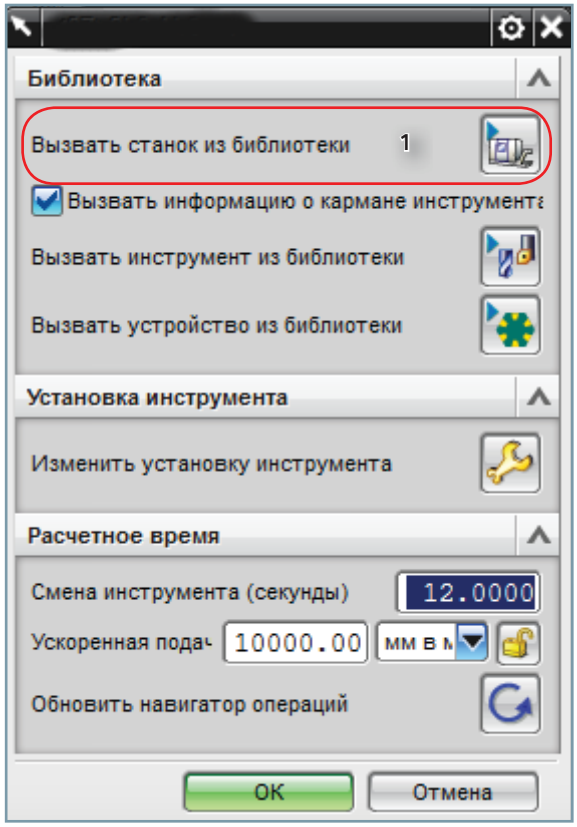


Рис. 15.1. Расположение команды Вызвать станок из библиотеки

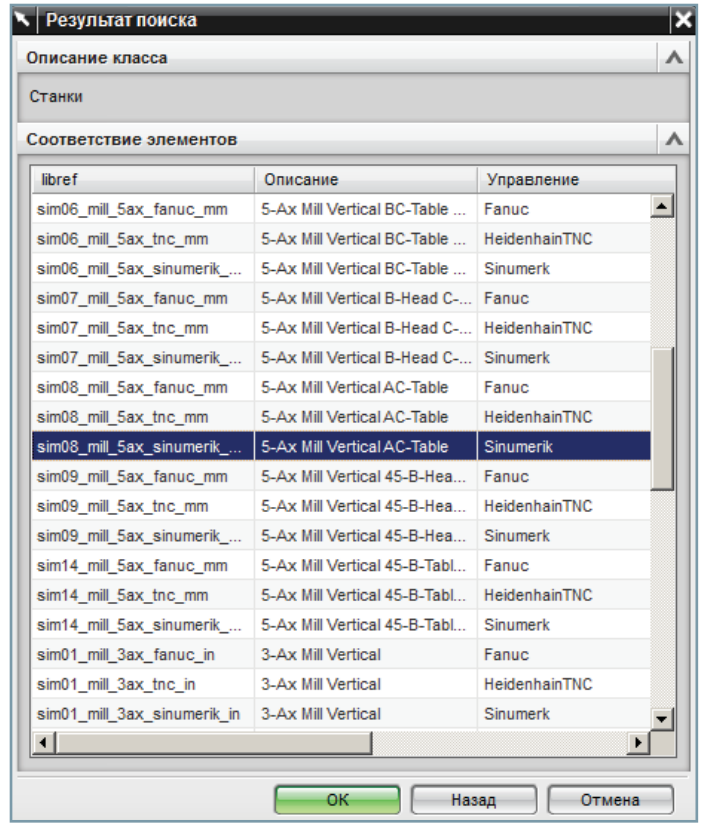


Рис. 15.2. Список доступных фрезерных станков как результат поиска в библиотеке

В библиотеке имеются станки различных кинематических схем. Для каждой кинематической схемы доступны три постпроцессора (или системы ЧПУ – Sinumerik, Fanuc, Heidenhain TNC) для работы в метрической системе и три постпроцессора для работы в дюймовой системе. Выберем sim08_mill_5ax_sinumerik_mm – станок компоновки 8, фрезерный 5-осевой, система ЧПУ Sinumerik, метрическая система.
В колонке **Описание** можно увидеть краткое описание кинематической схемы – 5-осевой вертикально-фрезерный, поворотные оси A и C расположены на столе.

- Нажмите **ОК**. Появится диалоговое окно крепления (позиционирования) детали (рис. 15.3).

Имеются разные способы позиционирования. Рассмотрим только параметр **Использовать точку крепления детали**. При описаниии кинематики станка создается и точка крепления детали (правильнее сказать, система координат крепления). Если у детали создать точку крепления, то эти две системы координат будут совмещены и деталь установится на стол автоматически.

- Задайте параметр **Использовать точку крепления детали** (2), диалоговое окно слегка изменится, и появится пункт **Задать соединение крепления детали**, выполните команду **Меню СК** (3), система координат с динамическими маркерами появится на месте РСК (именно для наглядности она была отображена), можно ее редактировать.
- Активируйте поле **Выбора детали** (4) и выберите деталь.
- Нажмите **ОК**.
- В графической области появится станок с установленной деталью по центру стола (рис. 15.4).
- Еще раз нажмите **ОК** в самом первом диалоговом окне.
- В информационном окне будут отображены сообщения о том, что у нового станка другой магазин инструментов и ячейки магазина пересозданы.
- Просто закройте это окно.

Симуляция в NX может выполняться на основе траектории и на основе кода УП (термин G-код также используется). Симуляция на основе траектории используется, если нет настроенного станка для выявления грубых ошибок. Нас интересует симуляция на основе кода УП, то есть кода, который выдает постпроцессор, и на основе именно этого кода работает станок.

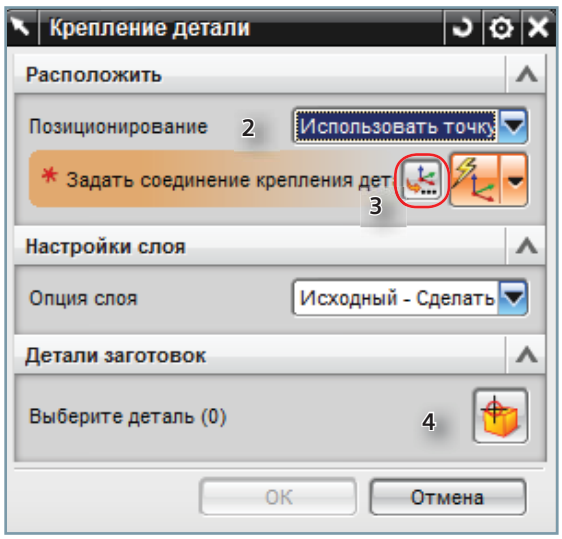


Рис. 15.3. Диалоговое окно крепления (позиционирования) детали

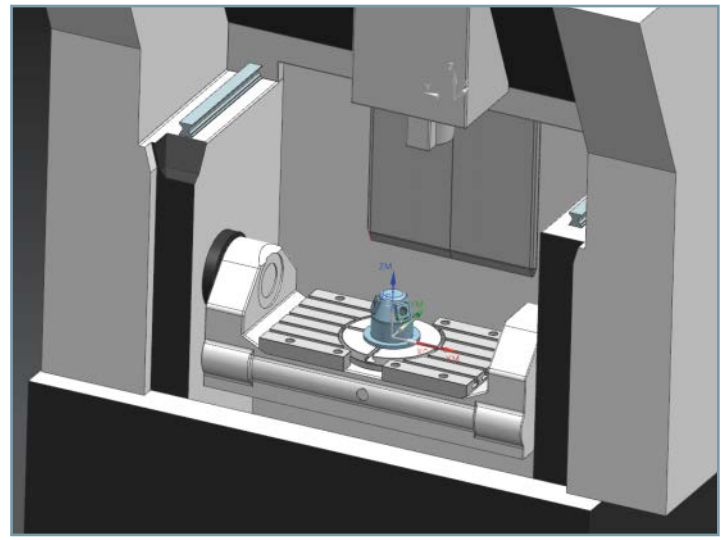


Рис. 15.4. Станок с установленной деталью

В NX 9.0 для симуляции требуется, чтобы главная система координат была размещена в «0» станка. Расположение «0» станка различно для станков различных кинематических схем, для нашего станка «0» станка расположен на торце шпинделя.

- Создайте новую систему координат самого верхнего уровня (рис. 15.5) и расположите ее, как на рис. 15.6, параметр **Назначение** – **Главная**, **Нулевая точка** – **0**.
- В одном проекте не должно быть больше одной главной СКС. Систему координат MCS_MILL отредактируйте так: **Назначение** – **локальная**, **Специальный вывод** – **Нулевая точка**, **Нулевая точка** – **1** (что соответствует G54).
- Ввиду того, что главная СКС должна использоваться постпроцессором для вывода «0» программы и для привязки программы к детали, постпроцессор, который работает совместно с симулятором станка, специально откорректирован, чтобы УП выводить не в главной, а в локальной системе координат, у которой задан специальный вывод – нулевая точка.

Теперь все готово для симуляции траекторий.

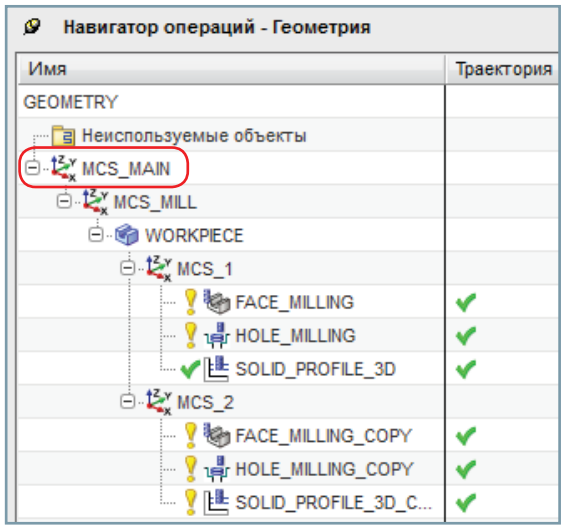


Рис. 15.5. СК верхнего уровня, установленная в «нуле» станка, необходима для правильной работы симуляции

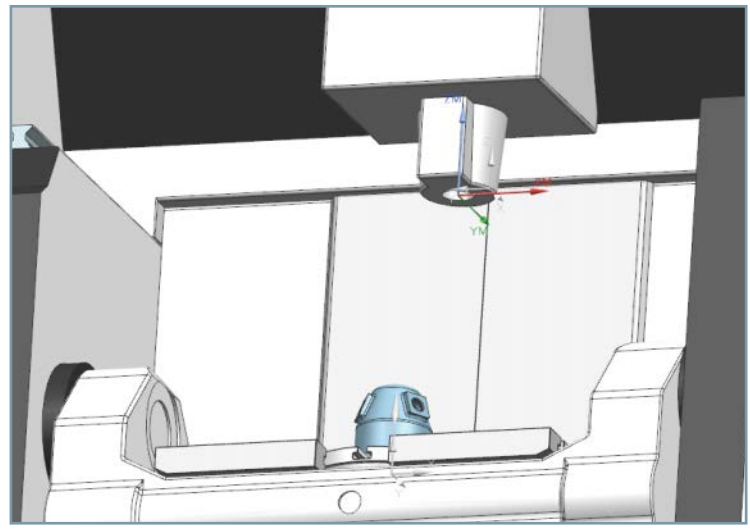


Рис. 15.6. Расположение «нуля» станка для выбранного станка

Симуляция может быть выполнена для одной операции или группы операций. В последнем случае операции выполняются в порядке их расположения на виде программ навигатора операций.

- Переключитесь на **Вид программ Навигатора операций**.
- Создайте группу TEST внутри группы 1234 и перенесите туда обе операции SOLID_PROFILE_3D (рис. 15.7).
- Из контекстного меню группы программ TEST выполните **Траектория** – **Симуляция** (или выполните соответствующую команду в панели инструментов)
- Появится диалоговое окно управления симуляцией (рис. 15.8).
- Переключите режим симуляции на значение **Симуляция машинного кода** (1) и выполните команду **Пуск** в панели управления симуляцией (2).

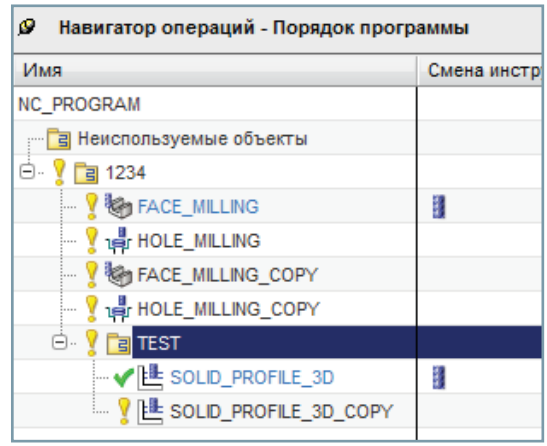


Рис. 15.7. Группа программ TEST подготовлена для симуляции

Эта панель аналогична панели управления верификацией, рассмотренной ранее, поэтому не будем описывать назначение кнопок. Скорость симуляции также можно регулировать. В окне **Программы ЧПУ** (3) отображается текст работающей УП, окна **Состояние** (4) и **Координаты инструмента ABC** (5), где идет индикация текущих координат, режимов обработки, времени и др. В **Навигаторе операций** имя выполняемой операции отображается красным цветом. По окончании симуляции станет активна команда вывода УП (6), нажав на которую, можно сохранить текст управляющей программы в файл для передачи на станок. Можно использовать и обычный путь постпроцессирования, причем при загруженном станке в списке вы будете видеть только один постпроцессор, связанный со станком.

- В нашем случае стол наклонился от нас, и нам обработку не видно.
- Перейдите в навигатор сборки и погасите там отображение станины станка и дверей механизма смены инструмента.
- Это можно делать, не выходя из симуляции. Разверните вид, результат показан на рис. 15.9.

В следующем параграфе рассмотрим настройки симуляции (7).
Данный пример со всеми настройками сохранен под именем fl1_setup_2mt.prt.

Использование примеров из стандартной поставки

В стандартной поставке NX имеются настроенные станки различных кинематических схем и примеры их использования. Примеры полезны для изучения правильной организации данных в проекте. Разберем один из них.

Модель станка в NX создана как обычная сборка, в которой подвижные узлы сохранены как отдельные компоненты. Так же как компоненты, подключаются деталь, заготовка, приспособление. Поэтому, прежде чем открыть пример, необходимо установить **Опции загрузки сборки**.

- Выполните **Файл** – **Опции** – **Опции загрузки сборки**.
- Появится диалоговое окно задания опций (рис. 15.10).
- Опцию **Загрузка** (1) установите в значение **Из каталогов поиска**.
- Добавьте папку MACH из каталога инсталляции NX, не забудьте приписать к имени три точки (2), что означает поиск во всех вложенных каталогах.
- Нажмите **ОК**.
- Откройте пример sim04_mill_4ax_cam_fanuc_mm.prt (рис. 15.11) из папки ..\MACH\samples\nc_simulation_samples.
- На каждую компоновку имеются 6 примеров, по количеству возможных постпроцессоров, о чем шла речь в предыдущем параграфе.
- Если включен флаг **Просмотр** (3), то в диалоговом окне доступно изображение примера, что позволяет ориентироваться в примерах при выборе.
- Также рекомендуется снять флаг **Использовать частичную загрузку** (4).
- Нажмите **ОК**.

Загрузится станок с установленным приспособлением, деталью и заготовкой (рис. 15.12). Это 4-осевой фрезерный станок с поворотной осью A, в данном примере поворотная ось используется в позиционном режиме.

- Переключитесь на **Вид программ навигатора операций**.
- Выберите PROGRAM_GROUP и из контекстного меню выполните **Траектория** – **Симуляция**.
- Появится уже знакомое нам диалоговое окно симуляции.
- Переключитесь в режим симуляции машинного кода.
- Раскройте группу параметров **Настройки симуляции** (рис. 15.13) и включите параметры **Показать траекторию** (1) и **Показать 3D-удаление материала** (2).

Последний параметр доступен, только если задана заготовка. Сразу при включении параметра заготовка будет отображена. Параметр **Траектория по УП** (3) также отображает траекторию, но он восстанавливает ее по тексту УП, это используется при симуляции УП из внешнего файла. Здесь мы его оставим выключенным.
Еще ряд настроек содержится в отдельном диалоговом окне, которое вызывается при выполнении команды **Настройки симуляции** (4). Диалоговое окно показано на рис. 15.14.

- Включите опцию **Обнаружение столкновений** (6), при включении этой опции появляется команда **Задать пары столкновений** (7).

В этом же диалоговом окне имеются опции **Точности анимации ЗвПО** и **Цвета** (8), а также качества отображения. Опция **На основе перемещения** (9) позволяет существенно улучшить качество симуляции для призматических деталей. Для деталей с поверхностями свободной формы обе опции ведут себя одинаково. Имеются еще флаги (10), задающие контроль столкновения держателя и остановку при столкновении или превышении предела перемещения по осям станка.

- Выполните команду **Задать пары столкновений**.
- Появится еще одно диалоговое окно (рис. 15.15).

В нем можно задать пары объектов, которые необходимо проверить. Такой подход позволяет существенно экономить на времени симуляции и ресурсах компьютера. Не стремитесь задавать проверку всех узлов между собой! Первый (11) и второй (12) объекты можно просто указывать в графической области, можно выбирать по классу или по имени компонента в навигаторе станка (о навигаторе станка – разговор в следующем параграфе). Пары организуются в виде списка (13), элементы управления списком стандартные. Дополнительно указывается параметр **Зазор столкновений** (14), нарушение которого будет считаться опасным сближением. Причем значение зазора может быть разным для каждой пары объектов.
Новинкой версии NX 9.0 является параметр **Форма инструмента** (15), который может принимать два значения: **Параметры инструмента** и **Твердотельная сборка**. Параметр имеет значение, если инструмент задан как 3D-модель. Значение **Параметры инструмента** не использует 3D-модель, что позволяет ускорить симуляцию. Этот режим подходит для большинства фрезерных инструментов, использование 3D-модели инструмента в большей степени востребовано для токарного инструмента.

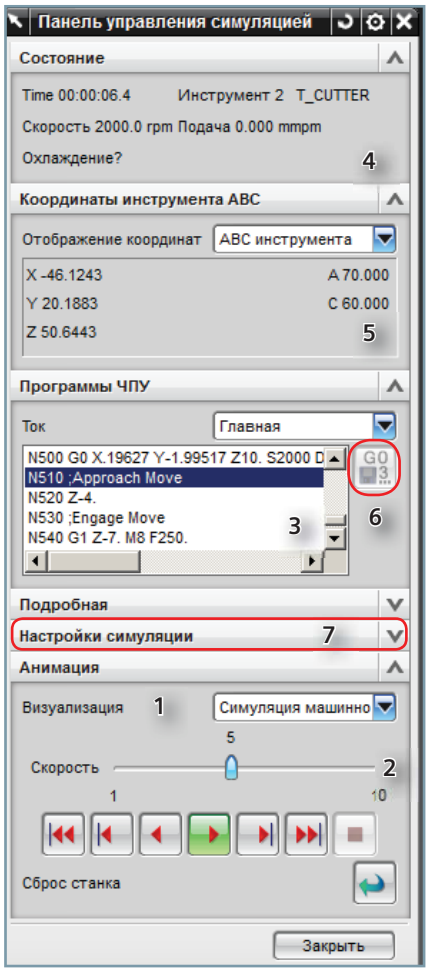


Рис. 15.8. Диалоговое окно управления симуляцией станка

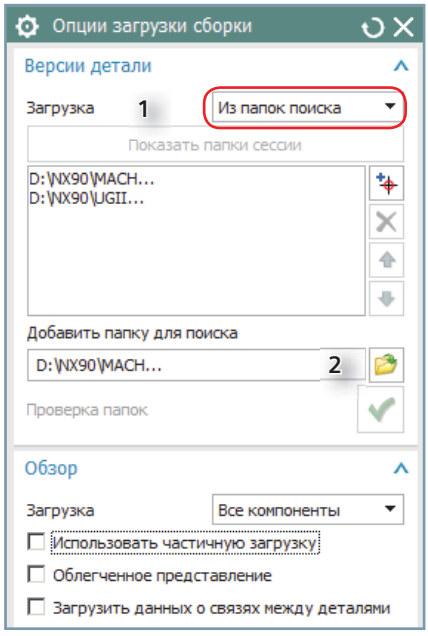


Рис. 15.10. Рекомендуемые опции загрузки сборки при открытии стандартных примеров симуляции станка

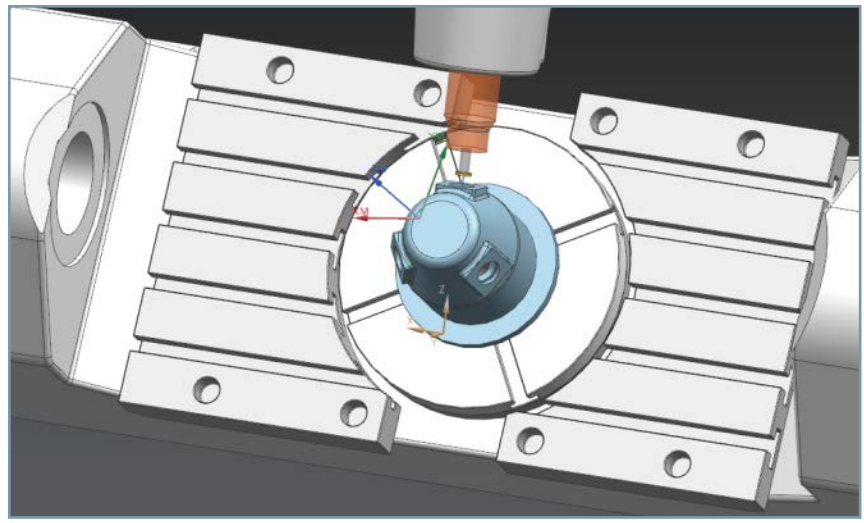


Рис. 15.9. Узлы станка можно скрыть при симуляции, если они мешают просмотру

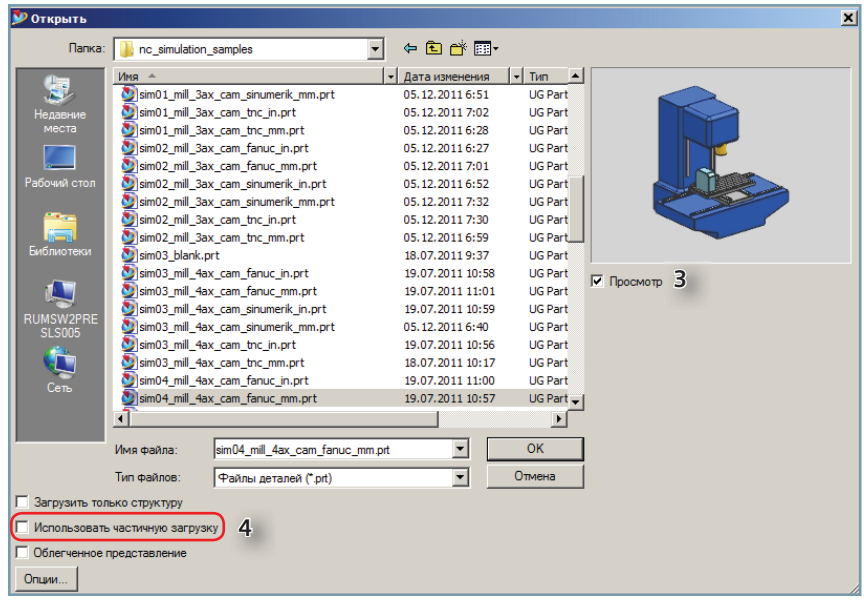


Рис. 15.11. Пример станка sim04_mill_4ax_cam_fanuc_mm.prt

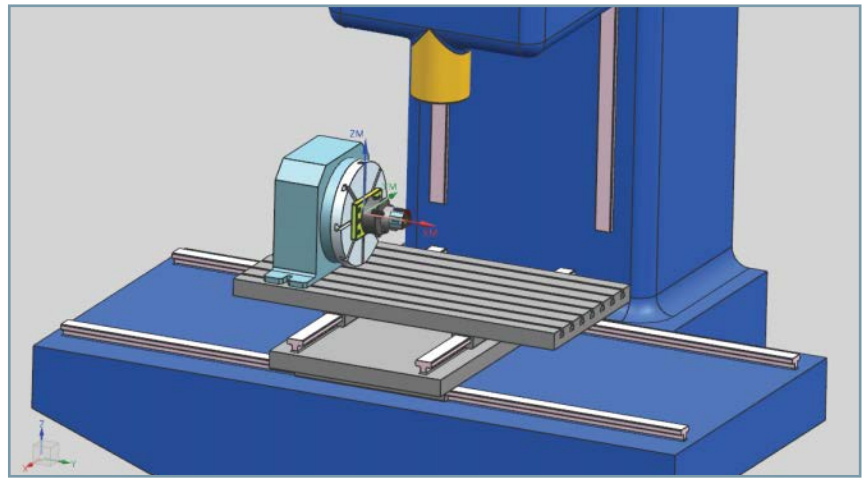


Рис. 15.12. Пример содержит станок с установленным приспособлением, деталью и заготовкой

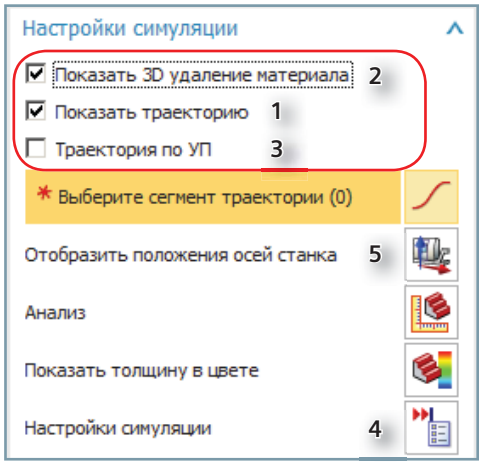


Рис. 15.13. Параметры Настройки симуляции основного диалогового окна управления симуляцией

- Задайте первый и второй объекты, как показано на рис. 15.15.
- Можно указывать на экране или выбирать из списка.
- Обратите внимание, что при выборе из списка объекты подсвечиваются. Нажмите **ОК** в обоих диалоговых окнах, чтобы вернуться в окно управления симуляцией.
- Выполните команду **Отобразить положения осей станка** (5 на рис. 15.13). Выполните симуляцию (рис. 15.16).
- Обратите внимание на индикацию текущего положения осей станка относительно его пределов в отдельном окне Положение осей станка.
- В этом же окне есть значки статуса, похожие на сигналы светофора, превышение предела перемещения будет отмечено красным сигналом «светофора».

В процессе симуляции доступны все средства динамической графики: масштабирование, сдвиг, поворот изображения в графическом окне.

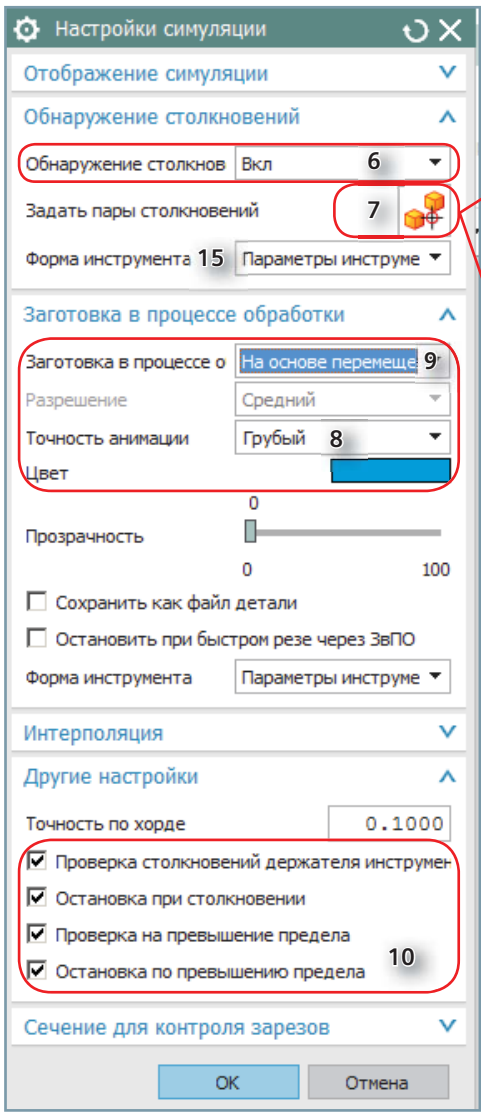


Рис. 15.14. Дополнительное диалоговое окно настроек симуляции

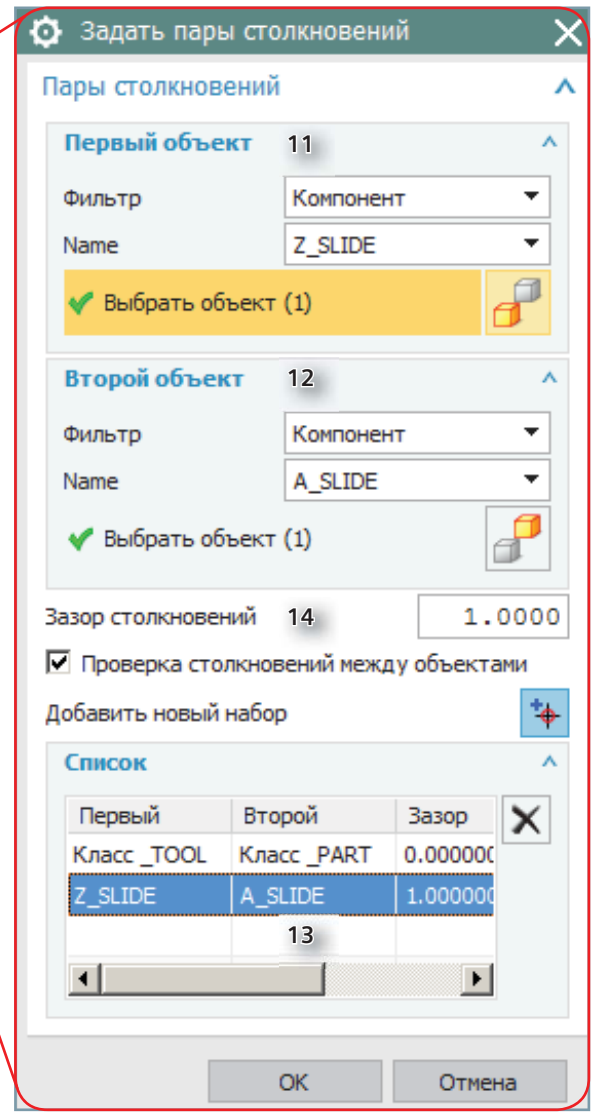


Рис. 15.15. Дополнительное диалоговое окно задания объектов для проверки столкновений

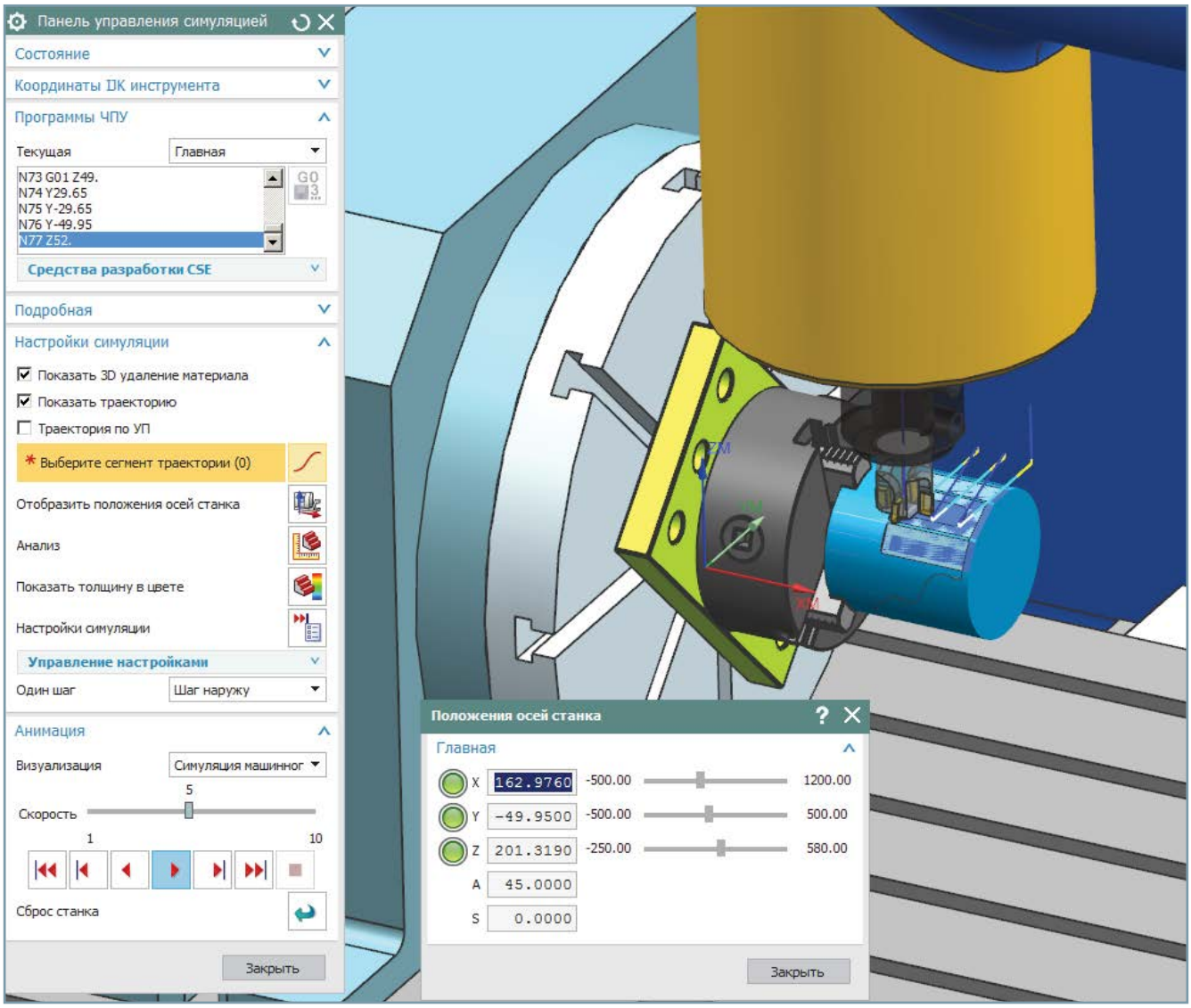


Рис. 15.16. Процесс симуляции работы станка (пример)

Симуляция внешнего файла

В NX возможна симуляция внешнего файла или файла управляющей программы. Это может быть файл программы, созданный в другой CAM-системе или отредактированный на станке.
Команда выполняется из **Меню** – **Инструменты** – **Симуляция программы ЧПУ из файла**. Команда не отображается в ленточной панели по умолчанию, для вызова используется дублирующая система меню предыдущих версий NX (рис. 15.17).
Продолжаем использовать предыдущий пример. Станок загружен, заданы система координат и заготовка.
Ключевое действие, которое необходимо сделать до загрузки файла, – это задать «0» программы. NX при загрузке файла просматривает все СКС и использует ту, в которой задан **Специальный вывод** – **Нулевая точка** и **Номер нулевой точки**, соответствующий используемому в УП (в этом примере для G54 номер должен быть 1, для G55 – 2 и т. д.).

- Продолжаем работать с примером sim04_mill_4ax_cam_fanuc_mm.prt . Выполните **Меню** – **Инструменты** – **Симуляция программы ЧПУ из файла**.
- Появится диалоговое окно (рис. 15.18).

Наш станок одноканальный, то есть содержит один рабочий орган – шпиндель. Поэтому имеется одно поле ввода для внешней УП (Channel 1). Для многоканальных станков это окно содержит столько полей ввода, сколько каналов есть в станке, и позволяет загрузить файлы для каждого канала.

- Выберите файл ext_nc2.txt, этот файл получен постпроцессированием операции FACE_SIDE1 текущего примера.
- Нажмите **ОК**, появится диалоговое окно симуляции.

При симуляции из внешнего файла отсутствует траектория, полученная расчетом в NX, поэтому в диалоговом окне симуляции отсутствуют флаг **Показать траекторию** и переключатель симуляции **На основе машинного кода** или **На основе траектории**. Зато имеется параметр **Траектория по УП**, который восстанавливает траекторию по тексту УП. Симуляция съема материала возможна, если заготовка описана в геометрической группе WORKPIECE.

- Включите параметры **Показать 3D удаление материала** и **Траектория по УП** и выполните симуляцию.
- Результат показан на рис. 15.19.
- Обратите внимание, что отображаются все движения инструмента, включая движения до первой точки траектории и между траекториями.

Модифицируем файл ext_nc2.txt для имитации ошибки в программе.

- В кадр 27 добавьте перемещение по –X так: N27 X-100 Z52.
- В настройках симуляции включите контроль столкновений. Пары столкновений здесь уже заданы. Выполните симуляцию. NX выдаст сообщение о нарушении гарантированного зазора (параметр 14 на рис. 15.14).
- Результат показан на рис. 15.20.

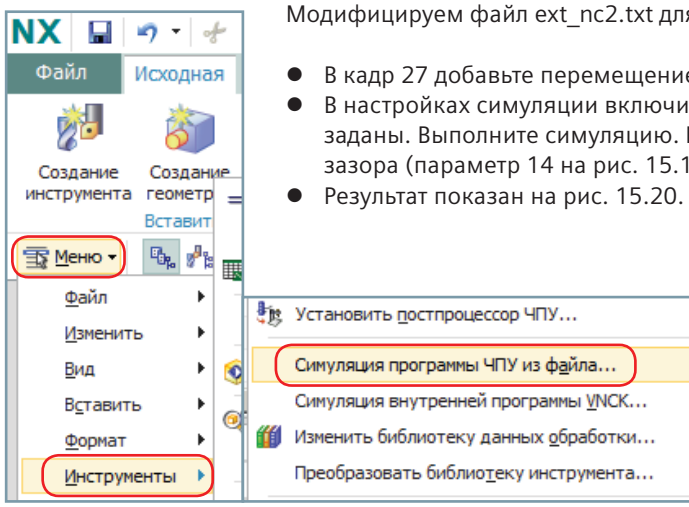


Рис. 15.17. Расположение команды Симуляции программы ЧПУ из файла

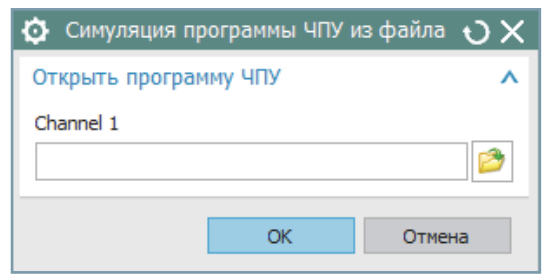


Рис. 15.18. Диалоговое окно для выбора внешнего файла УП

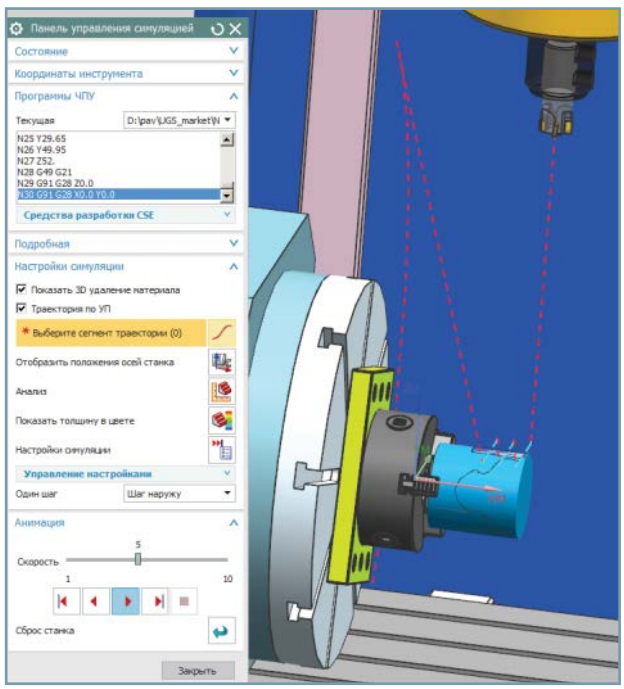


Рис. 15.19. Параметр Траектория по УП воссоздает траекторию по тексту УП

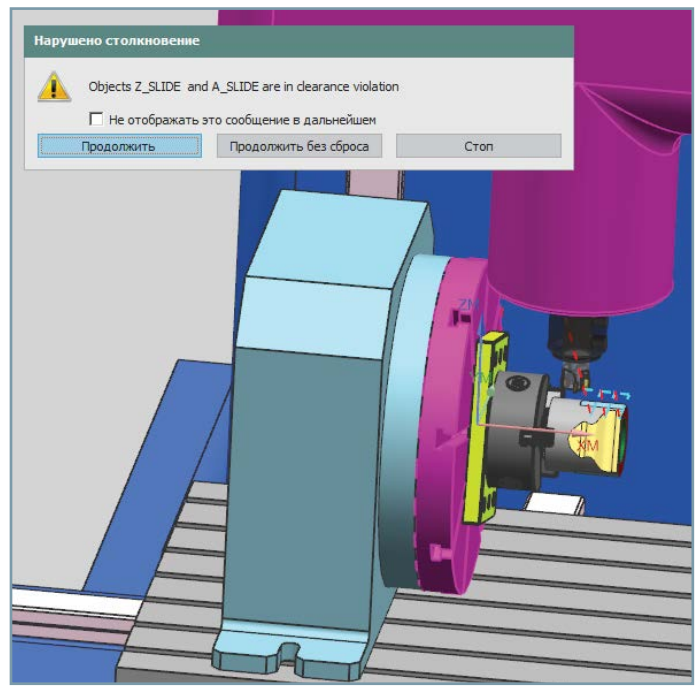


Рис. 15.20. Сообщение о нарушении гарантированного зазора при симуляции

При выполнении команды **Стоп** будет показан номер проблемного кадра УП. При выполнении команды **Продолжить** движение будет продолжено, и при фактическом столкновении будет выведено новое сообщение о столкновении с подсветкой столкнувшихся узлов красным. При выполнении команды **Продолжить без сброса симуляция** будет продолжена, и все проблемные кадры будут записываться в файл-протокол.

Навигатор станка

Генератор модели станка – это модуль NX CAM, который позволяет настраивать собственные модели станков для проведения симуляции и служит для описания кинематики станка. Для работы с Генератором модели станка служит специальный навигатор в панели ресурсов – Навигатор станка.
Сначала посмотрим в навигатор сборки (рис. 15.21).

- Наш CAM-пример является сборкой верхнего уровня (1), в сборку входит станок в виде подсборки (2), причем файл sim04_mill_4ax содержит только кинематику, а сборка станка содержится в sim_04_assembly, далее вложены файлы узлов как компоненты.
- Приспособление также задано как сборка (3), деталь и заготовка (4) – это тоже компоненты сборки, в данном случае их отображение отключено (но они загружены, о чем свидетельствует серая галочка статуса отображения).

Подобная организация объектов позволяет легко управлять отображением станка и даже заменять его компоненты.

- Откройте навигатор станка (рис. 15.22).
- Команда вызова навигатора станка расположена на **Панели ресурсов** (5) и доступна, только если вы работаете в модуле **Обработка**.

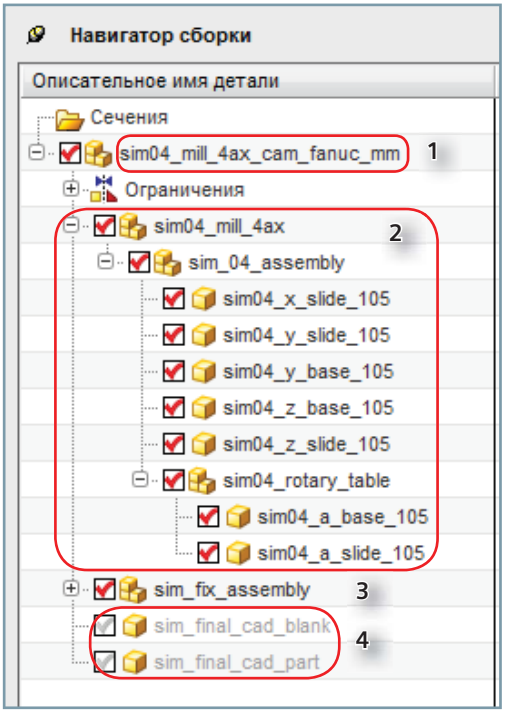


Рис. 15.21. Иерархия компонентов станка, оснастки, детали в навигаторе сборки

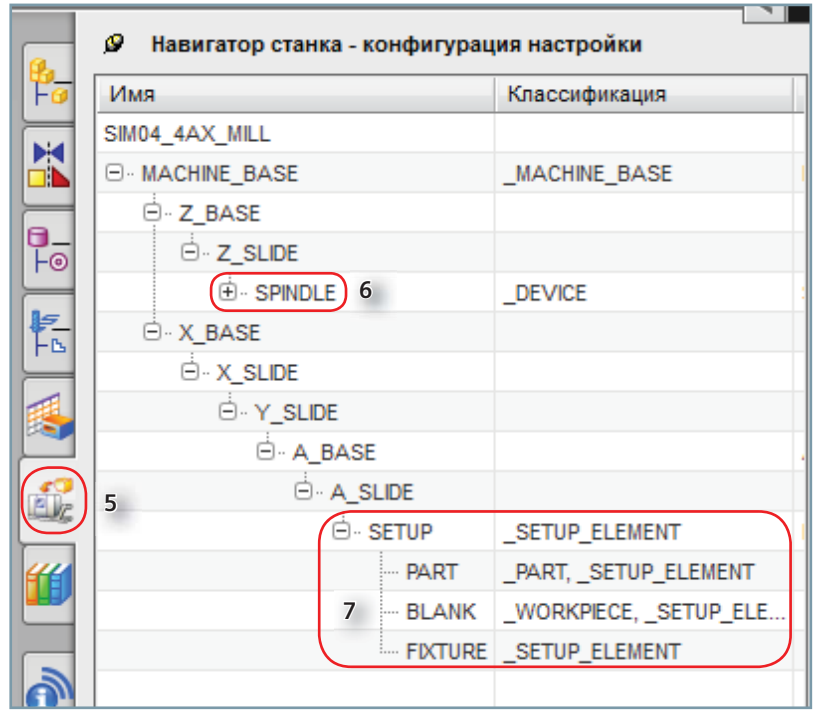


Рис. 15.22. Иерархия компонентов станка, оснастки, детали в навигаторе станка

Если открыть дерево кинематики, то наглядно видно, как расположены подвижные узлы станка относительно станины (компонент MACHINE_BASE). Шпиндельный узел (6) при этом перемещается по направляющим вдоль оси Z, деталь, приспособление и заготовка (7) входят в объект SETUP (Установ) и вместе с поворотным столом вращаются вокруг оси A. Поворотный стол закреплён на подвижных салазках и перемещается вместе с ними по направляющим вдоль оси Y, эти салазки смонтированы на других подвижных салазках, которые, в свою очередь, перемещаются по оси X.

- Повыбирайте компоненты кинематики, убедитесь, что при выборе они подсвечиваются в графической области.
- Сопоставьте место выбранного компонента в дереве кинематики.

Не будем рассматривать настройку кинематики станка, но необходимо дать понятие классификации компонента. Связи узлов станка даны при описании кинематики, а конкретная деталь, заготовка и приспособление не описаны, описано только место их установки. Процесс классификации – это и есть назначение геометрических объектов как элементов кинематики.
В NX 9.0 назначение геометрии детали как компонента кинематики производится автоматически, когда вы подгружаете станок. А заготовку и приспособление необходимо назначить явно, через навигатор станка. В этом примере это сделано, но рассмотрим сам процесс.

- Правой клавишей мышки выберите PART и нажмите **Изменить** – **Компонент станка**.
- Откроется диалоговое окно **Изменить компонент станка** (рис. 15.23).
- В группе **Геометрия** (1) видно, что один объект уже выбран.
- Раскройте поле **Классификация компонента** (2). Убедитесь, что выбраны объекты _PART и _SETUP_ELEMENT.

Для заготовки требуется указывать _WORKPIECE и _SETUP_ELEMENT, для приспособления – только _SETUP_ELEMENT. Убедиться, что классификация детали, заготовки и приспособления выполнена, можно, просто взглянув в колонку **Классификация Навигатора станка**.

Репроцессор

Помимо кинематики, для сложных станков требуется настройка репроцессора. Репроцессор – это модуль NX, обратный постпроцессору. Он преобразует кадры УП в движения модели станка. Симуляции станка в кодах УП (или G-кодах) обязательно включает стадию репроцессирования. Эта задача не такая простая, например кадр с линейным перемещением просто преобразуется в сегмент траектории. Один кадр – одно движение. Более сложные кадры, например циклы или команды трансформации координат, инициируют целые процедуры по расчету серии движений инструмента или преобразования координат.

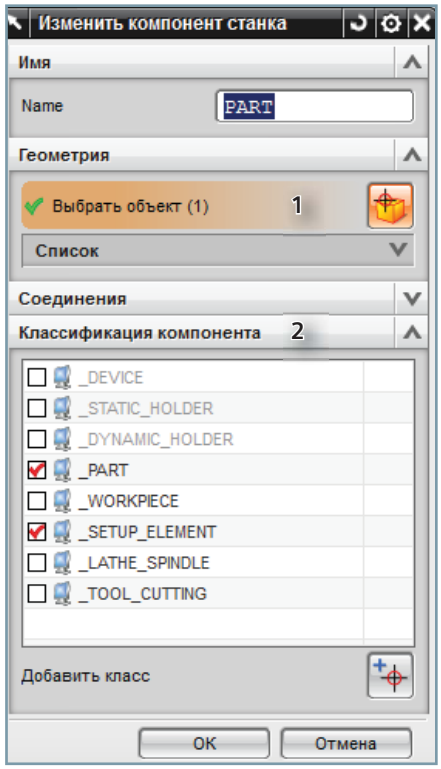


Рис. 15.23. Классификация компонента Деталь в навигаторе станка

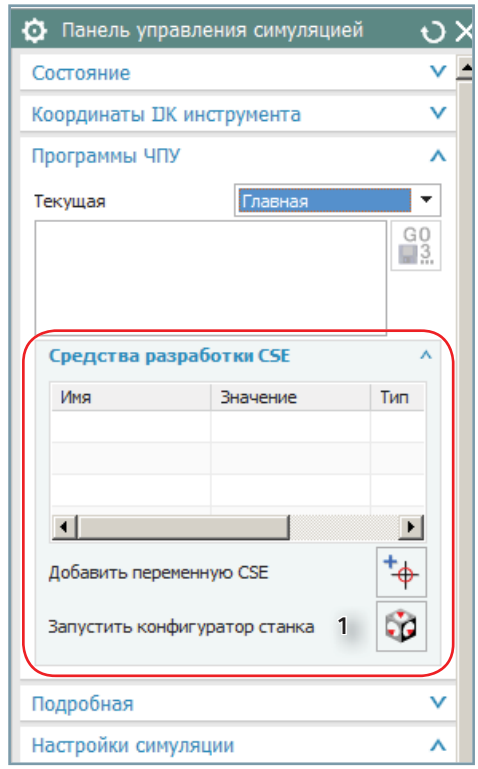


Рис. 15.24. Расположение команды вызова конфигуратора станка, используемого для настройки драйвера симуляции

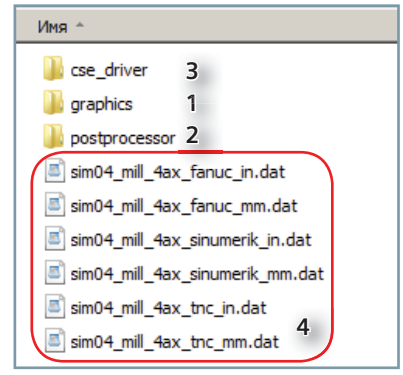


Рис. 15.25. Ресурсы станка на уровне файловой системы

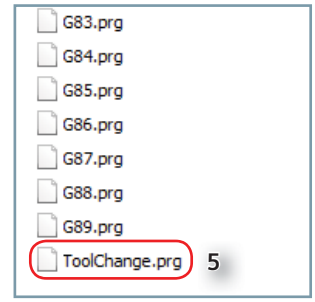


Рис. 15.26. Подпрограммы с реального станка можно подключить для использования в симуляции

В NX настройка репроцессора не считается инженерной задачей. Считается, что это должно выполняться специализированными подразделениями. Поэтому здесь только упомянем этот модуль и покажем, как получить к нему доступ.

Замечание: настройка выполняется в приложении Конфигуратор станка (Machine Configurator), это приложение отдельно лицензируется. Стандартные пакеты NX этой лицензии не содержат. Стандартный пакет инсталляции NX также этого модуля не содержит.

В настройках по умолчанию должен быть включен параметр **Отображать группу инструментов разработки CSE**. В этом случае в NX 9.0 диалоговое окно симуляции имеет вкладку **Средства разработки CSE** (рис. 15.24), где и доступна команда вызова **Конфигуратора станка** (1).
Без специальной лицензии Конфигуратор станка запускается в режиме **Только чтение**. Этот режим имеет ограниченное применение и используется в основном для согласования работ по разработке репроцессора.
Однако на работу репроцессора можно влиять и на инженерном уровне. Для станков со стандартной кинематикой этого часто достаточно.
Ресурсы нашего станка хранятся в стандартной поставке ...\MACH\resource\library\machine\installed_machines\sim04_mill_4ax (рис. 15.25). Папка graphics (1) содержит модели узлов станка и файл описания кинематики, папка postprocessor (2) содержит постпроцессоры, папка cse_driver (3) содержит репроцессоры. Файлы DAT описывают конфигурацию ресурсов (4), всего их 6, поддерживаются системы ЧПУ FANUC, SINUMERIK, TNC (HEIDENHAIN) в миллиметровом и дюймовом форматах.
Наш пример использует систему ЧПУ Fanuc. В папке **cse_driver\fanuc** имеется файл sim04_mill_4ax_fanuc-Main.ini, это текстовый файл, выполняемый до начала симуляции. Он содержит команды в формате реального станка, здесь обычно задаются команды, которые на реальном станке выполняет наладчик. Внутри еще имеется папка subprog, содержащая подпрограммы в формате реального станка (рис. 15.26). Например, подпрограмма ToolChange (5) описывает процесс смены инструмента реального станка. Если эта же подпрограмма работает в симуляторе, то процесс смены инструмента будет выполняться точно так же. При этом в ее внутренее содержание можно не вникать.
Поэтому мы и говорим, что доступ в Конфигуратор станка нужен далеко не всегда.

Глава 16

5-осевая непрерывная обработка

Содержание главы

- Операция Контурная с переменной ОИ – VARIABLE_CONTOUR
  - Управляющая поверхность
  - Ориентация инструмента
  - Обработка лопатки
  - Внешние управляющие поверхности
  - Обработка винта
- Операция 5-осевая вдоль потока – VARIABLE_STREAMLINE
  - Обработка лопатки (продолжение)
  - Управление подачей и переменный угол опережения

5-осевая непрерывная обработка

Рис. 16.1. Расположение команд операций 5-осевой непрерывной обработки

При этом виде обработки повороты органов станка выполняются в процессе резания. Таким образом, кадр УП при 5-осевой непрерывной обработке содержит до 5 координат.
Традиционно подобные операции требуются при обработке турбинных лопаток, крыльчаток, шнеков, винтов и других типов изделий сложной конфигурации. Ось инструмента в таких проектах различным образом связана с геометрией обрабатываемой модели или другими объектами (по нормали к поверхности, под углом к поверхности, к точке, линии и т. д.). Отдельно выделяют операции, где обработка стенок осуществляется боковой стороной фрезы. Также существуют операции, где инструмент может автоматически отклоняться от стенки обрабатываемого изделия, такие операции востребованы при изготовлении оснастки. В NX возможно использование так называемых управляющих поверхностей, которые не являются обрабатываемыми. Все эти случаи и рассмотрим в данной главе.
Операции 5-осевой непрерывной обработки собраны в отдельную вкладку – тип mill_multi_axis (рис. 16.1). Основной операцией является операция **Контурная с переменной осью инструмента** (ОИ)– VARIABLE_CONTOUR (1), в зависимости от метода управления эти операции могут сильно отличаться друг от друга. Операция **С переменной осью по потоку** – VARIABLE_STREAMLINE (2) является разновидностью операции VARIABLE_CONTOUR, но из-за высокой востребованности рассмотрим ее отдельно. Эти операции похожи на операции FIXED_CONTOUR и STREAMLINE, которые были рассмотрены в главах 9 и 10, в основе лежит идея проецирования управляющей геометрии на обрабатываемую (рис. 9.2). Но там вектор проекции был направлен по оси Z,в этом случае вариантов проецирования больше. Операция **Профиль по контуру** – CONTOUR_PROFILE (3) служит для обработки линейчатых поверхностей боковой стороной фрезы. Операция **5-осевая по Z-уровням** – ZLEVER_5AXIS (4) обеспечивает обработку с постоянной Z, но с возможностью отклонения оси инструмента от стенки. Все эти операции можно назвать высокоуровневыми. Существует еще низкоуровневая операция: **Последовательное фрезерование** – SEQUENTIAL_MILL (5). Эта операция состоит из подопераций, где на каждом шаге задаются позиция и ориентация инструмента. Операция раньше играла большую роль, но с развитием высокоуровневых операций (особенно операции **Профиль по контуру**, а также модуля обработки моноколес) потребность в ней снижается. Операция уже давно не развивается. Она довольно трудоемка и потому в книге не рассмотрена.

Операция Контурная с переменной ОИ – VARIABLE_CONTOUR

В начале главы 9 было дано понятие контурных операций и приведена поясняющая схема. Схема верна и для операций типа **Контурная с переменной ОИ**, только ось инструмента в этой операции меняется в процессе резания и может задаваться различными способами. Вектор проекции шаблона также может задаваться различными способами.

Управляющая поверхность

Метод управления **Управляющая поверхность** наиболее часто используется в 5-осевой непрерывной обработке, когда требуется задать ориентацию оси инструмента относительно нормали к обрабатываемой поверхности. К изделиям такого типа относятся турбинные лопатки, винты, шнеки и др.

- Откройте пример vx_0mm_setup_1.prt. В примере уже создан инструмент – шаровая фреза, такие фрезы чаще используются на 5-осевых операциях.
- Наша задача – обработать верхнюю поверхность.
- Пример простой и удобен для описания параметров операции.
- Выполните команду создания операции VARIABLE_CONTOUR, появится диалоговое окно операции (рис. 16.2).
- Переключите метод управления на значение **Управляющая поверхность** (1).
- Это наиболее мощный и востребованный метод в данной операции.
- При переключении метода управления сразу же откроется диалоговое окно задания управляющей геометрии (рис. 16.3).
- Выполните команду **Задать управляющую геометрию** (2) и укажите верхнюю криволинейную поверхность нашей модели.
- Нажмите **ОК** дважды, чтобы вернуться в основное диалоговое окно.

Повторно войти в диалоговое окно задания управляющей геометрии можно, выполнив команду с изображением ключика рядом с методом управления.

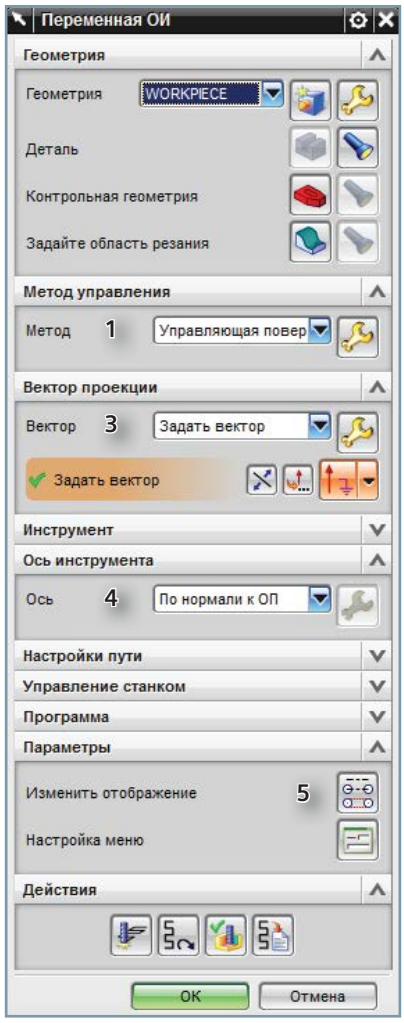


Рис. 16.2. Диалоговое окно операции VARIABLE_CONTOUR

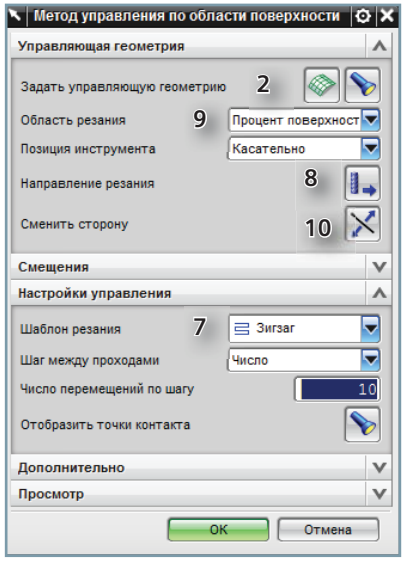


Рис. 16.3. Диалоговое окно задания управляющей геометрии

- В основном диалоговом окне **Вектор проекции** (3) установите на значение **Задать вектор** и выберите направление –Z, **Ось инструмента** (4) установите на значение **По нормали к ОП** (ОП – обрабатываемая поверхность).
- Различные параметры операции разберем далее, а сейчас для наглядности включим отображение инструмента при отрисовке траектории.
- Эта возможность часто используется именно для 5-осевых операций.
- Выполните команду **Изменить отображение** (5) и задайте параметр отображения **Инструмента** (6) значением 3D, ниже в поле **Частота** укажите значение 10 (рис. 16.4).
- Это означает, что инструмент будет отображаться не в каждой точке, а в каждой 10-й точке (это более наглядно).
- Нажмите **ОК** в этом диалоговом окне и **Генерировать** в основном диалоговом окне.
- Траектория будет рассчитана и отрисована вместе с инструментом (рис. 16.5). Выполните анимацию траектории (без съема материала).
- Инструмент в каждой точке поверхности располагается по нормали к поверхности.
- Нажмите **ОК**, чтобы сохранить траекторию в навигаторе операций.
- Разберем параметры диалогового окна задания управляющей геометрии. **Шаблон резания** (7) нам уже знаком.
- Создайте копию операции и в копии измените его на ZIG.
- Сгенерируйте операцию (рис. 16.6).
- Теперь в траектории соблюдается направление резания, переходы между проходами осуществляются с подъемом на плоскость безопасности.

Направление проходов или стартовый угол можно сменить, выполнив команду **Направление резания** (8).

- Создайте копию операции и в копии откройте диалоговое окно задания управляющей геометрии, выполните команду **Направление резания**.
- На управляющей геометрии будут отображены 8 стрелочек: в каждом из углов показаны две стрелочки (рис. 16.7).
- Выбором стрелки вы определяете и начальный угол, и направление проходов.
- Выберите стрелку в ближнем к началу координат углу, идущую в направлении оси Y.
- Сгенерируйте операцию, результат показан на рис. 16.8.
- Можно обрабатывать только часть управляющей геометрии.
- Для этого используется параметр **Область резания** (9), задаваемый через процент поверхности.
- Снова сделайте копию первой операции, назовите ее VARIABLE_CONTOUR_PERCENT, в копии откройте диалоговое окно задания управляющей геометрии и переключите **Область резания** на значение
- **Процент поверхности** (даже если это значение установлено, выберите ее заново), появится диалоговое окно (рис. 16.9).
- Параметры этого диалогового окна задают: первые два – начало и конец первого прохода в процентах от реальной геометрии (0–100 – это полный проход), следующие два – начало и конец последнего прохода, последние два – позицию первого и последнего проходов в поперечном направлении.
- Задайте значения, как на рисунке, траектория будет выглядеть, как на рис. 16.10.

Обратите внимание, что заданное количество проходов расположилось на указанном участке, но шаг уменьшился. Иногда полезно задать начальный и конечный проходы одним и тем же числом, а число проходов 0, и вы получите одиночный проход (фактически это не число проходов, а число сегментов между соседними проходами). Этот случай рассмотрим при обработке лопатки.
Параметр **Сменить сторону** (10) используется, если инструмент подходит к поверхности с другой стороны и необходимо сменить сторону. В нашем примере

управляющая поверхность – это грань твердого тела, и сторона материала определяется правильно. В случае работы с листовыми телами (поверхностями) этот параметр полезен.

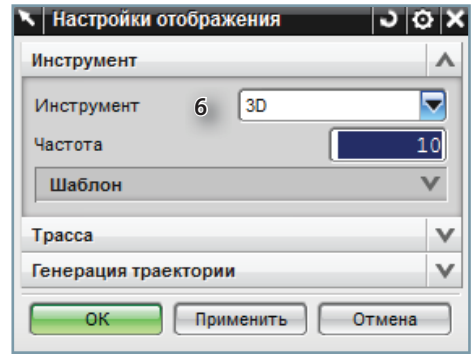


Рис. 16.4. Диалоговое окно настроек отображения инструмента

Ориентация инструмента

Ориентация инструмента по нормали к поверхности имеет и некоторые недостатки. В частности, для шаровых фрез скорость резания при вершине инструмента равна 0, что отрицательно сказывается на условиях резания. Поэтому часто используют ориентацию инструмента относительно нормали, но с учетом двух углов: **Угла опережения** и **Угла отклонения**. Угол опережения – это угол между осью инструмента и нормалью к поверхности в точке контакта. Он измеряется в плоскости, образованной векторами нормали и направлением подачи (рис. 16.11). Обратите внимание, что траектория (след вершины инструмента) не лежит на поверхности, то есть вершина выведена из контакта с деталью.

- Сделайте копию первой операции, задайте ось инструмента **Под углом к ОП**.
- Появится диалоговое окно для задания углов (рис. 16.12).
- NX может работать с диапазоном допустимых углов, сглаживая резкие колебания оси инструмента.

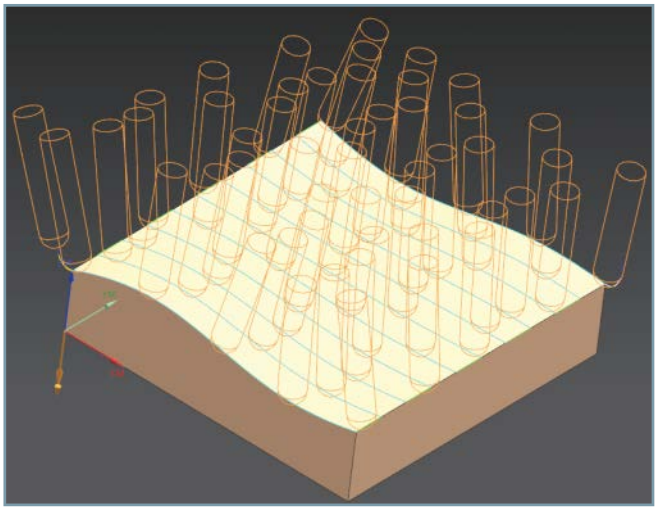


Рис. 16.5. Траектория отображена вместе с инструментом, расположенным по нормали к поверхности

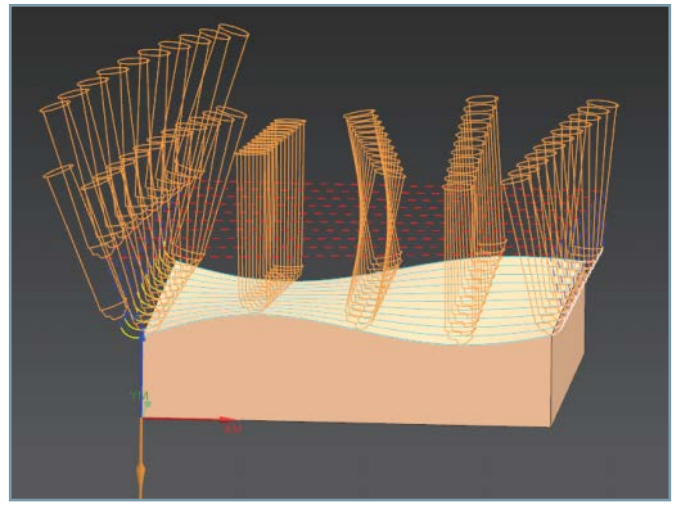


Рис. 16.6. Траектория, созданная шаблоном ЗИГ

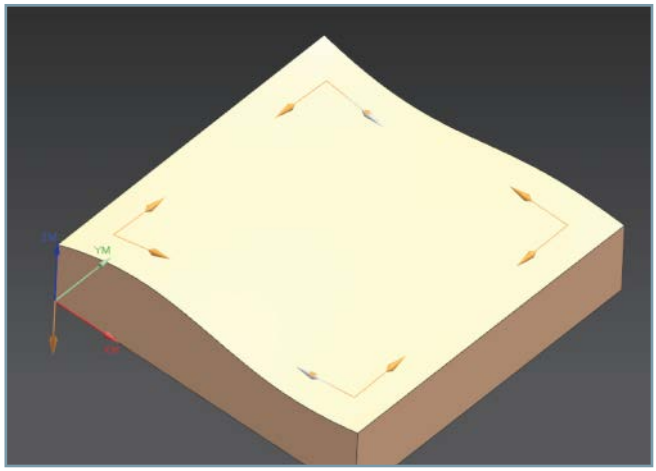


Рис. 16.7. Маркеры команды Направление резания

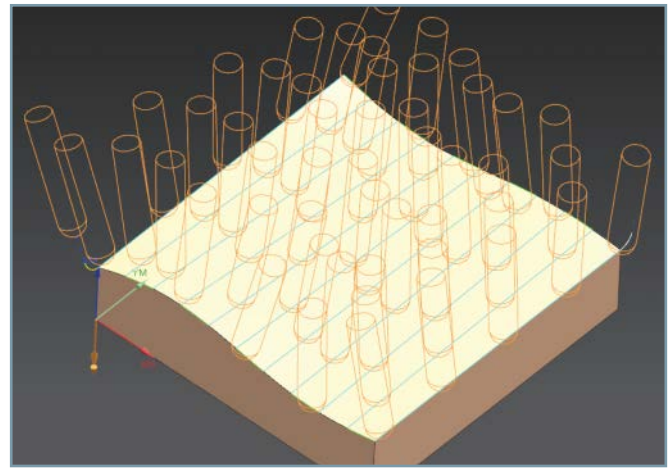


Рис. 16.8. Траектория с проходами вдоль направления оси Y

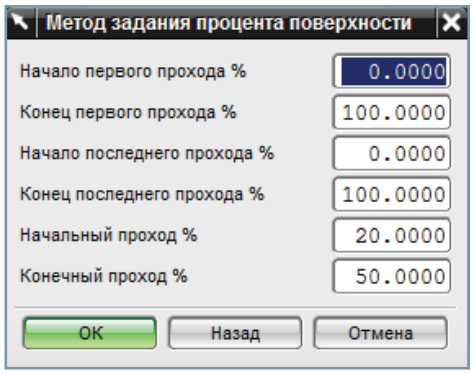


Рис. 16.9. Задание Области резания через параметры Процент поверхности

- Для наглядности зададим фиксированный угол опережения 30°. Задайте значения, как показано.
- Также для наглядности оставим только один проход.
- Для этого в диалоговом окне параметров управляющей поверхности **Область резания** задайте через **Процент поверхности** и задайте **Начальный и Конечный проход** 0%. **Число перемещений по шагу** установите 0 (при значении 1 у нас будет один проход в начале диапазона и один – в конце. Так как у нас начало и конец диапазона совпадают, то достаточно только одного прохода).
- Сгенерируйте операцию.

Такой подход используется и для реальных задач, например для обработки скругления инструментом с радиусом, равным радиусу скругления. Это рассмотрим на примере обработки лопатки.

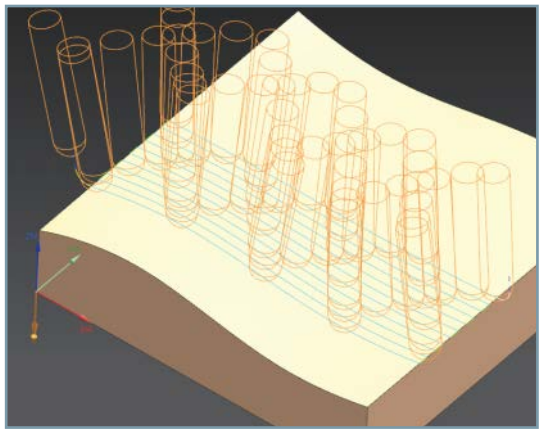


Рис. 16.10. Траектория в области резания, заданной процентами поверхности (в данном случае 20–50%)

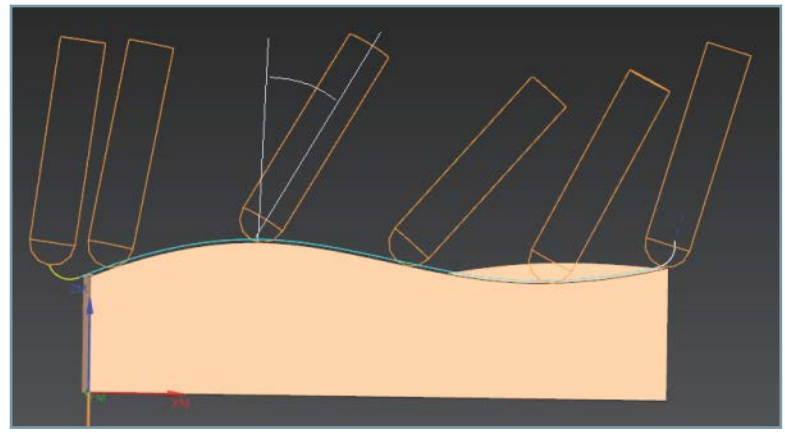


Рис. 16.11. Угол опережения – это угол между осью инструмента и нормалью к поверхности в точке контакта

Другим способом выведения вершины инструмента из зоны резания является задание угла отклонения, он измеряется в плоскости, перпендикулярной направлению подачи. Обычно используется один из углов в зависимости от расположения препятствий в зоне обработки.

Различные виды ориентации оси инструмента показаны на рис. 16.13. Для метода управления **Управляющая поверхность** выбор наибольший. Часть методов недоступна для других методов управления. Ранее были рассмотрены два метода: **По нормали к ОП** и **Под углом к ОП**. На этом примере мы рассмотрим еще ориентацию инструмента для 4-осевой обработки, но с использованием нормали к ОП. Рисунок 16.14 показывает ту же траекторию, что и на рис. 16.11, но в другой плоскости (только одна строчка). На рисунке видно, что инструмент отклоняется от направления движения в сторону, следуя за нормалью к поверхности. Это 5-осевой случай. В случае если станок не имеет пятой оси, но имеется потребность работать относительно нормали к поверхности, можно использовать ориентацию инструмента **4-осевая нормально к ОП**. В этом случае будет показано дополнительное диалоговое окно для задания оси вращения (рис. 16.15), где необходимо задать направление поворотной оси станка. На рис. 16.16 показана 4-осевая траектория, при этом ось вращения задана как ось Y. Математически это выглядит так: сначала определяется 5-осевая ориентация инструмента, далее вектор оси проецируется в плоскость, перпендикулярную оси вращения и проходящую через точку контакта.

Аналогично работает и **4-осевая под углом к ОП**. Ориентация **2-ная 4-осевая по ОП** используется с шаблоном ЗИГЗАГ и позволяет задавать разные углы опережения и наклона для ходов ЗИГ и ЗАГ.

- Сохраните пример и закройте его.

Теперь от абстрактного примера перейдем к реальным деталям.

Обработка лопатки

При обработке лопатки различают обработку центральной части пера лопатки, обработку хвостовика и бандажа, доработку пера лопатки вблизи хвостовика и бандажа меньшим инструментом и доработку радиуса скругления пера и

хвостовика. Все эти виды обработки можно реализовать операцией VARIABLE_CONTOUR с методом управления **Управляющая поверхность**.

- Откройте пример blade_setup_1.prt, в навигаторе операций выберите операцию VARIABLE_CONTOUR_ZIG (рис. 16.17).
- Эта операция обрабатывает центральную часть пера лопатки.
- Инструмент имеет радиус больше, чем радиус скругления пера и хвостовика.
- Рассмотрим параметры этой операции.
- Перо лопатки образовано двумя гранями (1 и 2 на рис. 16.18).
- В диалоговом окне задания управляющей геометрии эти грани отображены в списке (рис. 16.19).
- Грань 2 выбрана и потому подсвечена в графической области.

Операция допускает использование нескольких управляющих поверхностей, но накладывает на них некоторые ограничения. Эти поверхности должны образовывать регулярную сетку и иметь общие ребра. Чаще используются поверхности, образующие одну строку, как в данном случае. Также важно заметить, что наши две грани образовали замкнутую управляющую геометрию. Команда **Начать следующую строку** (3) используется для задания следующих строк поверхностей, примыкающих к первой строке.

- Ось инструмента задана **По нормали к ОП** (позже изменим эту установку). Подробнее разберем вектор проекции. **Вектор проекции** в данном случае не может быть фиксированным, как в предыдущем примере, так как необходимо обработать замкнутую поверхность со всех сторон.
- Наилучший результат дает значение **По направлению к управляющей** (рис. 16.20).
- **Управляющая (УП) и обрабатываемая поверхности (ОП)** в данном случае совпадают.
- Опция **По направлению к управляющей** похожа на **Нормально УП**, то есть проецирование осуществляется по нормали к поверхности в точке контакта, но проецирование идет без учета других граней модели (как бы с небольшого расстояния), что обычно дает лучший результат.

Так как используется инструмент с радиусом, большим радиуса скругления пера (ради повышения производительности), то из области обработки исключаем области пера лопатки, примыкающие к радиусу. Теоретически необходимо исключить области шириной, равной радиусу инструмента, но поскольку обработка разных областей обычно осуществляется с перекрытием, эту ширину можно задать приблизительно. Проще всего это сделать, задав область через **Процент поверхности**, в данном случае задана обработка от 10% до 90%.

Теперь поговорим о шаблоне резания. В этой операции применен шаблон ZIG, чтобы резание на каждом витке осуществлялось в одну сторону. Для замкнутых поверхностей так обычно и делается. На каждом проходе (витке) заданы подвод и отвод по дуге, переход между проходами задан сглаженным движением.

Нежелательно, чтобы инструмент прерывал контакт с материалом при обработке. Рассмотрим следующую операцию – VARIABLE_CONTOUR_ZIG2. Она отличается только вспомогательными перемещениями (параметрами без резания).

Врезание по дуге задано только для первого прохода (рис. 16.21) – в группе **Начальное** (1), для открытой области врезание подавлено (2). Переход задан **Прямо**, в результате переход между проходами осуществляется по поверхности (3 на рис. 16.22). Однако и в этом случае имеются недостатки, например может оставаться риска на поверхности.

Наилучший результат дает винтовой (спиральный) шаблон (рис. 16.23). Траектория VARIABLE_CONTOUR_SPIRAL показана на рис. 16.24, модель дана в каркасном виде для наглядности.

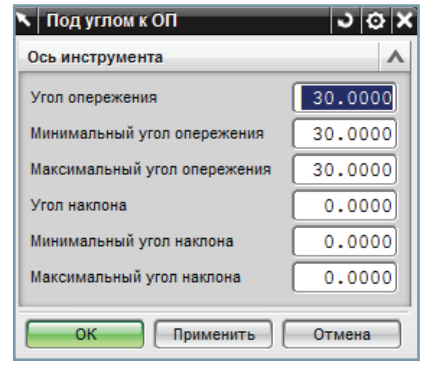


Рис. 16.12. Диалоговое окно для задания углов опережения и наклона

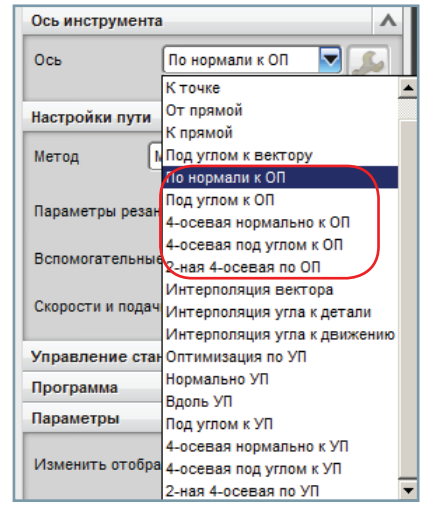


Рис. 16.13. Различные виды ориентации оси инструмента в виде списка диалогового окна

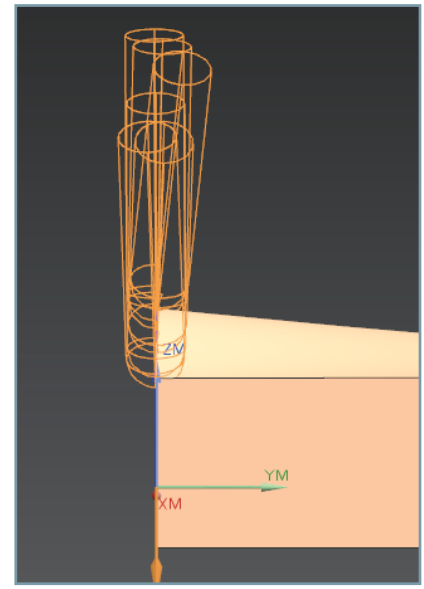


Рис. 16.14. Одна строчка траектории с ориентацией инструмента нормально к ОП

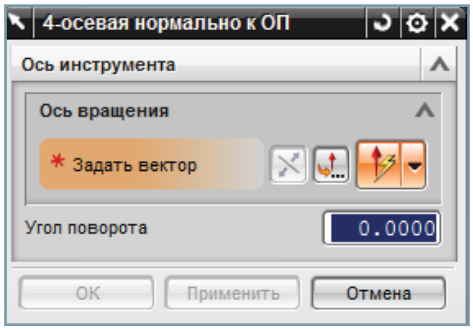


Рис. 16.15. Диалоговое окно для задания оси вращения (4-осевая обработка)

Другой задачей при обработке лопаток является обработка радиуса скругления пера и хвостовика. Для этого используется та же операция.

- Выберите операцию VARCONTOUR_FILLET и выполните ее верификацию (рис. 16.25).
- Откройте диалоговое окно операции.
- Основные отличия от предыдущего случая состоят в том, что при задании **Процента поверхности Начальный и Конечный проход** равен 50% (1), **Число перемещений по шагу** равно 0 (2). **Ось инструмента** задана просто **По нормали к УП**, уменьшить или увеличить угол можно, просто изменив значение образующей при задании процента поверхности (рис. 16.26). Попробуйте 50% и 70%.

Внешние управляющие поверхности

В ряде случаев обрабатываемые и управляющие поверхности не совпадают. **Управляющие поверхности** (УП) создаются специально для задания шаблона резания и ориентации инструмента. Лучше всего это проиллюстрировать на примере лопатки.

- В нашем примере включите слой 5, вспомогательные поверхности этого слоя (рис. 16.27) будем использовать как управляющие.

Дадим некоторые пояснения по их созданию. Сначала созданы две координатные плоскости (1), отстоящие от концов пера лопатки на величину радиуса инструмента, который будем использовать для предварительной обработки (обычно этот радиус больше радиуса скругления пера и хвостовика). Далее получены сечения координатных плоскостей и пера лопатки. Затем по одной из координатных плоскостей создан эскиз, и в нем построено новое упрощенное сечение (в данном случае оно состоит из 4 сопряженных дуг), потом это сечение вытянуто до другой координатной плоскости. Использование такой управляющей поверхности (2) дает существенно более качественную траекторию, если исходное перо содержит волны, негладкости или дефекты построения, вызывающие резкие колебания нормали, а значит, и оси инструмента, которая обычно с этой нормалью связана (особенно актуально это при работе с импортированной из других систем геометрией). Второй плюс от использования такой поверхности состоит в отсутствии подбора начального и конечного проходов при задании области обработки через процент поверхности (теперь можно работать от 0 до 100%). Третий плюс связан с точностью расчета, и огибание кромок большего радиуса дает лучший результат, чем для кромок

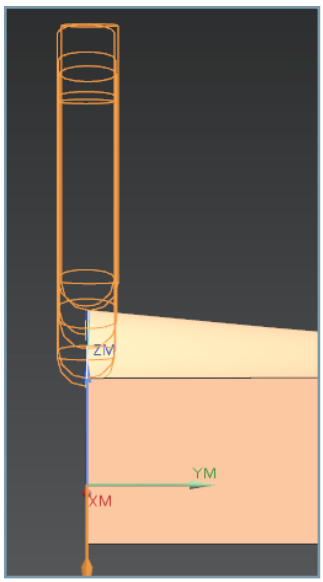


Рис. 16.16. Одна строчка траектории с ориентацией инструмента 4-осевая нормально к ОП

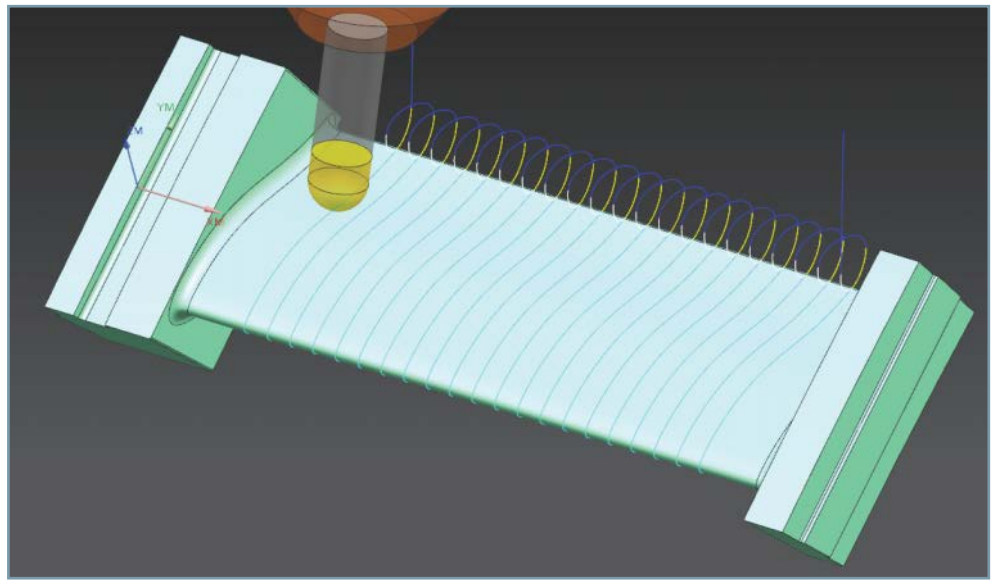


Рис. 16.17. Операция для обработки центральной части пера лопатки

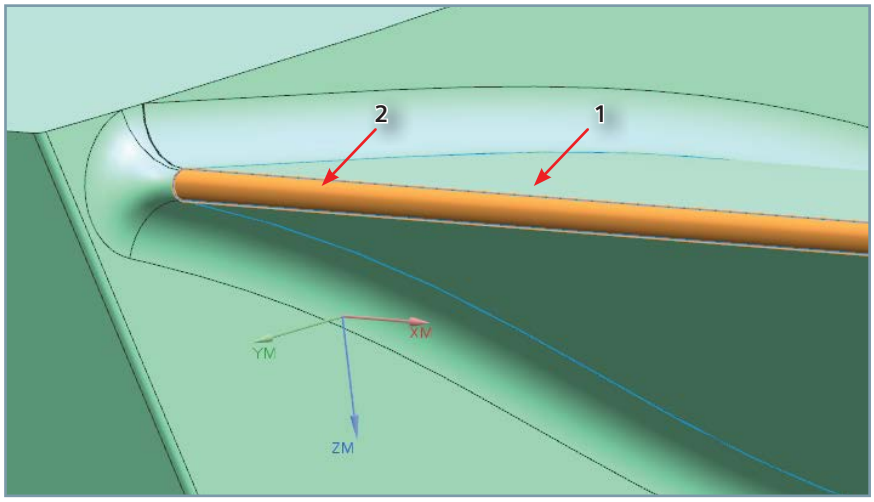


Рис. 16.18. Для задания управляющей геометрии использованы две грани

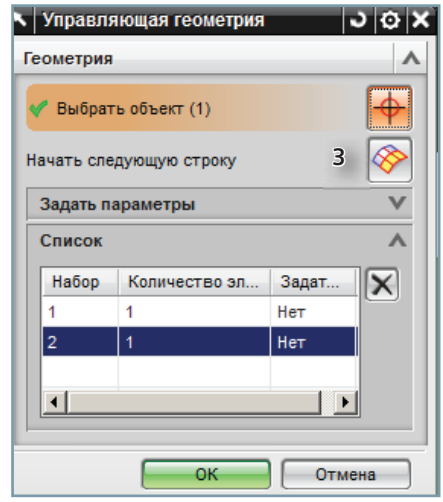


Рис. 16.19. Две грани управляющей геометрии в диалоговом окне показаны списком

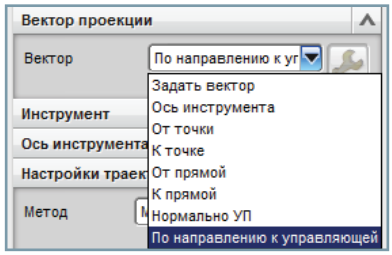


Рис. 16.20. Вектор проекции задан По направлению к управляющей

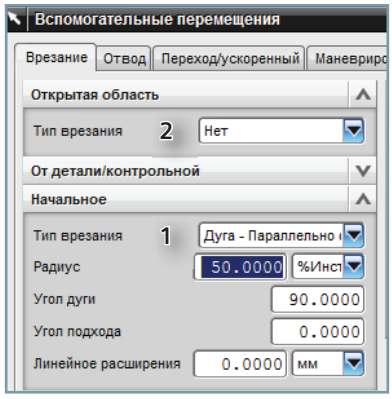


Рис. 16.21. Врезание по дуге задано только для первого прохода

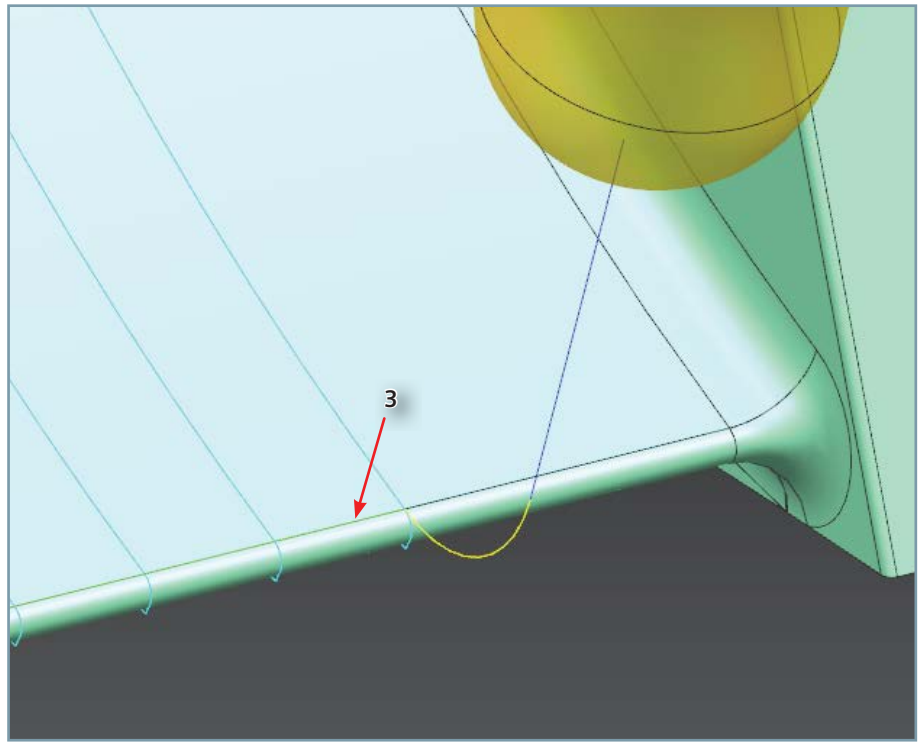


Рис. 16.22. Переходы между проходами осуществляются по поверхности

малого радиуса пера лопатки. Еще плюс – возможность использования скругленных (не шаровых) фрез, которые более производительны, но более чувствительны к качеству управляющей поверхности.

Рисунок 16.28 воспроизводит рис. 16.13, для того чтобы сопоставить методы ориентации инструмента относительно обрабатываемой поверхности (ОП), которые были рассмотрены ранее, и управляющей поверхности (УП). Они практически идентичны (исключение составляет метод **Вдоль УП**, который рассмотрим на другом примере).

- Однопроходный вариант траектории показан на рис. 16.29.
- В примере она сохранена под именем VARIABLE_CONTOUR_SINGLE-DRIVE. В операции использована сборная фреза со сменными пластинами, которая работает с углом опережения 20°.

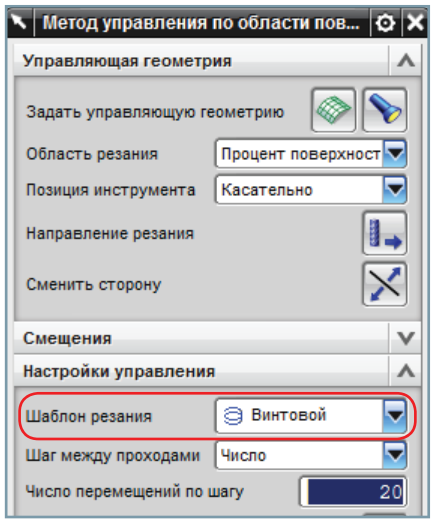


Рис. 16.23. Винтовой (спиральный) шаблон наиболее востребован при обработке лопаток

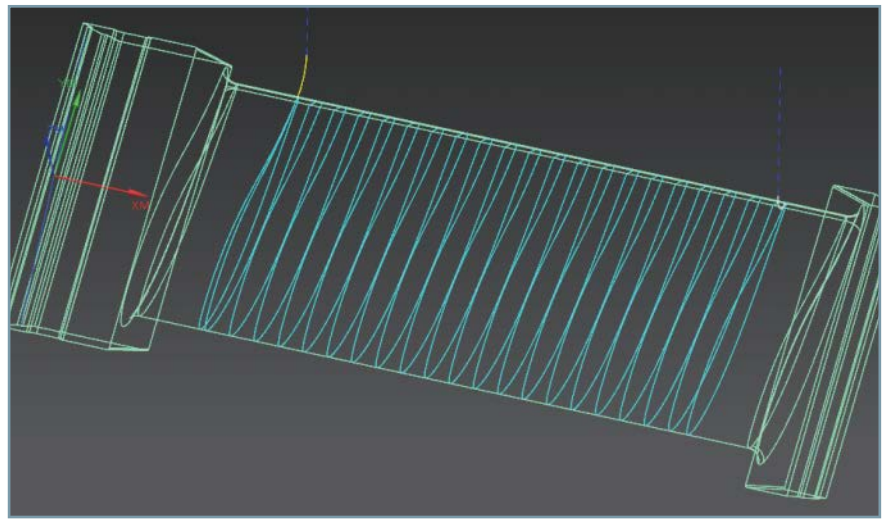


Рис. 16.24. Траектория обработки лопатки, созданная спиральным шаблоном

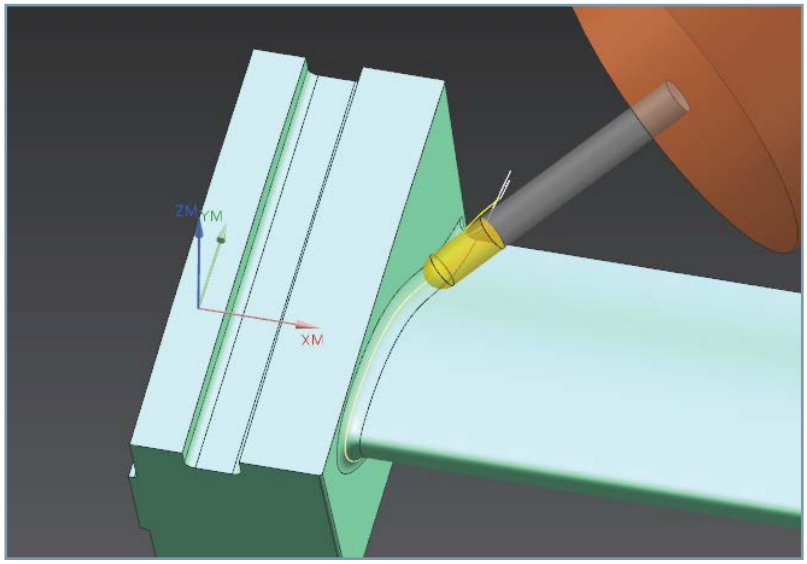
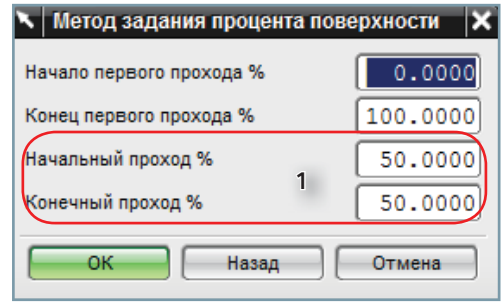


Рис. 16.25. Операция обработки скругления пера и хвостовика лопатки



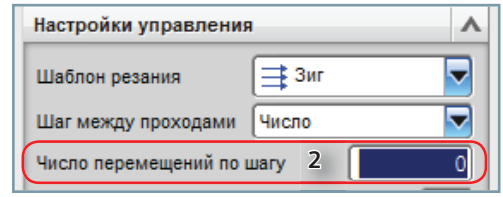


Рис. 16.26. Установки процента поверхности, которые дают один проход

- Поверхность 3 на рис. 16.27 используется для обработки торца хвостовика.
- Она построена на основе общего ребра скругления и торца хвостовика путем смещения этой кривой по грани.
- По двум кривым создана новая поверхность.
- Траектория показана на рис. 16.30, диалоговое окно операции – на рис. 16.31.
- Обратите внимание, что родительской геометрической группой (1) является MCS_MILL (а не WORKPIECE, как в других операциях) и не горит фонарик около команды **Деталь**.
- Это сделано для того, чтобы исключить проецирование на деталь, у нас не везде возможно проецирование при использовании такой УП.
- **Шаблон резания** не проецируется и совпадает с траекторией.
- Часть движений инструмента осуществляется по воздуху, но траектория очень гладкая, что в большинстве случаев предпочтительнее.
- **Ориентация оси инструмента** – **под углом к УП**, угол наклона оси инструмента относительно нормали – 70°.
- Операция в примере сохранена с именем VARCONTOUR_ONLY_DRIVE.

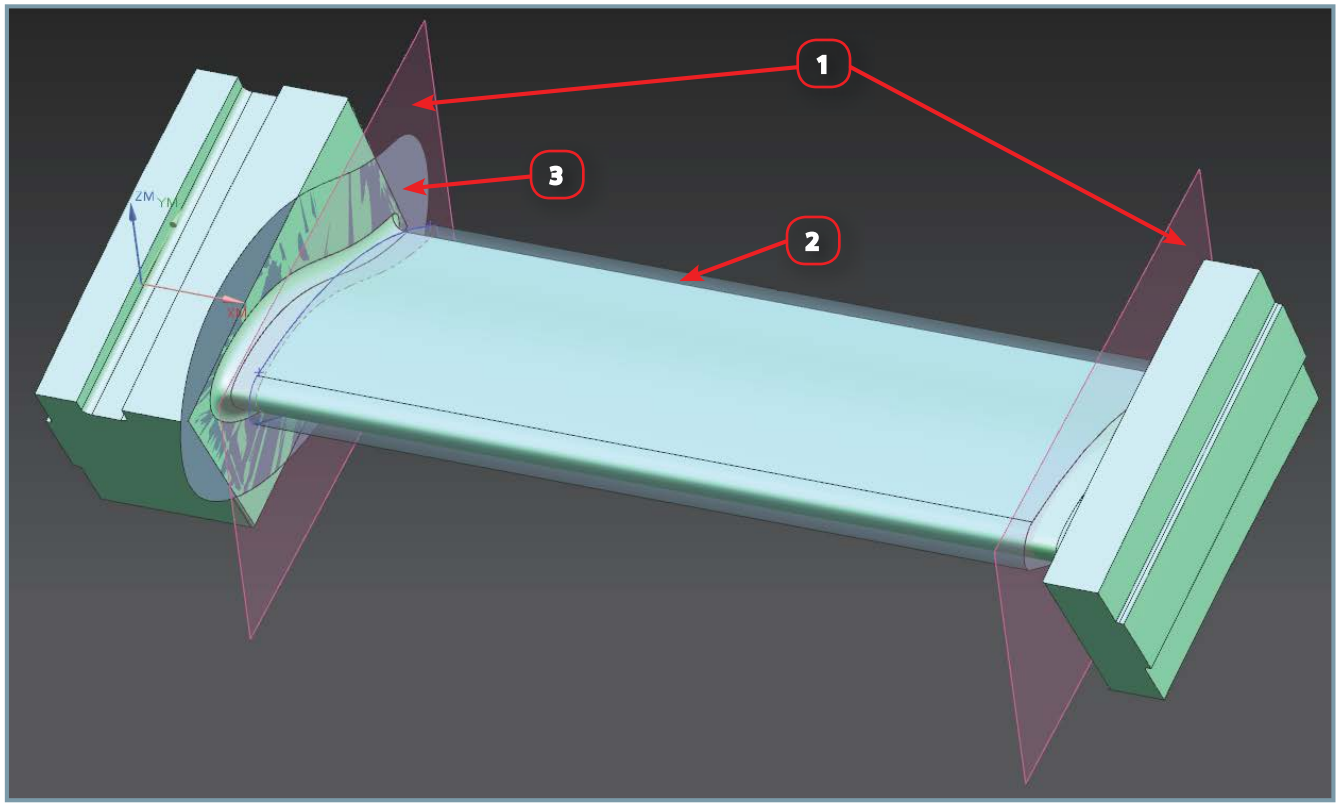


Рис. 16.27. Вспомогательные поверхности, которые используются как управляющие

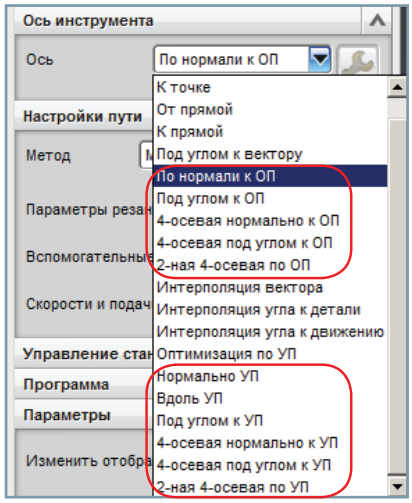


Рис. 16.28. Сопоставление методов ориентации оси инструмента относительно обрабатываемой (ОП) и управляющей (УП) поверхностей

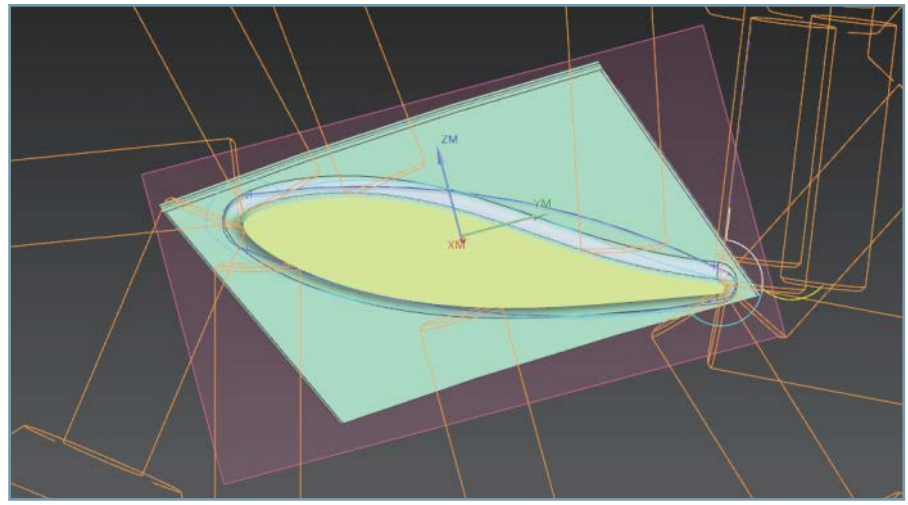


Рис. 16.29. Применение концевых фрез для обработки лопатки возможно при использовании угла опережения инструмента

Обработка винта

Еще один вид изделий, где часто используется операция VARIABLE_CONTOUR, – это винты, шнеки и т. п.

- Откройте пример gear_setup_1.prt. Выберите операцию VARIABLE_CONTOUR (рис. 16.32).

Диалоговое окно операции показывать не будем, все установки аналогичны случаю с обработкой лопатки. Обратите внимание, что управляющая поверхность в этом случае незамкнута и используется шаблон ZIG. Движения между

рабочими ходами осуществляются на высоте безопасности. Ранее говорилось, что объект безопасности (или **Зазор**) задается в геометрической группе MCS_MILL. В 3-осевой обработке речь шла в основном о плоскости безопасности. В 5-осевой обработке объектом безопасности может быть не только плоскость (рис. 16.33), в данном случае используется **Цилиндр безопасности**. Ускоренные перемещения, показанные красным на рис. 16.32, как раз и выполняются по цилиндру безопасности.

Вторая операция в этом примере VARICONTOUR_BOTTOM – это одиночный проход по дну впадины винта (рис. 16.34). В ней использован тот же подход, что и для обработки скругления лопатки.

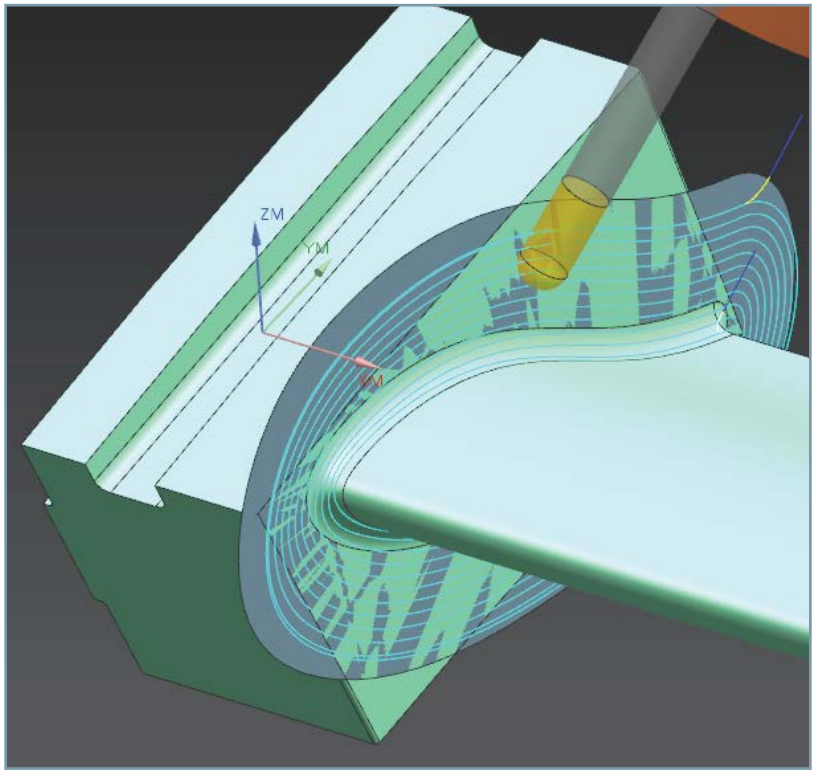


Рис. 16.30. Управляющая поверхность для обработки хвостовика

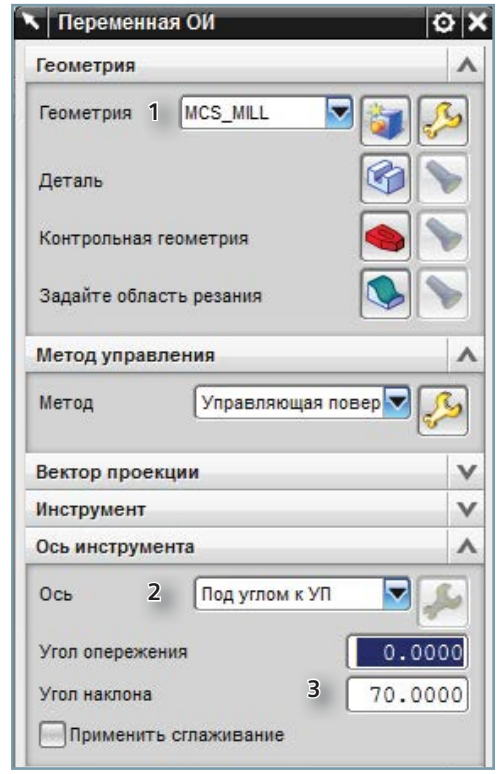


Рис. 16.31. Обрабатываемая геометрия не задана, чтобы исключить проецирование шаблона обработки

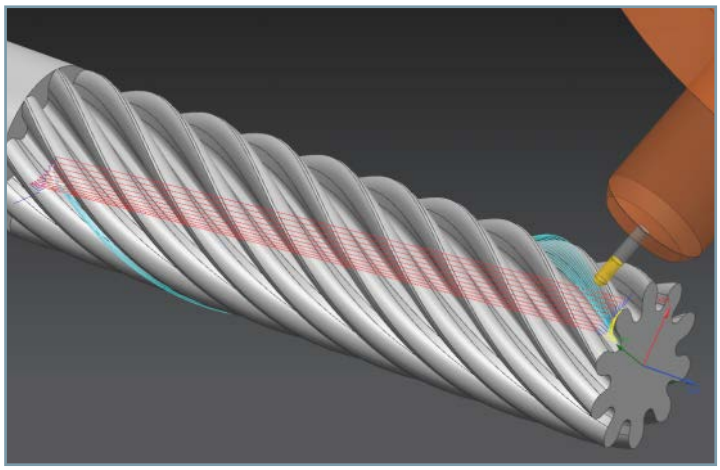


Рис. 16.32. Пример винта, где также актуально использование операции VARIABLE_CONTOUR

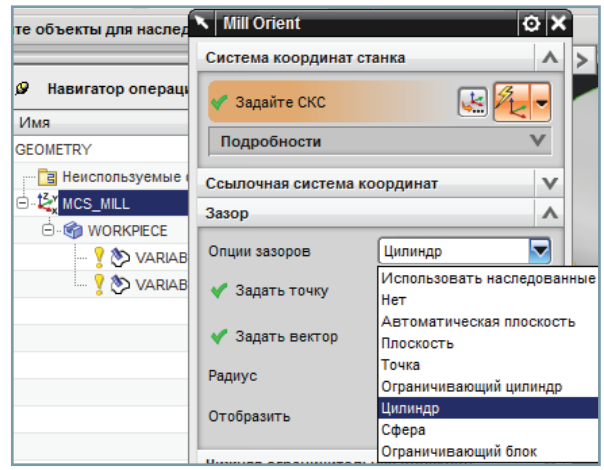


Рис. 16.33. Использование цилиндра безопасности для переходов между проходами

Операция 5-осевая вдоль потока – VARIABLE_STREAMLINE

3-осевая операция STREAMLINE была рассмотрена в главе 10, в этом разделе рассмотрим ее 5-осевой аналог. В отличие от операции VARIABLE_CONTOUR, эта операция не требует упорядоченной сетки граней и нечувствительна к способу построения управляющей поверхности, что позволяет более гибко задавать область резания.

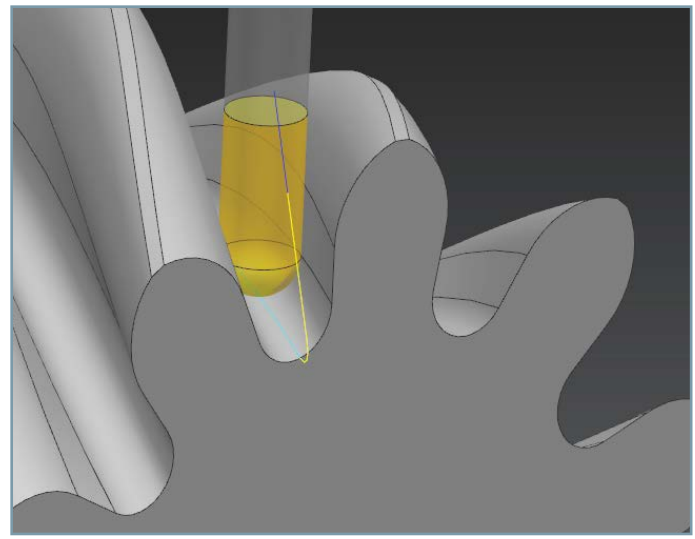


Рис. 16.34. Траектория как одиночный проход по дну впадины винта

- Откройте пример varstream_setup_1.prt.
- Необходимо выполнить чистовую обработку стенок криволинейного канала (рис. 16.35).
- В примере имеются три операции с различными параметрами.
- Выберите операцию VARSTREAMLINE_ONLY_STREAM, откройте диалоговое окно операции (рис. 16.36).
- В ней задана область резания (1) путем выбора всех граней канала, **Метод управления** – **Вдоль потока** (2). **Вектор проекции** – **По направлению к управляющей** (3).
- **Ось инструмента** задана значением **К точке** (4).
- При такой ориентации ось инструмента всегда смотрит в заданную точку. Координаты точки приходится подбирать для возможности доступа инструмента к обрабатываемым поверхностям.
- Все три операции похожи, отличия состоят в параметрах метода управления.
- В этой операции кривые потока определены автоматически по области резания.
- Откройте диалоговое окно параметров метода управления.
- В графической области будет отображен **Шаблон управления** (рис. 16.37), шаблон задан двумя кривыми потока.
- Траектория в этом случае не совсем гладкая, так как шаблон не прилегает к обрабатываемым поверхностям.
- Траекторию можно существенно улучшить, задав кривые поперечных сечений. Это и сделано в операции VARSTREAMLINE_WITH_CROSS, шаблон управления показан на рис. 16.38.

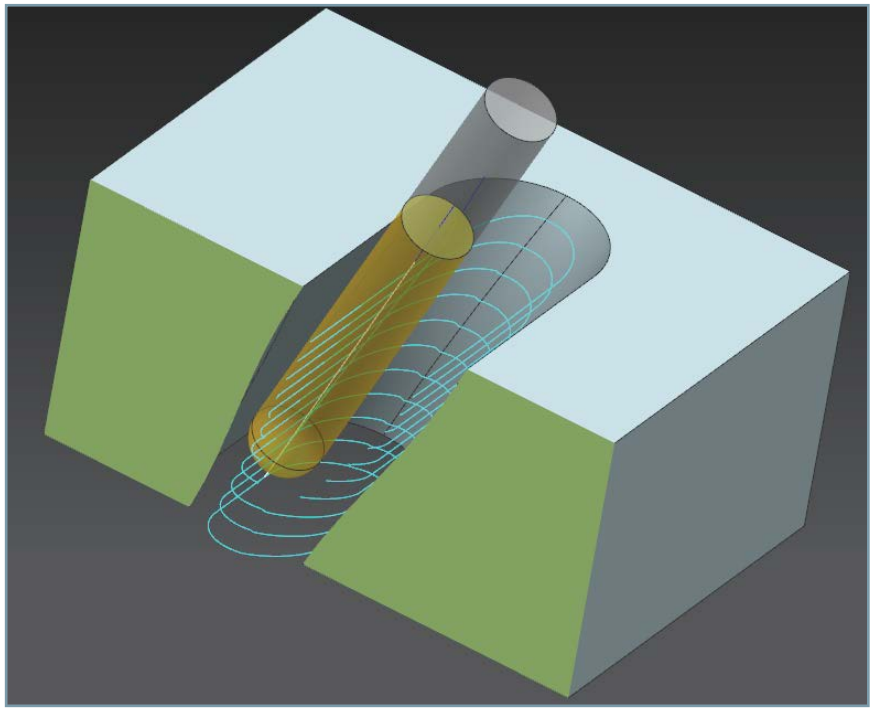


Рис. 16.35. Чистовая обработка стенок криволинейного канала

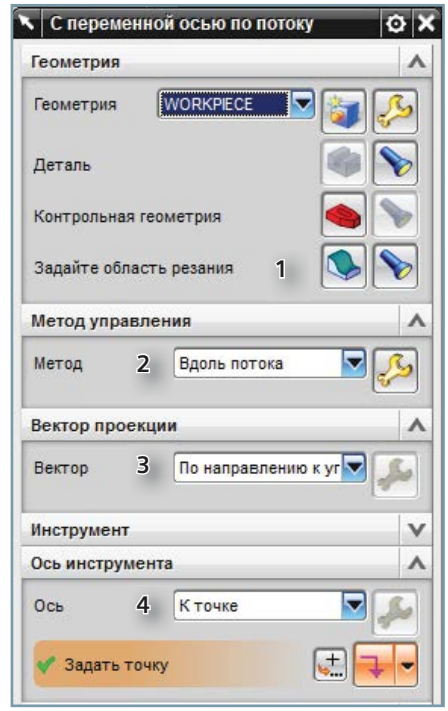


Рис. 16.36. Диалоговое окно операции VARIABLE_STREAMLINE

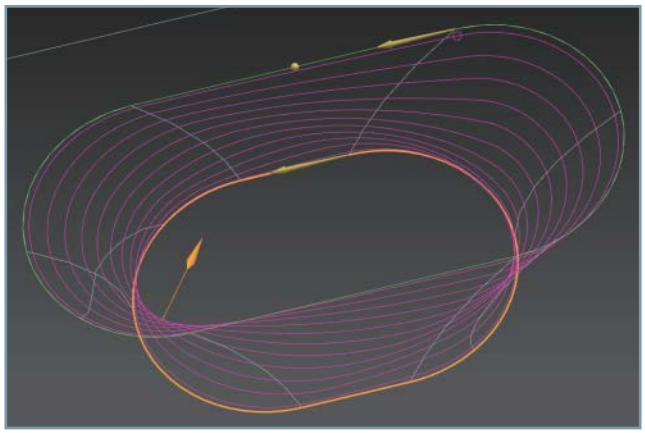


Рис. 16.37. Шаблон управления только по кривым потока

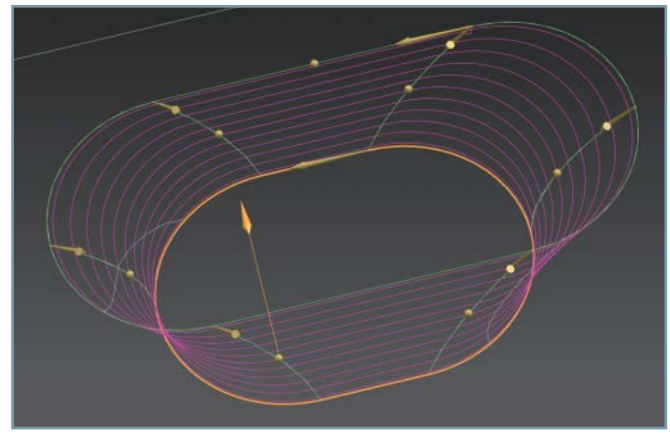


Рис. 16.38. Шаблон управления с использованием кривых потока и поперечного каркаса

- Из рисунка видно, что, помимо двух кривых потока, заданы 6 поперечных кривых (видно по наличию маркеров), что обеспечило лучшее прилегание шаблона к поверхности.
- В диалоговом окне параметров метода управления все эти кривые отображены в соответствующих списках. Управление ими аналогично 3-осевой операции STREAMLINE.

Операция VARSTREAMLINE_SPIRAL использует спиральный шаблон резания, что в данном случае дает наилучший результат.

Обработка лопатки (продолжение)

Операция VARIABLE_STREAMLINE может использоваться и для обработки лопаток, часто ее использование даже предпочтительнее, так как проще в управлении.

- Откройте уже знакомый нам пример blade_setup_1.prt.
- В операции STREAMLINE_BLADE_NOBALL применены линии потока, как на рис. 16.39.
- Эта операция позволила использовать нешаровый инструмент без дополнительных построений (рис. 16.40).
- И наконец, обработка торца хвостовика может выполняться по двум кривым, заданным как кривые потока (рис. 16.41), что также не требует создания управляющей поверхности.
- Результат будет аналогичен показанному на рис. 16.30, но получен он будет заметно быстрее.

Также важно, что операции VARIABLE_CONTOUR и VARIABLE_STREAMLINE используют разные расчетные алгоритмы, это позволяет выбрать лучший результат в том или ином случае.

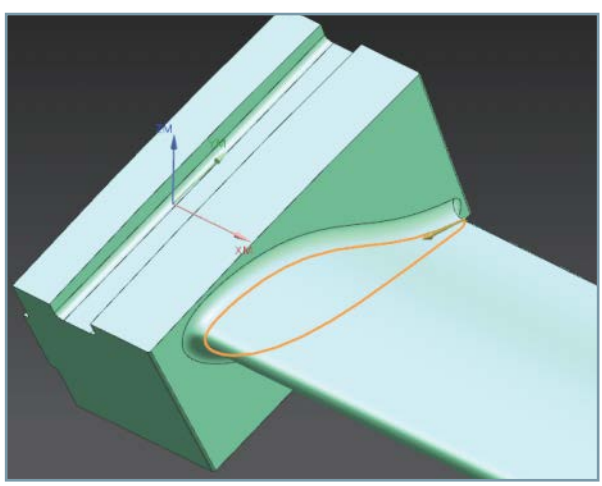


Рис. 16.39. Линии потока можно использовать вместо управляющих поверхностей

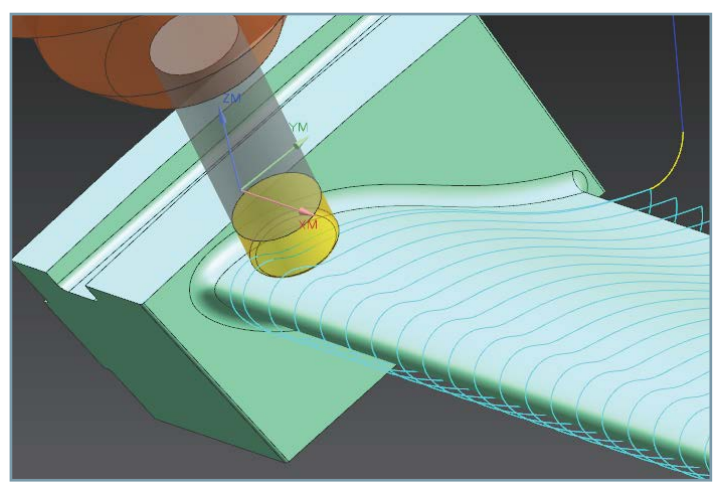


Рис. 16.40. Траектория обработки лопатки на основе операции VARIABLE_STREAMLINE

Управление подачей и переменный угол опережения

Рассмотрим еще две полезных возможности, используемые при обработке лопаток.
Это использование разной подачи на поверхности лопатки и на ее кромках, что дает существенный рост производительности за счет более быстрого огибания кромок.
Также в NX есть специальный способ задания ориентации оси инструмента – **Оптимизация по УП**, позволяющий использовать высокопроизводительные торовые фрезы большого диаметра даже на лопатках большой кривизны. При этом меньший угол опережения дает лучшую шероховатость поверхности, но возможно врезание задней частью фрезы. При этом способе выдерживается зазор в задней части инструмента за счет переменного угла опережения. Эта опция отдельно лицензируется.
Для иллюстрации сказанного нужен пример лопатки с большой кривизной.

- Откройте пример blade2.prt (рис. 16.42).

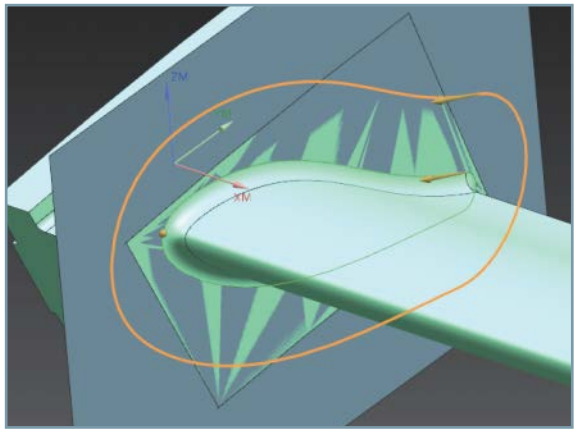


Рис. 16.41. Обработка торца хвостовика по двум кривым, заданным как кривые потока

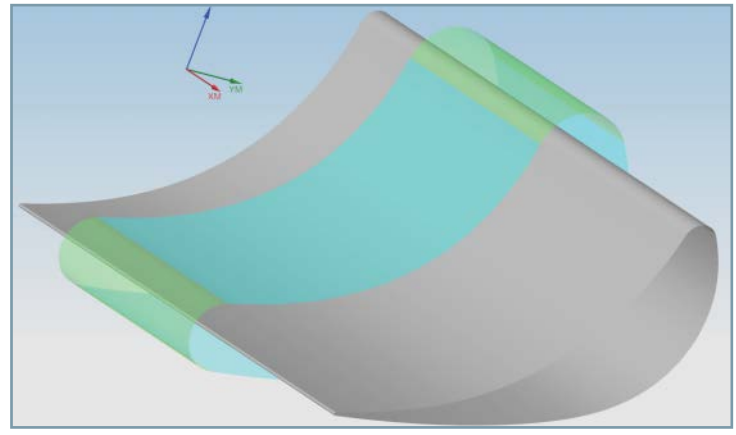


Рис. 16.42. Управляющая геметрия для управления подачей на кромках лопатки

Здесь имеются обрабатываемая геометрия (показана серым) и управляющая геметрия (показана голубым и зеленым цветами). Чтобы иметь возможность задать индивидуальные подачи разным частям управляющей геометрии, надо, чтобы они воспринимались разными гранями (поверхностями). В NX это возможно, надо только, чтобы эти грани образовывали как бы строки (были смежными и имели согласованную внутреннюю структуру).

- Откройте диалоговое окно операции VARIABLE_CONTOUR и, далее, диалоговое окно задания управляющей геометрии (рис. 16.43).
- Здесь все задано, разберем порядок действий.

При задании управляющей геометрии последовательно указываются смежные грани. Управляющая геометрия может содержать несколько рядов смежных граней, тогда при переходе к следующему ряду надо выполнить команду **Начать следующую строку** (1). В случае одного ряда это не требуется. Управляющая геометрия организуется в список (2), для каждого элемента списка можно задать свой припуск (здесь нам не актуально) и подачу (3). Если эта возможность используется, то подача, связанная с конкретной управляющей поверхностью, отображается и в графической области.

- Закройте диалоговое окно операции.
- Откройте диалоговое окно операции VARIABLE_CONTOUR_VAR_LEAD, здесь ось инструмента задана параметром **Оптимизация по УП**.
- Выполните команду **Изменить** – ключик рядом со значением параметра ориентации оси инструмента.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 16.44).

Основной параметр **Мин. Зазор в нижней части инструмента** (1). На рис. 16.45 показан инструмент в одной из точек траектории, значение этого параметра показано стрелкой. Помимо этого, можно задать **Максимальный** (2) и **Номинальный углы опережения** (3). Первоначально вместо значения **Задать** используйте **Нет,** тогда значения углов не запрашиваются и система при расчете имеет максимум свободы. Углы можно задать явно при необходимости. Параметр **Применить сглаживание** (4) дает лучшее качество траектории, однако он доступен не для всякого сочетания параметров.

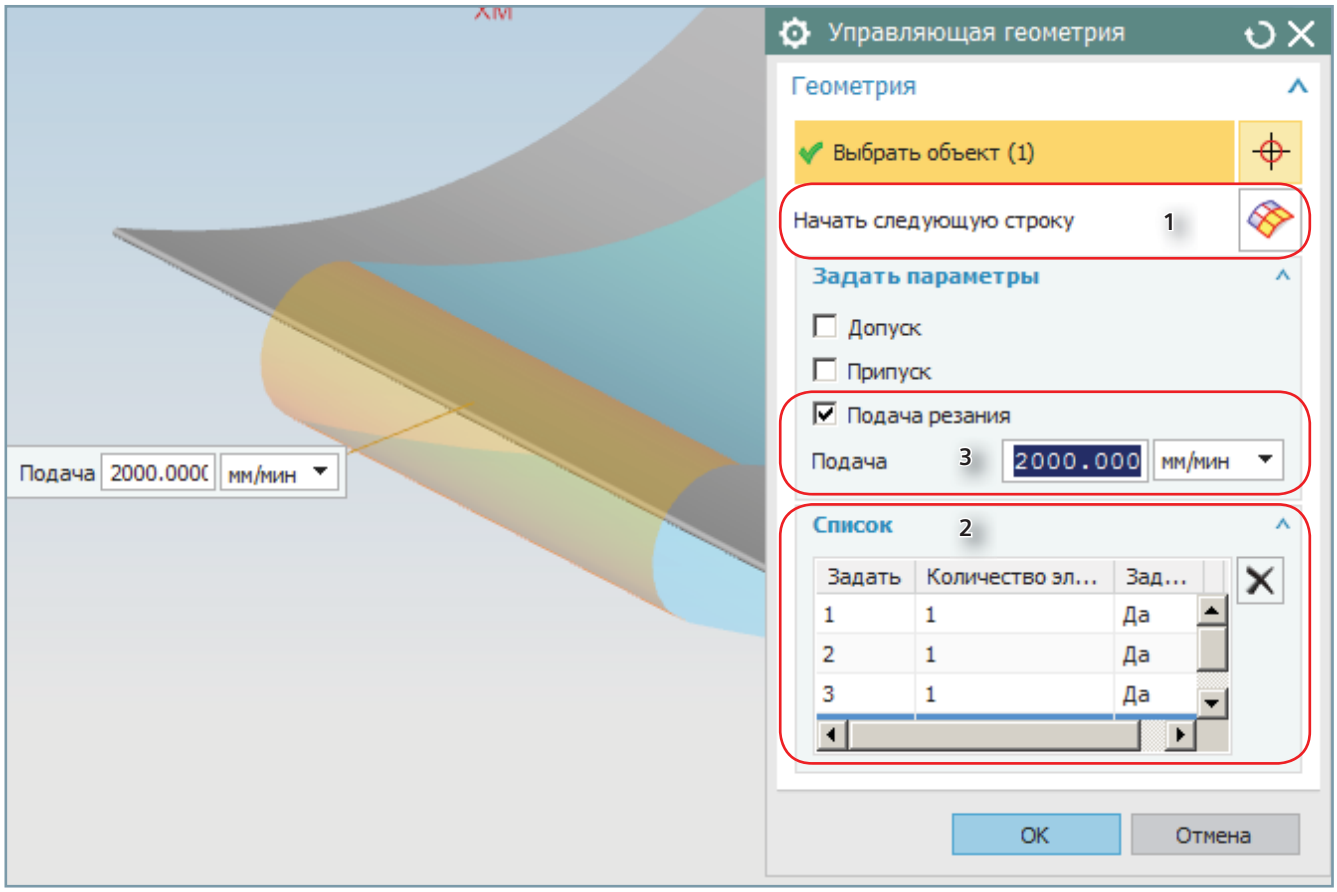


Рис. 16.43. Для разных граней управляющей геометрии возможно задание отдельной подачи

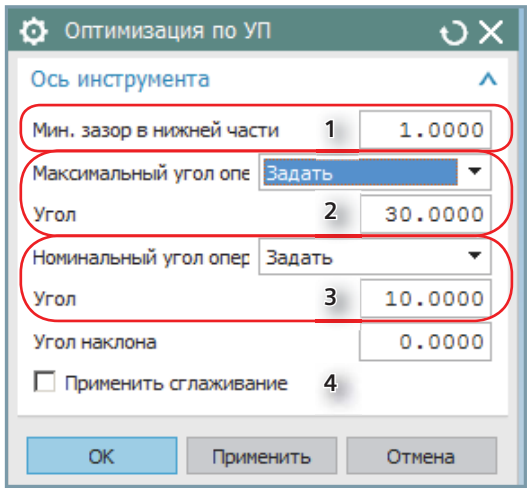


Рис. 16.44. Параметр оси инструмента Оптимизация по УП для использования переменного угла опережения

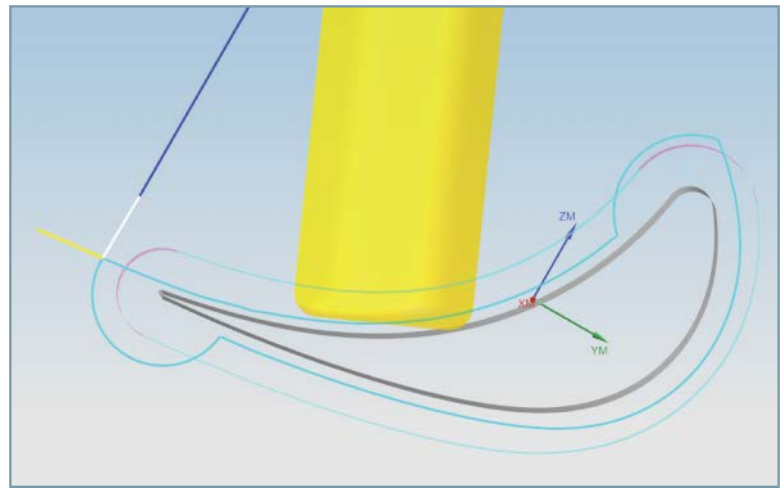


Рис. 16.45. Параметр Мин. Зазор в нижней части инструмента также полезен при использовании нешаровых фрез

Глава 17

5-осевая непрерывная обработка (продолжение)

Содержание главы

- Операция Профиль по контуру – CONTOUR_PROFILE
- Операция Контурная с переменной ОИ – Интерполяция вектора
- Операция 5-осевая по Z-уровням – ZLEVEL_5AXIS
- Операция Обработка цилиндра -ROTARY_FLOOR
- Функция отклонения оси инструмента для преобразования операций

5-осевая непрерывная обработка (продолжение)

Операция Профиль по контуру – CONTOUR_PROFILE

Эта операция в основном предназначена для обработки наклонных стенок, представляющих линейчатые поверхности, боковой стороной инструмента. Одна из образующих линейчатой поверхности – прямая линия, именно в этом направлении возможно позиционирование инструмента боковой стороной вдоль поверхности. Это операция с высоким уровнем автоматизации. Достаточно задать дно кармана, и система автоматически находит стенки и позиционирует по ним инструмент, причем ось инструмента обеспечивает плавный переход между стенками, расположенными под углом друг к другу.
Имеются и другие режимы работы данной операции.

- Откройте пример ufd_vap_case1_setup_1.prt.
- Выберите операцию CONTOUR_PROFILE1, операция будет отображена (рис.17.1).
- Обратите внимание, что дно кармана в данном случае не плоское.
- В операции также включено отображение инструмента для наглядности, и видно, что инструмент спозиционирован вдоль стенок.
- Дважды щелкните по операции. Откроется диалоговое окно операции (рис. 17.2).
- В операции задан только **Пол** (1), при включенном флаге **Стенки автоматически** (2) можно сразу генерировать операцию.
- **Метод управления** задан как **Профиль по контуру** (3), и имеется команда доступа к параметрам метода управления, **Ось инструмента** (4) – **Автоматически**, **Вектор доступа** (5) задан как +ZM.
- Часто вообще нет необходимости изменять эти установки. Однако возможность внесения изменений бывает очень полезна в сложных случаях.
- Теперь рассмотрим варианты операции.
- Создайте копию операции и в копии выключите флаг **Стенки автоматически**.
- Задайте стенки явно, как показано на рис. 17.3.
- Сгенерируйте операцию, результат показан на рис. 17.4.

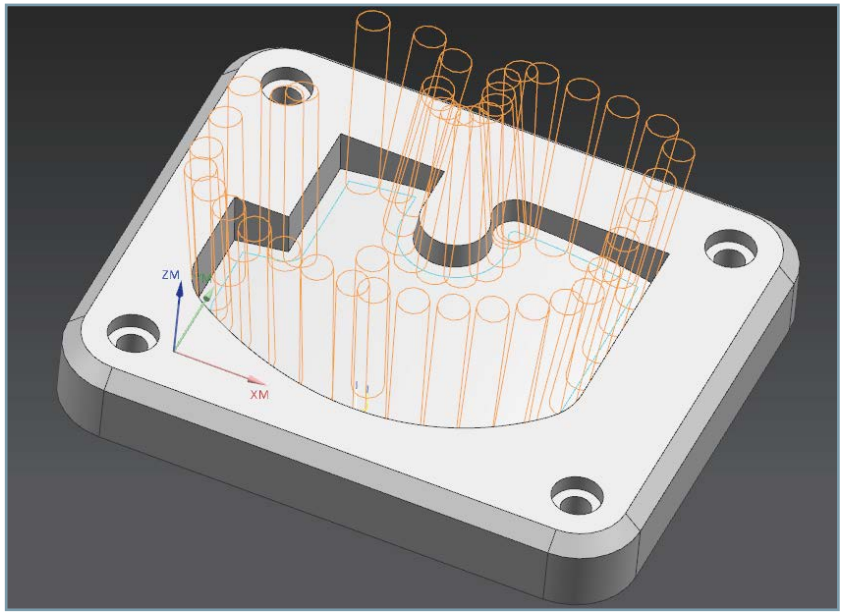


Рис. 17.1. Пример детали, где также актуально использование операции CONTOUR_PROFILE

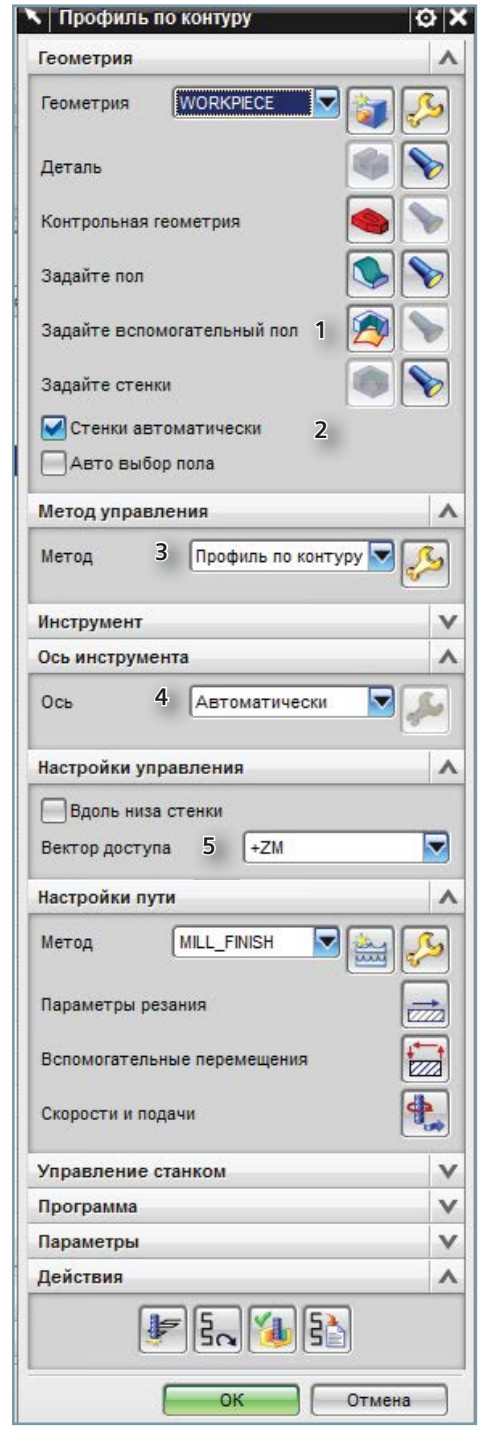


Рис. 17.2. Диалоговое окно операции CONTOUR_PROFILE

- Операция может быть многопроходной.
- Снова создайте копию операции.
- Управление проходами находится в **Параметрах резания** на отдельной вкладке (рис. 17.5).
- Возможны как проходы по глубине (1), так и боковые проходы (2).
- В копии задайте параметры как на рисунке и сгенерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 17.6.

Среди параметров резания (рис. 17.7) имеется **Угол наклона** оси инструмента от стенки (3), что полезно при выполнении чистового прохода вдоль низа стенки при работе вблизи высоких стенок.
Параметры **Вспомогательные перемещения** (Перемещения без резания) нам в основном уже знакомы. Отметим, что для 5-осевых контурных операций имеется значительно больше возможностей по назначению врезаний и отводов (рис. 17.8). Например, возможны 4 варианта задания врезания по дуге.

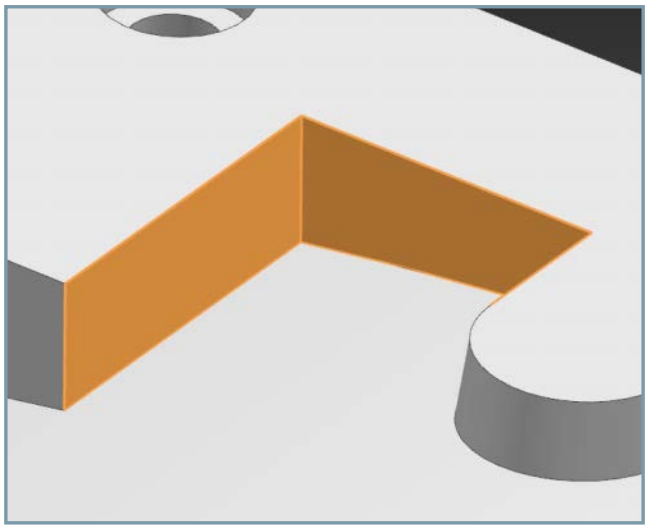


Рис. 17.3. Вариант задания стенок явно в операции CONTOUR_PROFILE

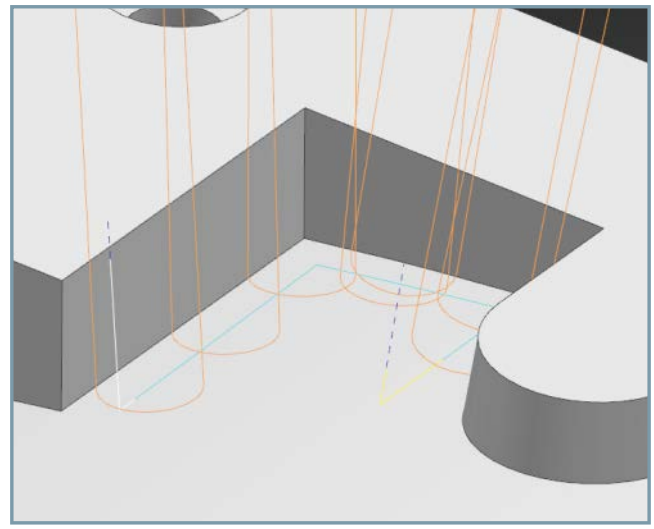


Рис. 17.4. Результирующая траектория при выборе стенок как на рис. 17.3

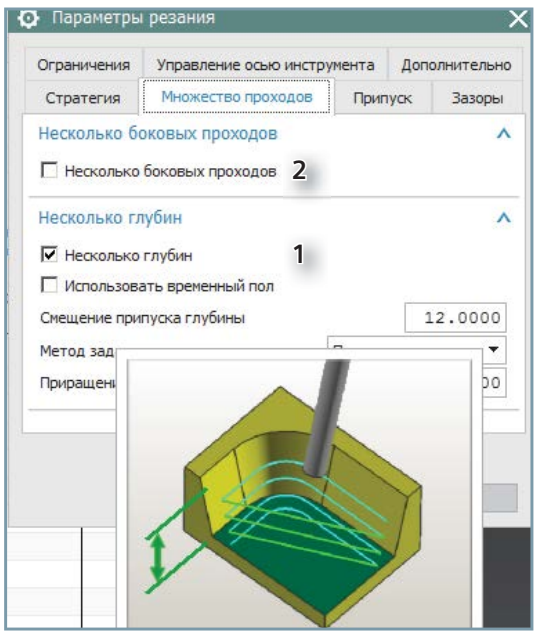


Рис. 17.5. Управление проходами находится в Параметрах резания – Множество проходов

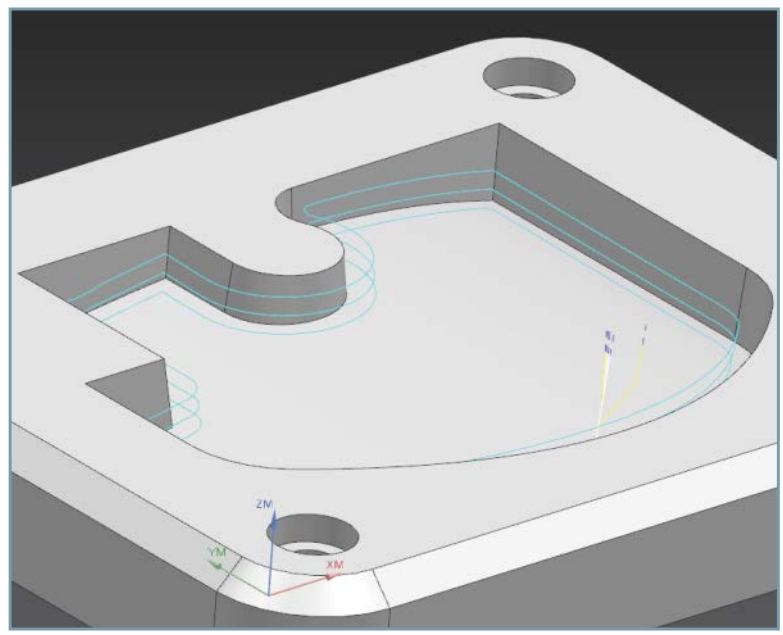


Рис. 17.6. Многопроходный вариант операции CONTOUR_PROFILE

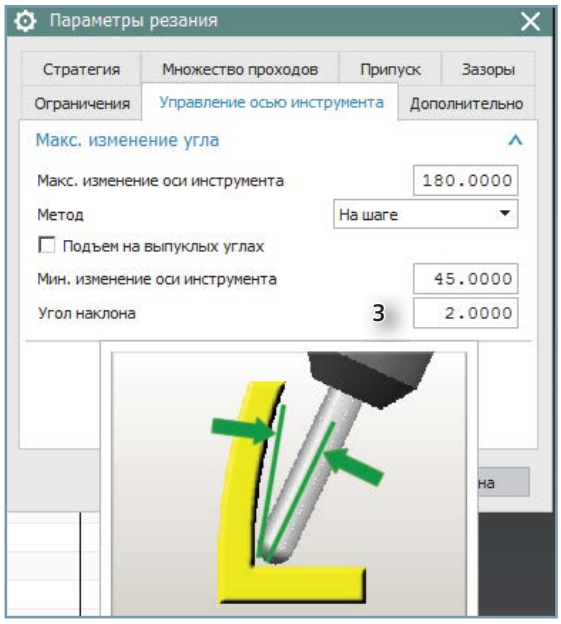


Рис. 17.7. Расположение параметра Угол наклона оси инструмента от стенки

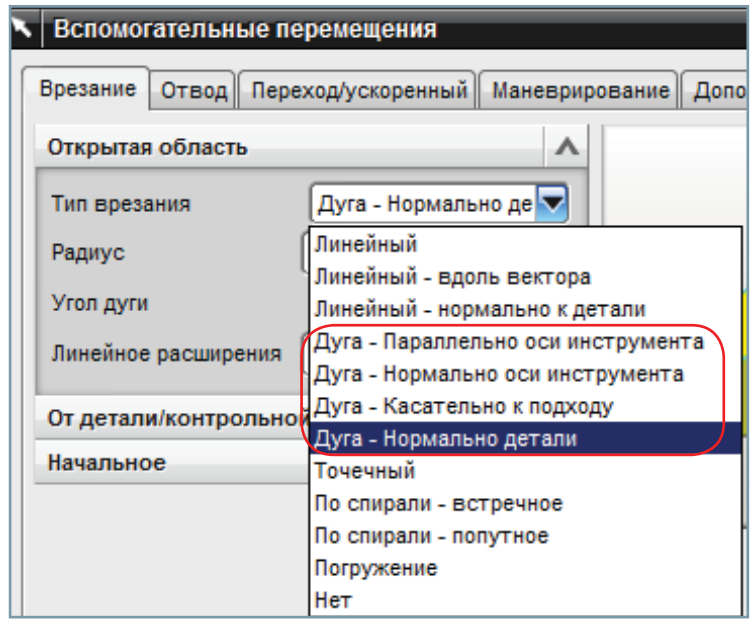


Рис. 17.8. Разные варианты врезания в диалоговом окне вспомогательных перемещений

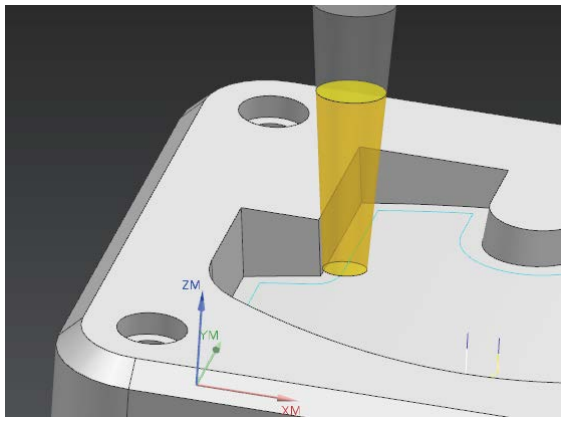


Рис. 17.9. Операция поддерживает конический инструмент

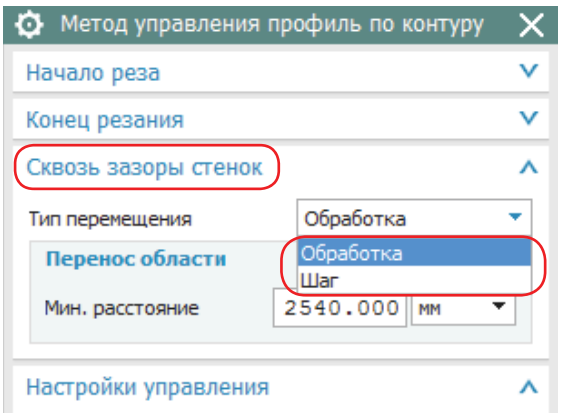


Рис. 17.10. Параметр Сквозь зазоры стенок восстанавливает проходы там, где стенка отсутствует

Упомянем и возможность использования конического инструмента в операции. Такой инструмент достаточно часто используется для обработки наклонных стенок.

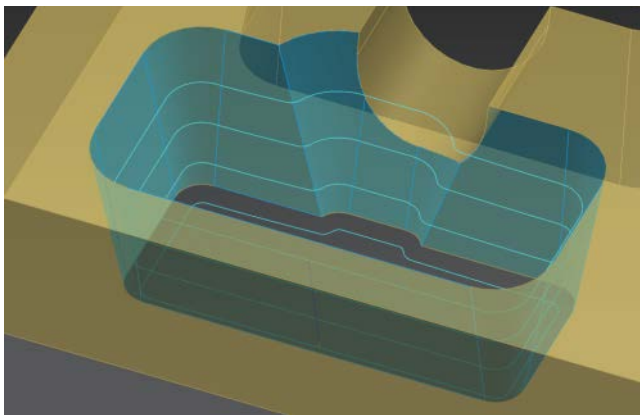
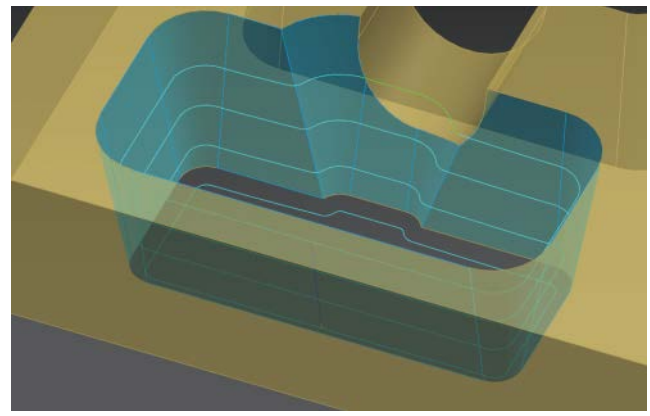
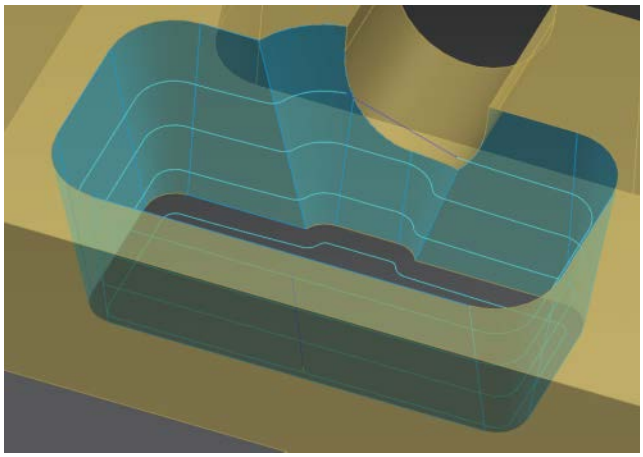
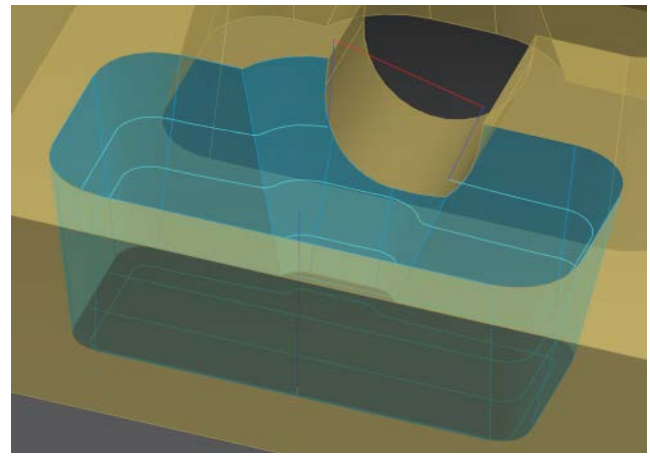
- Снова создайте копию первой операции и в копии переопределите инструмент на конический.
- Сгенерируйте операцию и выполните ее верификацию (рис. 17.9).

Операция заметно развивается с выходом новых версий NX. Например, теперь она позволяет восстанавливать рабочие ходы траектории для стенок с вырезами или стенок разной высоты.

- Откройте пример cont_prof_gaps_setup_1.prt.
- В нем имеется операция WALL_GAP-CUT, это операция **Профиль по контуру**.
- Выберите ее. Попутно заметим, что в операции **Пол** не задан, обрабатываются только стенки.

В методе управления появились дополнительные параметры, входящие в группу **Сквозь зазоры стенок** (рис. 17.10): тип перемещения и минимальное расстояние, на котором разрешено это перемещение.
Тип перемещения в этой операции установлен в значение **Обработка**, что позволяет восстановить рабочий ход инструмента на участке, где стенка отсутствует (1, табл. 17.1).
Второе значение этого параметра – **Шаг** (то есть тип движения будет Шаг, для этого типа движения можно применить другую подачу). В зависимости от установок **Вспомогательные перемещения (Движений без резания) – Переход** и параметра **Минимальное расстояние** движение на участке, где стенка отсутствует, может выполняться как рабочее, но на другой подаче – показано зеленым (2, табл. 17.1), либо по прямой, либо на высоте безопасности. Эти случаи также показаны в таблице.

Таблица 17.1

	
1. Сквозь зазоры стенок – обработка	2. Сквозь зазоры стенок – шаг
	
3. Сквозь зазоры стенок – шаг, переход – по прямой	4. Сквозь зазоры стенок – шаг, переход – на высоте безопасности

- Создайте три копии операции и воспроизведите описанные траектории.
- Альтернативно можно открыть пример cont_prof_gaps_setup_1fin.prt, где эти траектории созданы.

Для явного задания точек начала и конца проходов используется команда задания параметров метода управления.

- Снова создайте копию первой операции и в копии выполните команду задания параметров метода управления.
- Появится диалоговое окно метода управления.
- В этом диалоговом окне установите положение **Начальной** (1) и **Конечной точки** (2) в значение **Задаваемый пользователем** (рис. 17.11) и задайте точки начала и конца реза, как показано.
- Задайте параметр **Расширение расстояния** для обоих случаев = 5 мм (можно сначала сгенерировать операцию для нулевого расширения, чтобы наглядно увидеть действие этого параметра).
- Нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию, результат показан на этом же рисунке.

Управление точкой подхода к замкнутому контуру в этой операции аналогично 3-осевым операциям.
Это обеспечивается установкой параметра **Начало области** в значение **Средняя точка** (рис. 17.12), который находится в диалоговом окне **Вспомогательные перемещения – Точки начала/сверления**. При этом ничего указывать не надо. Точку можно указать явно, используя параметр **Задание точки** (2). При обработке нескольких карманов в одной операции можно сформировать список точек (3); если их возможно применить, система их применяет, если нет, то игнорирует.

- Продолжаем работать с предыдущим примером.
- В операции START_POINT_MIDDLE точка подхода к контуру расположена на середине самой длинной стороны (рис. 17.13).

- Создайте копию операции и в копии измените параметр **Начало области** в значение **Угол**.
- Сгенерируйте операцию.
- NX добавит движения врезания/отвода в одном из выпуклых углов (рис. 17.14).
- Если углов несколько и надо использовать другой угол, то явно укажите точку нужного угла.

Разберем еще пример обработки выпуклой поверхности операцией **Профиль по контуру**. В этой операции имеется специальный параметр для смещения точки контакта по оси инструмента. Его использование позволяет значительно уменьшить число проходов в траектории при одинаковых требованиях по допуску.

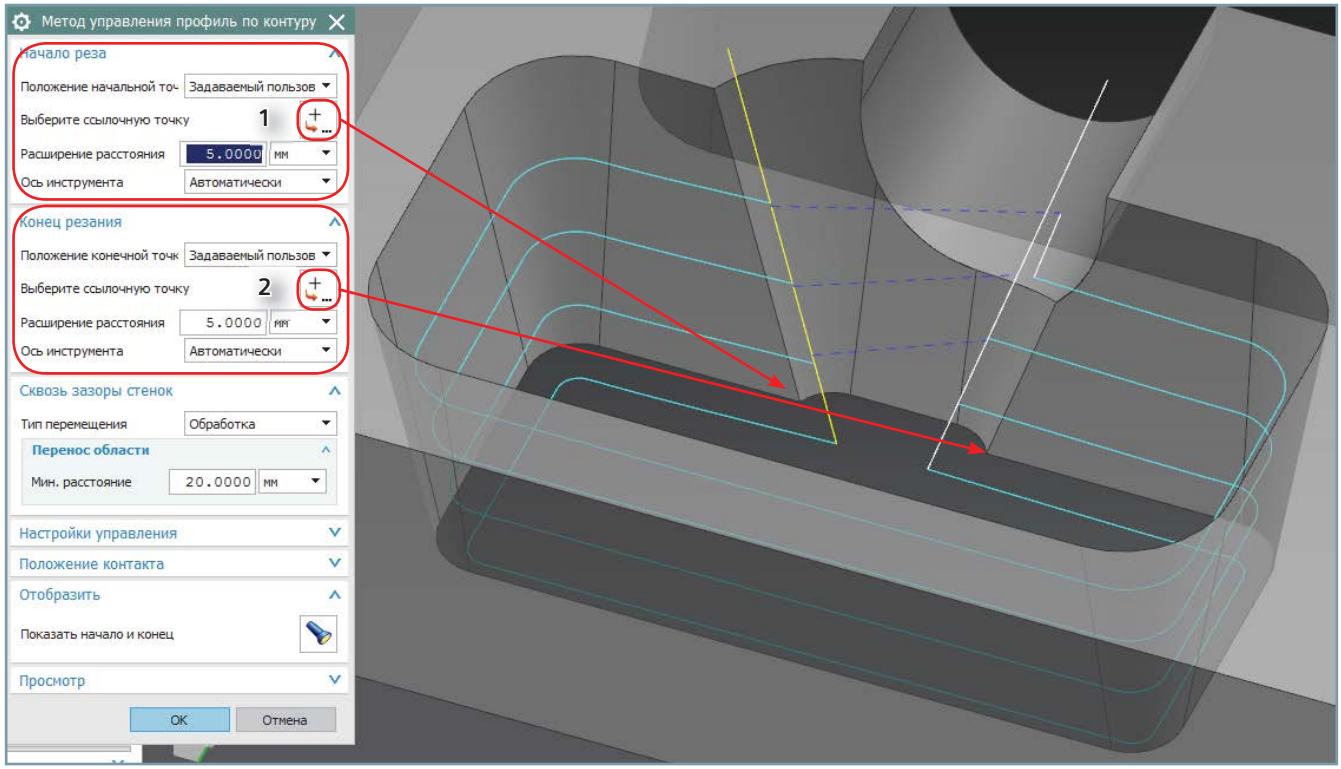


Рис. 17.11. Вариант операции с явным заданием начальной и конечной точек

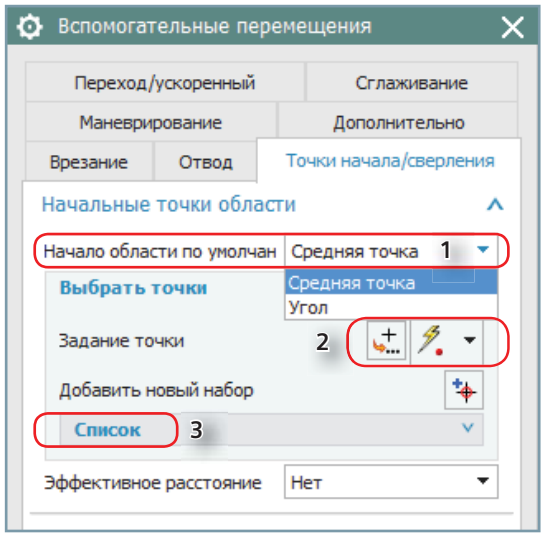


Рис. 17.12. Параметр Начало области задает точку подхода к контуру

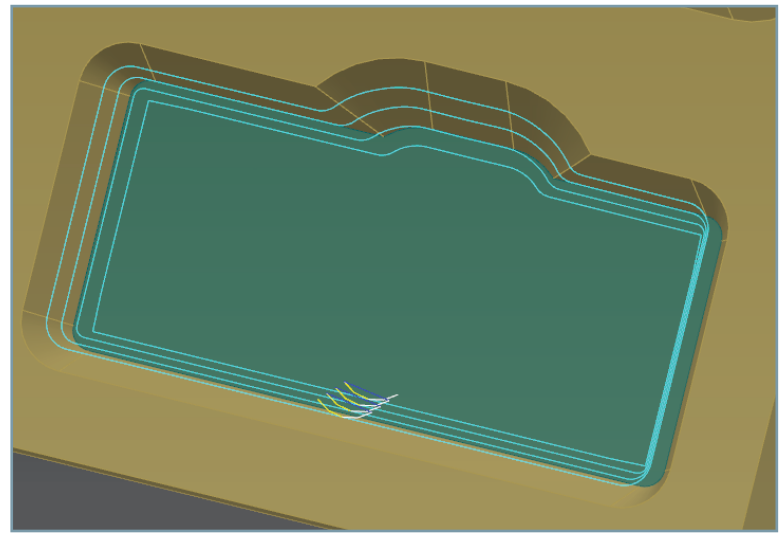


Рис. 17.13. Вариант операции, где точка подхода к контуру расположена на середине самой длинной стороны

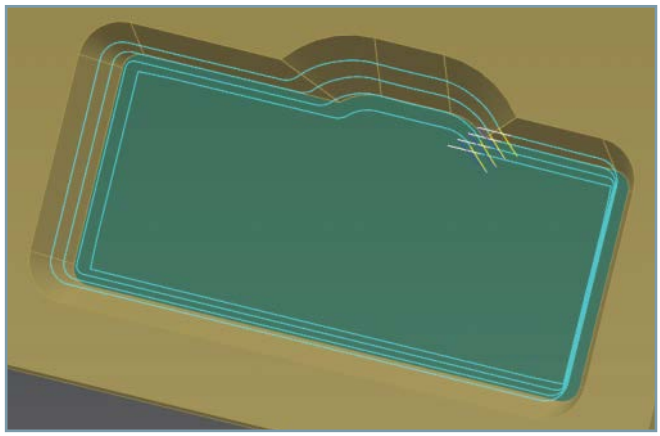


Рис. 17.14. Вариант операции, где точка подхода к контуру расположена на выпуклом угле

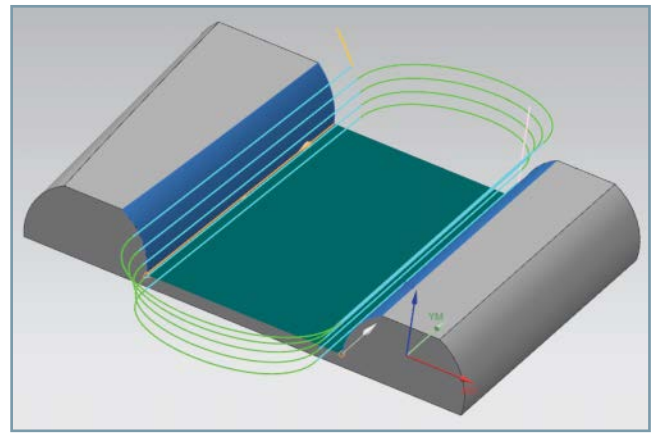


Рис. 17.15. Пример, иллюстрирующий смещение точки контакта по оси инструмента

- Откройте пример cont_ring_height.prt (рис. 17.15).
- В нем имеется траектория обработки стенок, примыкающих к впадине.

Условно будем считать эту модель участком зубчатой рейки. Если размеры зубьев велики, то возможно их обрабатывать обычным инструментом множеством проходов боковой стороной фрезы.

- Выполните верификацию имеющейся операции со съемом материала.
- Как можно видеть, на поверхности остается довольно большой гребешок.
- Сделайте копию операции, в ней откройте диалоговое окно метода управления. Параметр **Высота кольца** задан значением Нет (рис. 17.16).
- Рисунок 17.17 показывает положение точки контакта: а – нет смещения; б – смещение 4 мм; в – смещение задано, но при приближении ко дну не выполняется.
- Задайте значение **Постоянный** и равный 4 мм, сгенерируйте операцию. Выполните верификацию.
- Величина гребешка при том же значении проходов стала заметно меньше за счет смещения точки контакта инструмента с выпуклой поверхностью.
- Также обратите внимание, что при приближении ко дну смещение уменьшается вплоть до 0 для предотвращения врезания в дно.

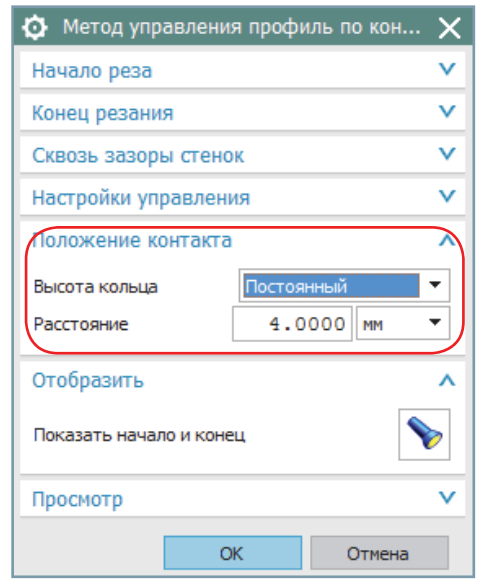


Рис. 17.16. Расположение параметра, задающего смещение точки контакта

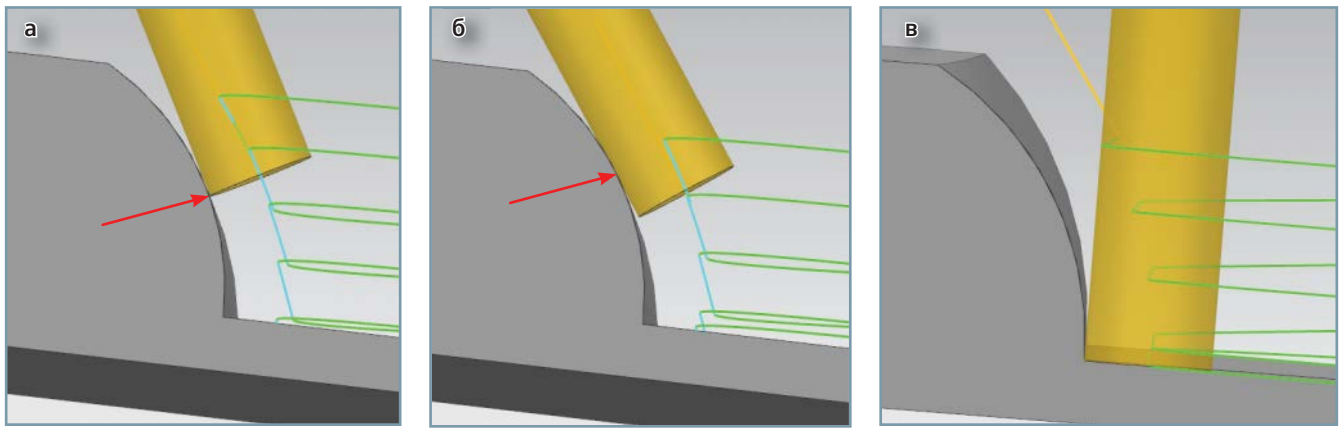


Рис. 17.17. Различное положение точки контакта

Параметр **Высота кольца** может быть задан как переменное смещение, в этом случае определяется диапазон. Попробуйте задать его значениями 1 и 4 мм. Этот режим может использоваться для уменьшения износа инструмента за счет более равномерного его распределения вдоль кромки.

Операция Контурная с переменной ОИ – Интерполяция вектора

В ряде случаев не удается использовать ориентацию оси инструмента, заданную каким-либо одним способом для всей области обработки. Одним из вариантов работы в таком случае является ручное определение оси инструмента в заданных точках управляющей поверхности. При этом промежуточные векторы интерполируются. В диалоговом окне операции подобная ориентация инструмента называется **Интерполяция вектора**.

- Откройте пример srf_area_11.prt.

В этом примере необходимо обработать межлопастное пространство между двумя лопатками. Дно нашей области плоское, но нельзя использовать ориентацию инструмента по нормали к поверхности из-за наклона лопаток. Для определения области обработки будем использовать управляющую поверхность, построенную по ребрам радиусов скругления лопаток (рис. 17.18).

- Откройте диалоговое окно операции VARIABLE_CONTOUR_FLOOR, убедитесь, что **Ориентация инструмента** задана значением **Интерполяция вектора**.
- Выполните команду с изображением ключика рядом с полем задания ориентации инструмента.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 17.19), в нем имеется **Список** точек, где явно задана ориентация инструмента (1).
- В графической области отображены все заданные векторы (рис. 17.20).
- Если выбрать один из векторов, то в этой позиции отобразятся инструмент с заданной ориентацией и система координат с маркерами, позволяющими менять ось инструмента динамически.
- Можно добавить новый вектор командой **Добавить новый набор** (2) или удалить вектор.
- Впрочем, работа со списком уже была рассмотрена ранее.
- Перегенерируйте операцию, в установках отображения задана визуализация оси инструмента линиями.
- Результат показан на рис. 17.21.

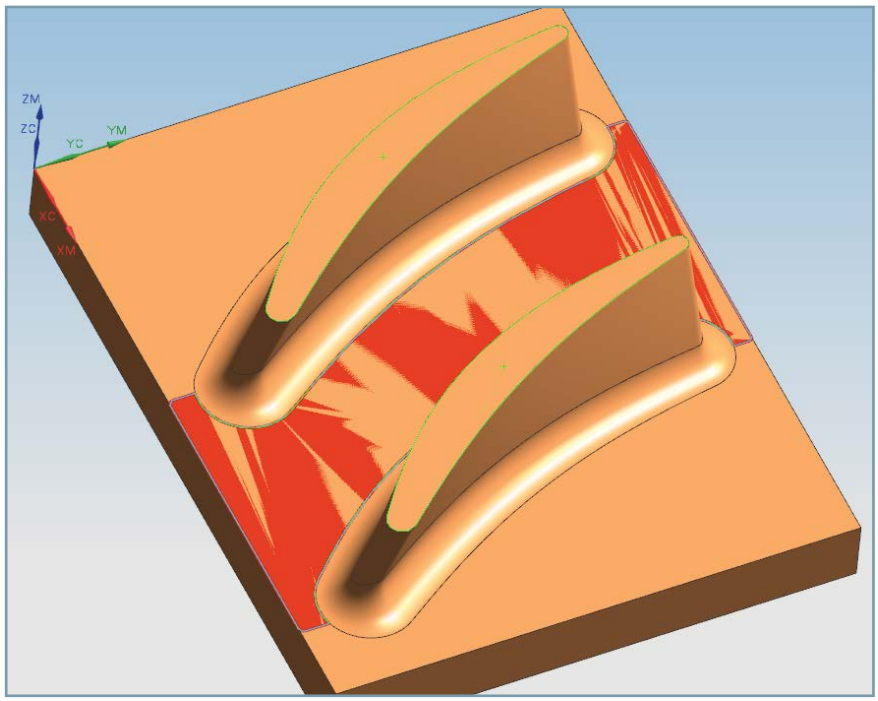


Рис. 17.18. Управляющая поверхность для обработки межлопаточного пространства

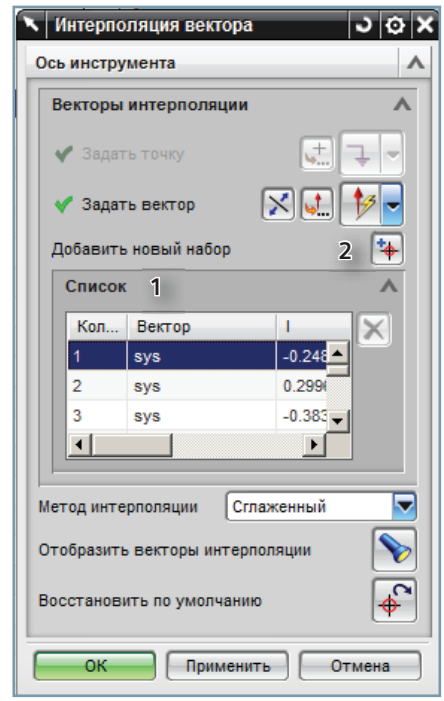


Рис. 17.19. Диалоговое окно для задания ориентации инструмента интерполяцией вектора

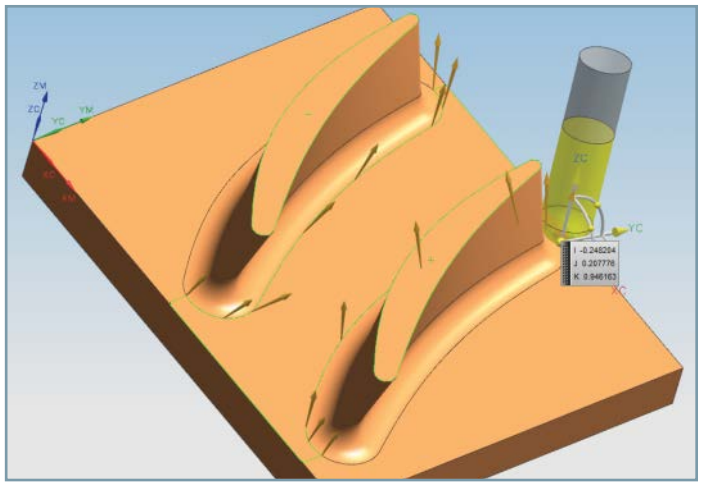


Рис. 17.20. Набор векторов для задания ориентации в указанных точках

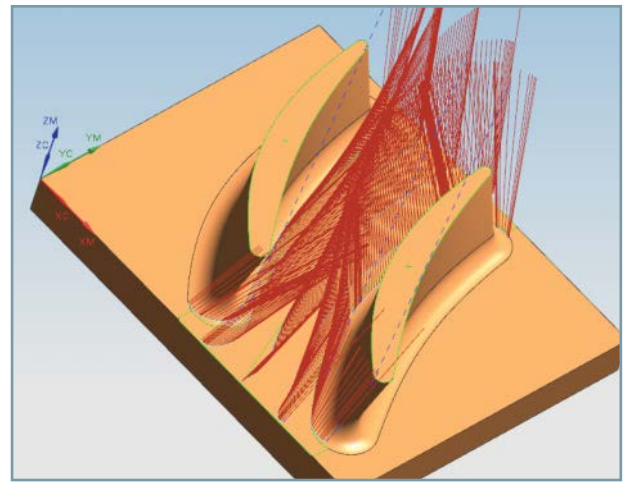


Рис. 17.21. Положение оси инструмента условно показано в точках траектории

Операция 5-осевая по Z-уровням – ZLEVEL_5AXIS

Это особый тип операции, где проходы выполняются по Z-уровням, но ось инструмента может отклоняться от стенки, что полезно при работе вблизи высоких стенок. Такая возможность позволяет использовать более короткий, а значит, более жесткий и производительный инструмент.

- Откройте пример zl_multi_axis_2_setup_pav.prt.

Деталь имеет скругления малого радиуса, расположенные на высокой стенке. Будем использовать область обработки, показанную на рис. 17.22. 3-осевая операция обработки по Z-уровням потребовала бы использования длинного и тонкого инструмента. Будем использовать более короткий инструмент и возможность автоматического отклонения его оси от стенки.

- Откройте диалоговое окно операции ZLEVEL_5AXIS_AWAY_PART (рис. 17.23).
- Параметры **Настройки пути** (1) аналогичны 3-осевой операции обработки по Z-уровням. Специфика операции состоит в задании оси инструмента.
- В операции используются параметры: **Угол наклона** (2), **Максимальная высота стенки** (3), **Направление наклона** (4), а также флаг **Контроль столкновений** (5).
- Угол наклона можно задавать явно, но опция **Автоматически** более интересна.
- Для автоматического расчета угла необходимо, чтобы были заданы держатель инструмента и максимальная высота стенки, то есть угол определяется, исходя из геометрии держателя (рис. 17.24).

Направление наклона разберем подробнее. В этой операции **Направление наклона** задано **Всегда от детали**, при этом инструмент отклоняется от стенок детали в открытую область, в углах он отклоняется от обеих стенок (рис. 17.25). Это не всегда хорошо.
В операции ZLEVEL_5AXIS_AWAY_CURVES направление наклона задано **Всегда от кривой** и в качестве кривой задано ребро модели (показано стрелкой на рис. 17.26). В этом случае ось инструмента располагается в плоскостях, перпендикулярных заданной кривой, и уже в этих плоскостях отсчитывается угол наклона. Такой способ задания направления наклона лучше сказывается на динамике работы станка, поскольку исключает ненужные повороты рабочих органов.

- Это трудно показать на рисунке, поэтому в данном примере подключен станок (рис. 17.27).
- Включите его отображение в навигаторе сборки и выполните поочередно симуляцию рассмотренных выше операций.

Операция Обработка цилиндра -ROTARY_FLOOR

Новая операция доступна в NX 9.0, она построена на основе операции VARIABLE_CONTOUR, однако в шаблонах обработки отнесена к новому типу, так как использует новые геометрические объекты. Операция предназначена для обработки деталей, имеющих карманы с цилиндрическим дном либо выступы на цилиндрической поверхности.

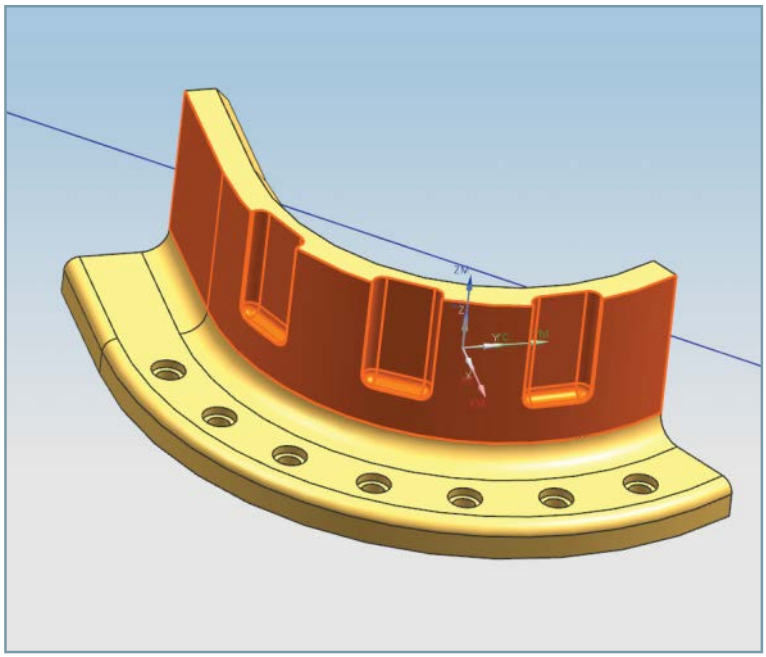


Рис. 17.22. Пример для иллюстрации операции ZLEVEL_5AXIS

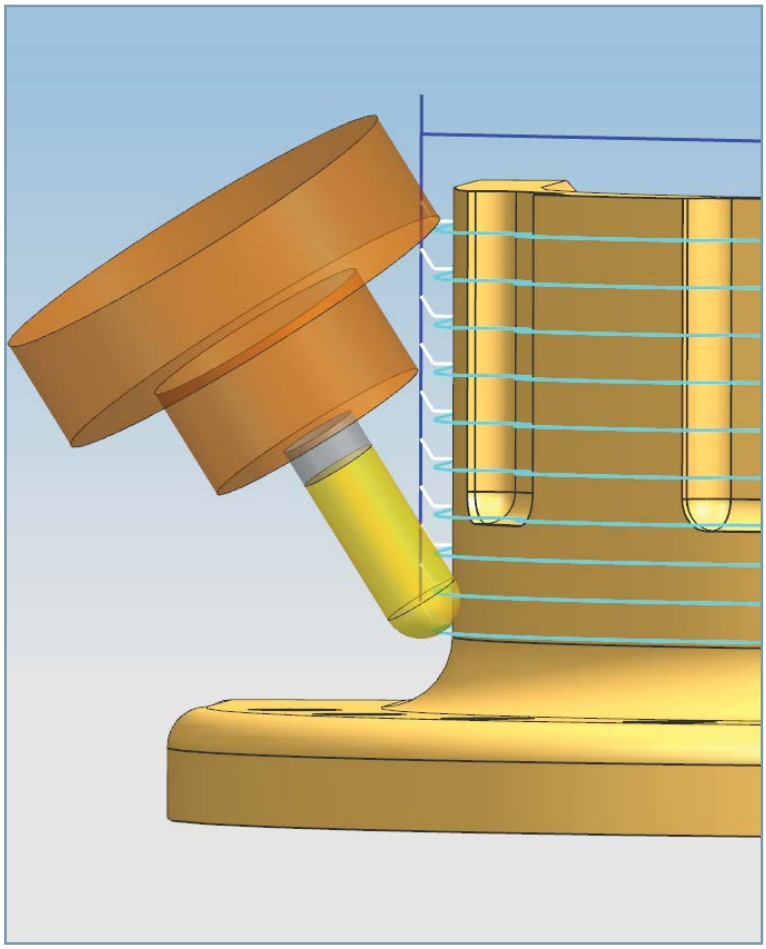


Рис. 17.24. Угол отклонения определяется, исходя из геометрии держателя

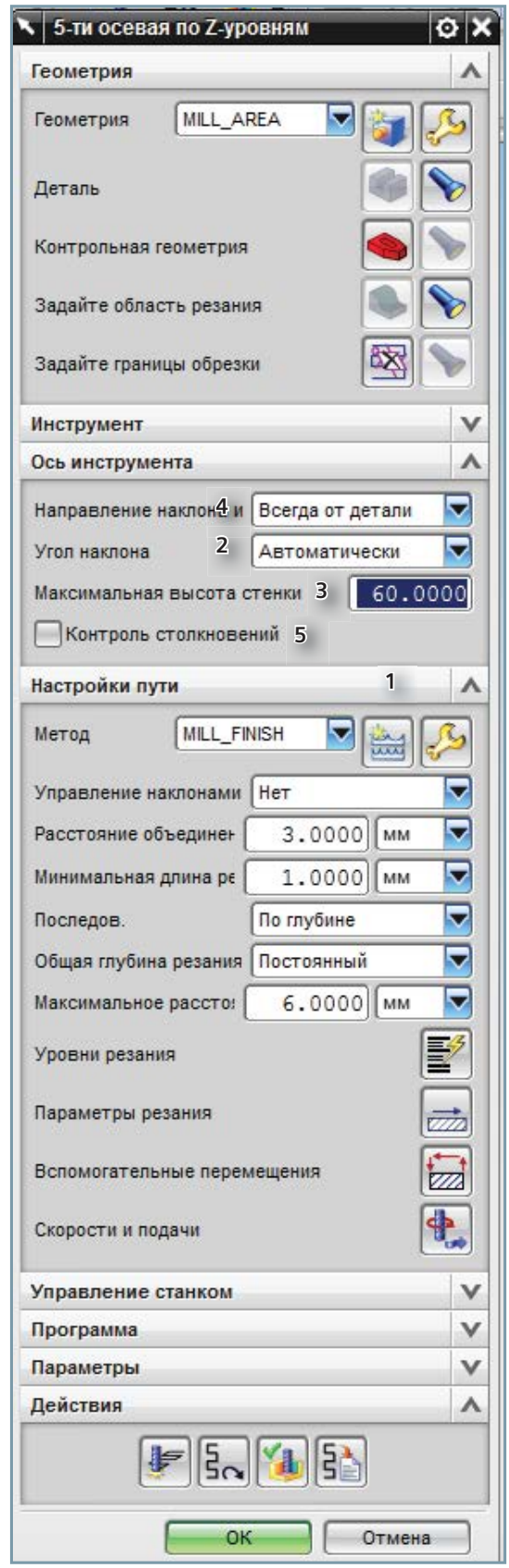


Рис. 17.23. Диалоговое окно операции ZLEVEL_5AXIS

Команда операции имеет тип Mill_rotary (1), подтип пока единственный – ROTARY_FLOOR (2, рис. 17.28).

- Откройте пример cyl_part_finishing_1_setup_1.prt.
- Создайте операцию ROTARY_FLOOR с родительскими объектами, как показано.
- Появится диалоговое окно операции (рис. 17.29).

По иконкам геометрических групп видно, что операция работает с новыми типами объектов: **Дно кармана** (1) и **Стенки кармана** (2).

- Выполните команду **Дно кармана** и укажите цилиндрическую поверхность детали.
- Выполните команду **Стенки кармана**, в новом диалоговом окне (рис. 17.30) выполните команду **Предварительный выбор** (3).
- Стенки выступов, примыкающих к цилиндрическому дну, автоматически выбраны и подсвечены в графической области.

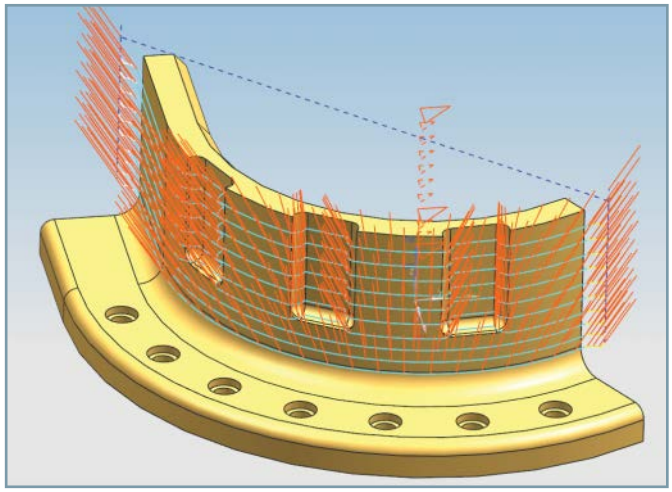


Рис. 17.25. Вариант операции, где направление наклона задано Всегда от детали

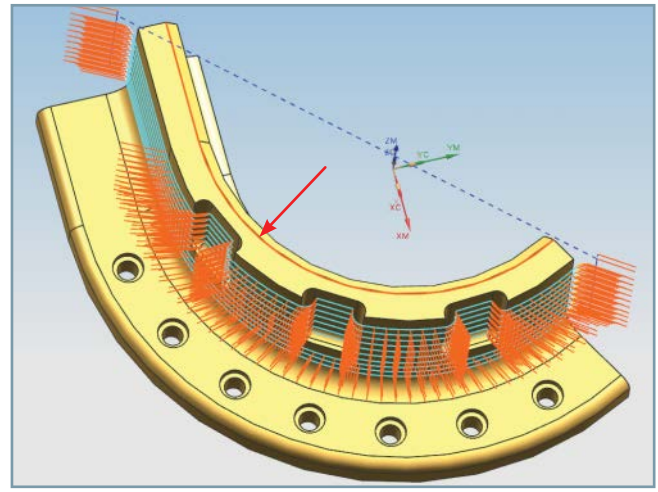


Рис. 17.26. Вариант операции, где направление наклона задано Всегда от кривой

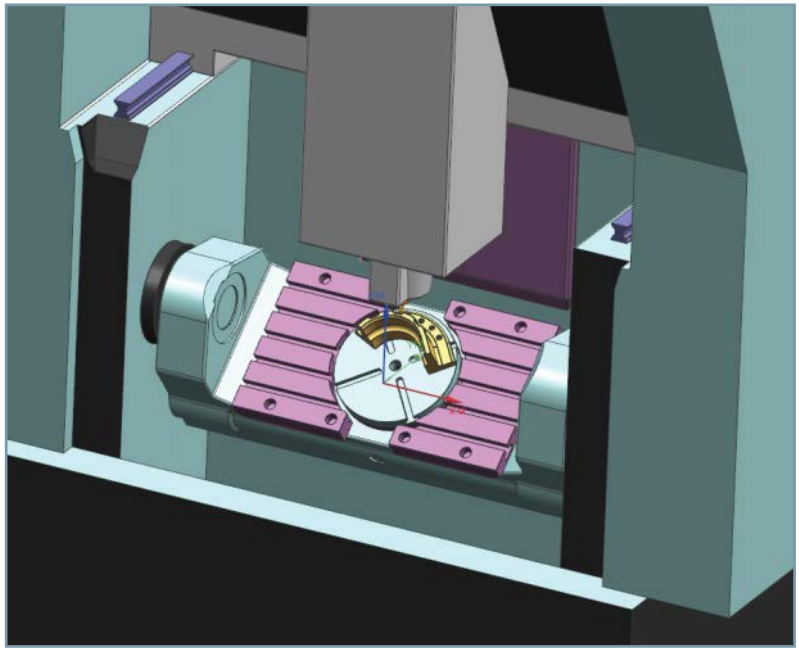


Рис. 17.27. Подключение станка для симуляции траектории позволяет лучше понять различия в ориентации инструмента

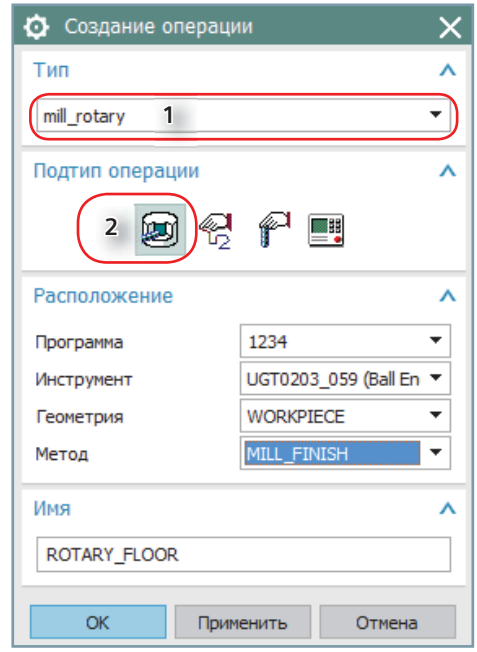


Рис. 17.28. Расположение команды операции ROTARY_FLOOR

Изюминкой операции является использование угла опережения инструмента, где это возможно. При приближении к стенкам угол опережения меняется (вплоть до отрицательного, разрешенное значение задается отдельно) для максимального съема материала вблизи стенки (рис. 17.31). Направление движения показано стрелкой. Параметры **Угла опережения** (4), **Минимального угла опережения** (5) находятся в основном диалоговом окне операции. Здесь же находится параметр **Расстояние веера** (6), определяющий расстояние до стенки, где угол опережения начинает меняться (последовательность положений оси инструмента на этом участке напоминает веер, отсюда этот термин). С точки зрения резания угол опережения лучше сохранять максимально долго, но с точки зрения плавности работы инструмента лучше начать разворот инструмента заранее. То есть необходим компромис, поэтому и введена возможность управления этим параметром. Заметим, что операция поддерживает только сферические фрезы.
Другие параметры управления доступны в отдельном диалоговом окне метода управления (рис. 17.32). Они очень похожи на параметры метода управления **Управляющая поверхность**, который рассматривался в главе 16.
Специфический параметр **Тип направления** (1) может принимать два значения: **Вокруг оси** и **Вдоль оси**. Также необходимо задать **Ось вращения** (2) цилиндра. Здесь задаются шаблон резания, направление резания, шаг проходов (включая вычисление шага по величине гребешка). Параметры **Сменить сторону** (3), **Указать начало** (4), **Область резания** (5) работают с маркерами, как и в методе **Управляющая поверхность**.

- В данном случае ось вращения +ZM нас устраивает.
- Задайте величину шага, как показано, и генерируйте операцию, результат – на рис. 17.33.
- В данном примере имеется еще паз с цилиндрическим дном.
- Обработайте его самостоятельно.

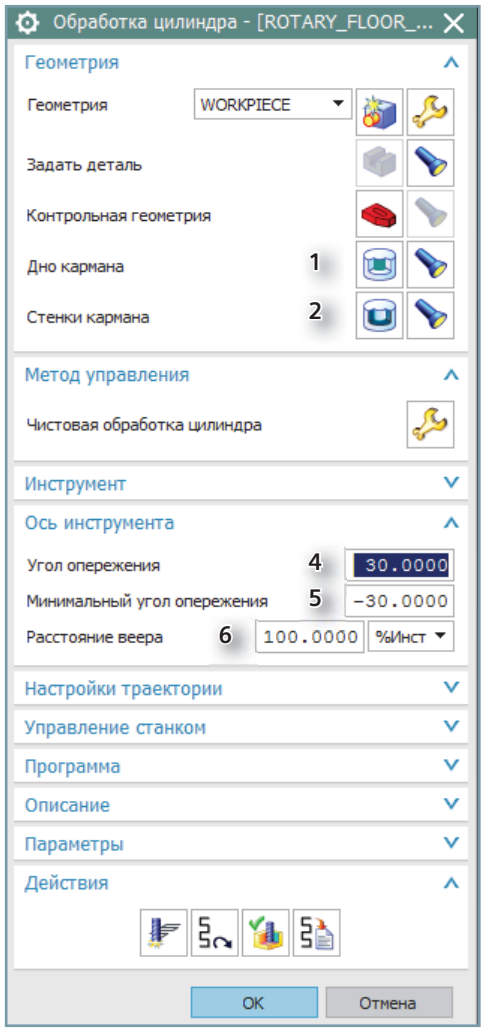


Рис. 17.29. Диалоговое окно операции ROTARY_FLOOR

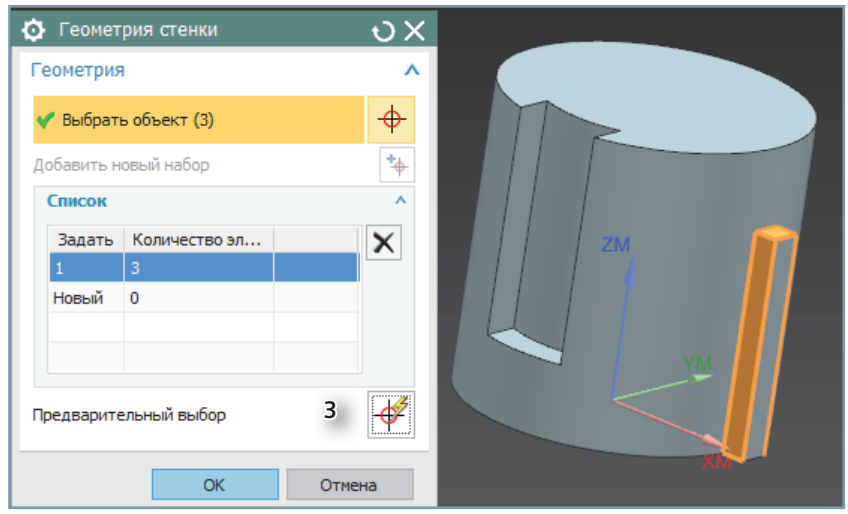


Рис. 17.30. Команда Предварительный выбор автоматически распознает стенки на основе выбранного дна

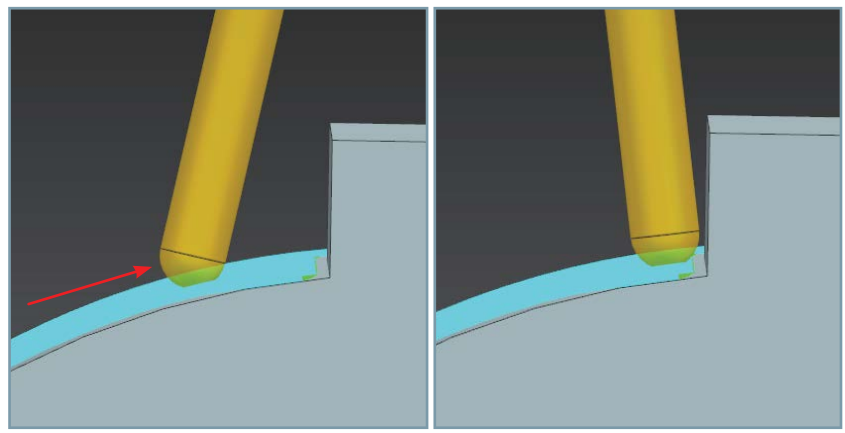


Рис. 17.31. При приближении к стенкам угол опережения меняется

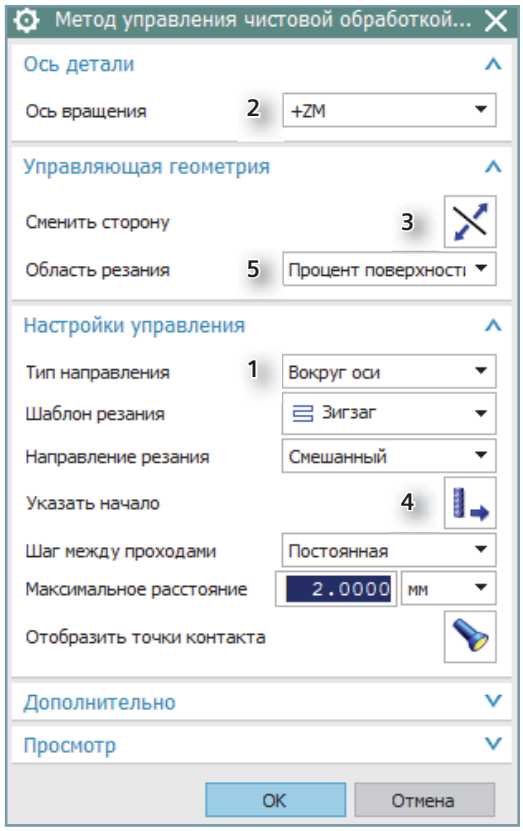


Рис. 17.32. Параметры, доступные в диалоговом окне метода управления

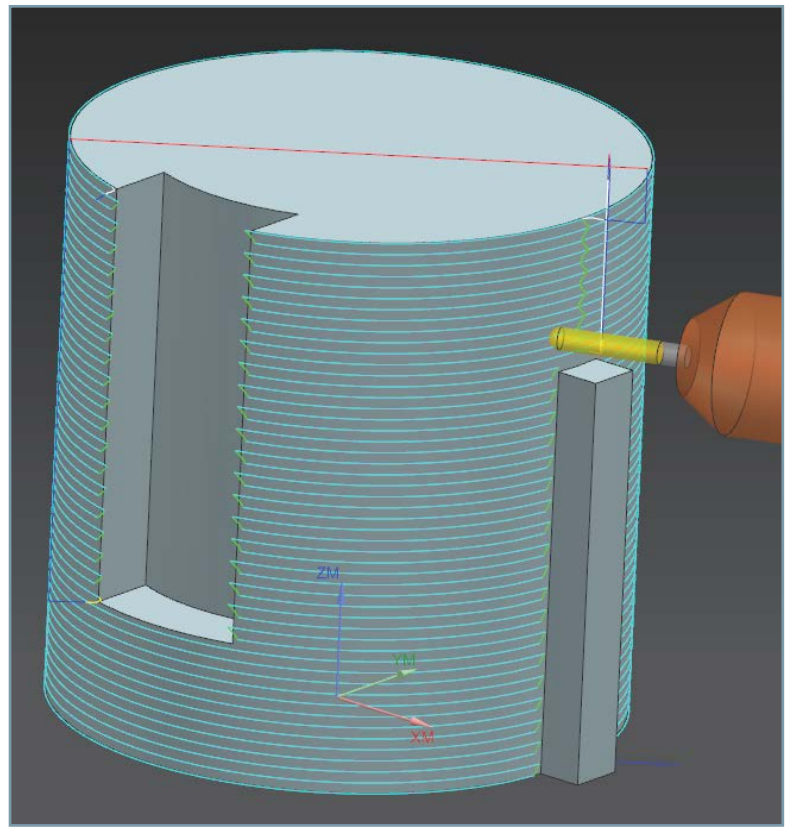


Рис. 17.33. Результирующая траектория обработки цилиндра с учетом стенок

Функция отклонения оси инструмента для преобразования операций

К 5-осевой непрерывной обработке можно отнести и функционал по преобразованию 3-осевых операций в 5-осевые. Он используется для автоматического отклонения оси инструмента от стенки, исходя из геометрии держателя. Держатель должен быть обязательно задан. Данная команда вызывается из контекстного меню операции. Применим эту возможность для операции по доработке углов FLOWCUT, эта операция бывает только 3-осевой.
В NX 9.0 эта команда стала значительно мощнее и может использоваться и для обработки поднутрений в 5-осевом режиме. Исходная траектория может быть 5-осевой. Эту возможность также рассмотрим здесь.

- Откройте пример area_mill1_setup_2.prt.
- Скопируйте операцию FLOWCUT_SINGLE и переназначьте инструмент в копии на BALL_MILL_TILT.
- Генерируйте операцию.
- Из контекстного меню операции выполните **Траектория** – **Наклон оси инструмента** (рис. 17.34), в появившемся диалоговом окне просто нажмите **ОК**.
- Подробнее это окно мы разберем в следующем примере.
- В результате (рис. 17.35) инструмент будет отклонен от стенки только там, где это реально необходимо (то есть некоторые движения останутся 3-осевыми).

Такая операция более производительна, поскольку только часть обработки выполняется в 5-осевом режиме (в 3-осевом режиме поворотные оси станка зажаты,технологическая система более жесткая, и поэтому допустимы более производительные режимы резания).

- Рассмотрим более сложный пример tilt_cylinder_setup_1.prt (рис. 17.36).

В примере имеется операция VARIABLE_CONTOUR, в которой угол отклонения инструмента от стенки задан –65° (или от вертикали 25°). Операция выдерживает этот угол постоянным и при отклонении от одной стенки врезается в другую (показано стрелкой на рис. 17.36). Конечно в данном случае можно уменьшить угол отклонения от вертикали (или

увеличить относительно нормали к поверхности, что то же самое), а можно разрешить системе изменить угол в проблемной области и выдержать заданный угол везде, где это возможно.

- Из контекстного меню операции выполните команду **Траектория – Наклон оси инструмента**. Появится новое диалоговое окно (рис. 17.37).

Параметр **Наклон вручную** (1) может принимать два значения: **Сохранить исходный** и **Задаваемый пользователем**. Значение **Сохранить исходный** сохраняет исходные значения ориентации инструмента там, где это возможно. Параметр **Метод обходов** (2) определяет действие для устранения столкновения, он может принимать два значения: наклон (наиболее полезное) и отвод. Для нешаровых фрез значение **Наклон** недоступно. Отвод используется и в случаях, когда разрешенными значениями наклона (3) не удается избежать столкновения. Разрешенные значения наклона измеряются от расчетного положения.

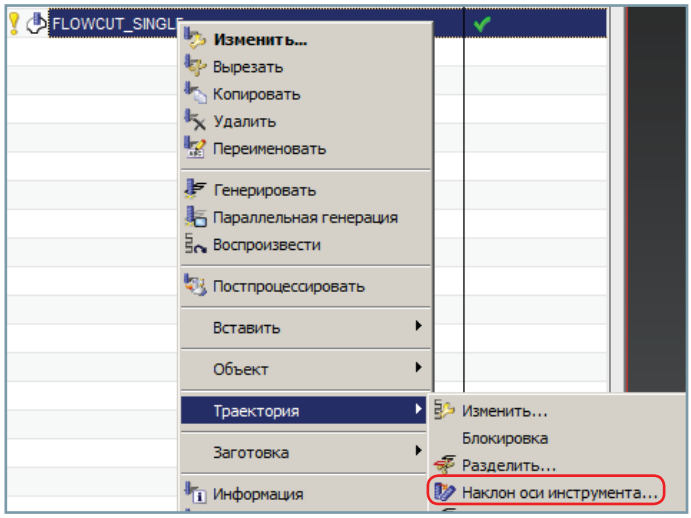


Рис. 17.34. Расположение команды Наклон оси инструмента

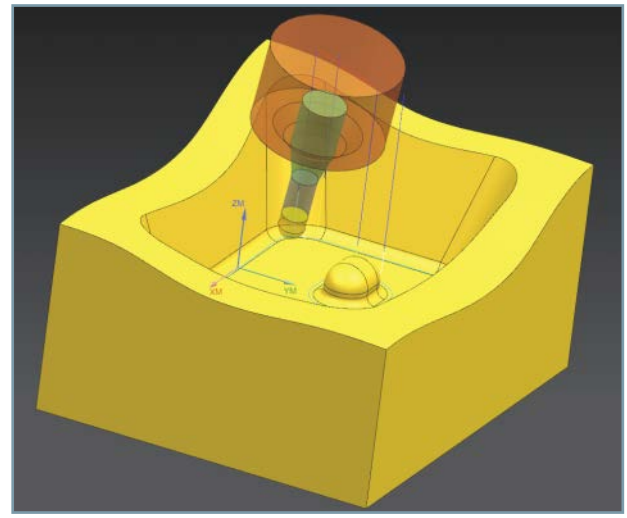


Рис. 17.35. В результате инструмент будет отклонен от стенки только там, где это необходимо

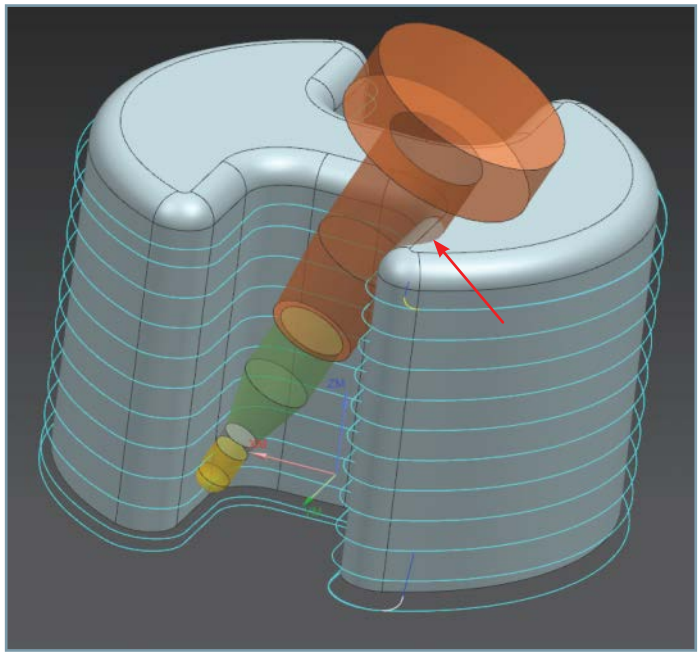


Рис. 17.36. Пример столкновения держателя и детали, которое надо устранить

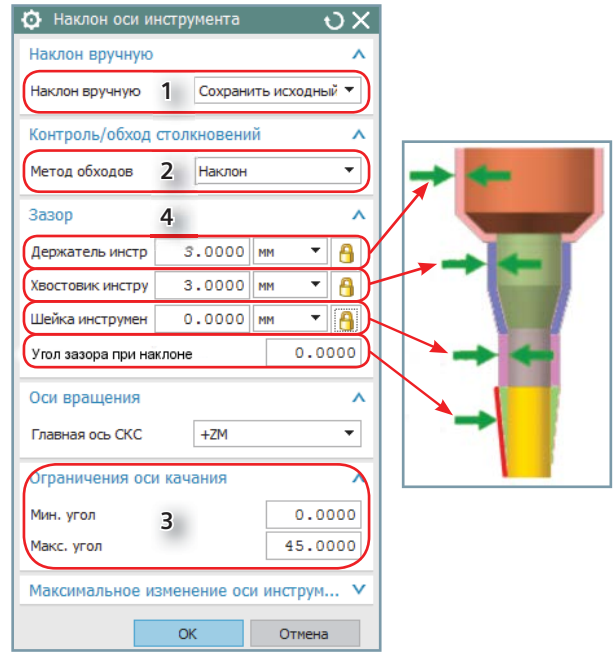


Рис. 17.37. Диалоговое окно команды Наклон оси инструмента при автоматической ориентации

При расчете безопасного положения инструмента учитываются параметры зазоров (4), значения которых проиллюстрированы рисунком. Три первых параметра наследуются из настроек **Параметров резания**, но могут быть изменены (признак наследования – закрытый замочек рядом со значением параметра). Значение **Угол зазора при наклоне** желательно оставлять минимально возможным, так как оно сильно влияет на скорость расчета и уменьшает свободу для поиска подходящего положения инструмента.

- На данном этапе просто нажмите **ОК**, траектория будет пересчитана. Выполните верификацию, чтобы убедиться в отсутствии столкновений.
- Одно из положений инструмента показано на рис. 17.38.

Также обратите внимание, что в навигаторе операций появился статус (символ ключика), информирующий о том, что траектория подвергнута редактированию. При пересчете результат редактирования будет потерян, однако при попытке пересчета будет выдано соответствующее предупреждение.

- Измените отображение модели, задав прозрачность, и включите слой 11, на экране будут видны красные кривые (рис. 17.39), которые мы будем использовать для задания ориентации оси инструмента.
- Сделайте копию операции VARIABLE_CONTOUR , сгенерируйте ее (функция отклонения оси инструмента работает только на сгенерированной траектории) и из контекстного меню операции выполните команду **Траектория – Наклон оси инструмента**.
- Переключите параметр **Наклон вручную** в значение **Задаваемый пользователем** (1 на рис. 17.40), в этом случае появляются новые параметры: Способ наклона инструмента задайте От кривой (2) и выберите верхнюю из двух красных кривых. Правило наклона (3) – в сторону. Ограничения оси качания (4) задайте, как показано. Максимальное изменение оси инструмента также надо поменять и установить в значение 2 градуса на шаг (5), так как наша кривая содержит острые углы, где возможно резкое изменение оси инструмента, что нежелательно.
- Нажмите **ОК**, траектория будет показана по окончании расчета.
- Выполните ее верификацию.

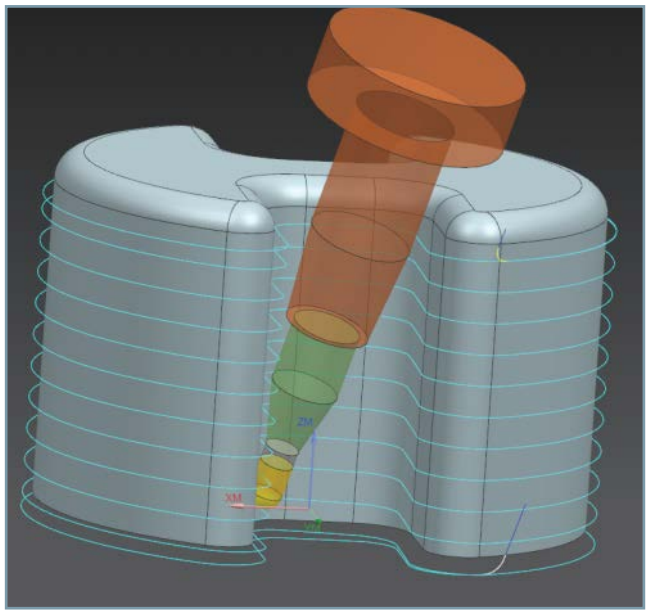


Рис. 17.38. Столкновение держателя и детали, показанное на рис. 17.36, устранено

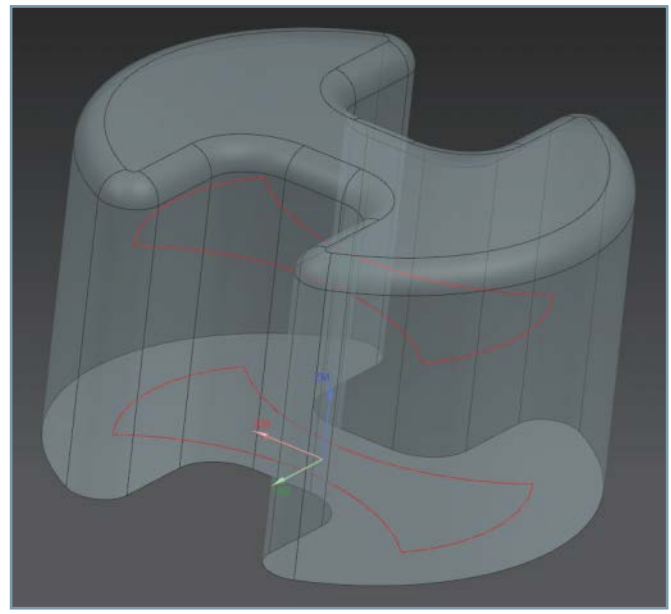


Рис. 17.39. Кривые также можно использовать для ориентации оси инструмента

Если смотреть сверху (рис. 17.41), то ось инструмента располагается по нормали к кривой (точнее не ось, а проекция оси в плоскость, перпендикулярную оси Z).
При создании этого рисунка использовались опции отображения исходной операции. Кратко мы рассматривали их в главе 4 при обработке контуров, но для того случая инструмент показывали в 2D. Для 5-осевых операций, особенно при активной работе с осью инструмента, полезно показывать его в 3D. Эта команда имеется в диалоговых окнах любых операций – **Параметры – Изменить отображение – Инструмент – 3D**. Частота отображения в данном случае задана 20. Функция отклонения оси инструмента наследует эти установки из исходной операции.

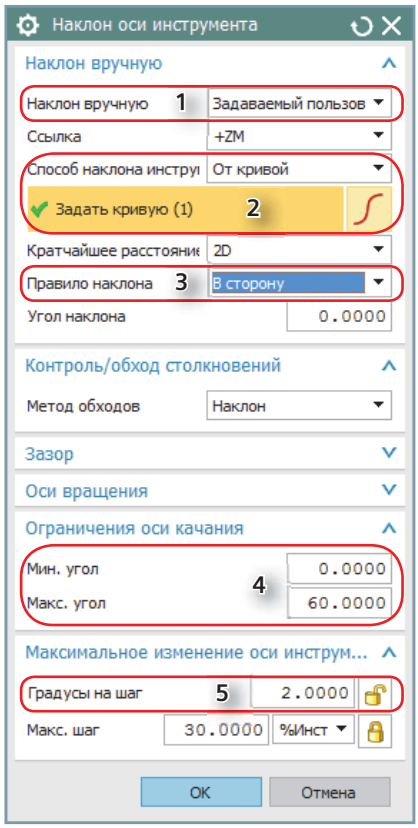


Рис. 17.40. Диалоговое окно команды Наклон оси инструмента при ориентации через кривую

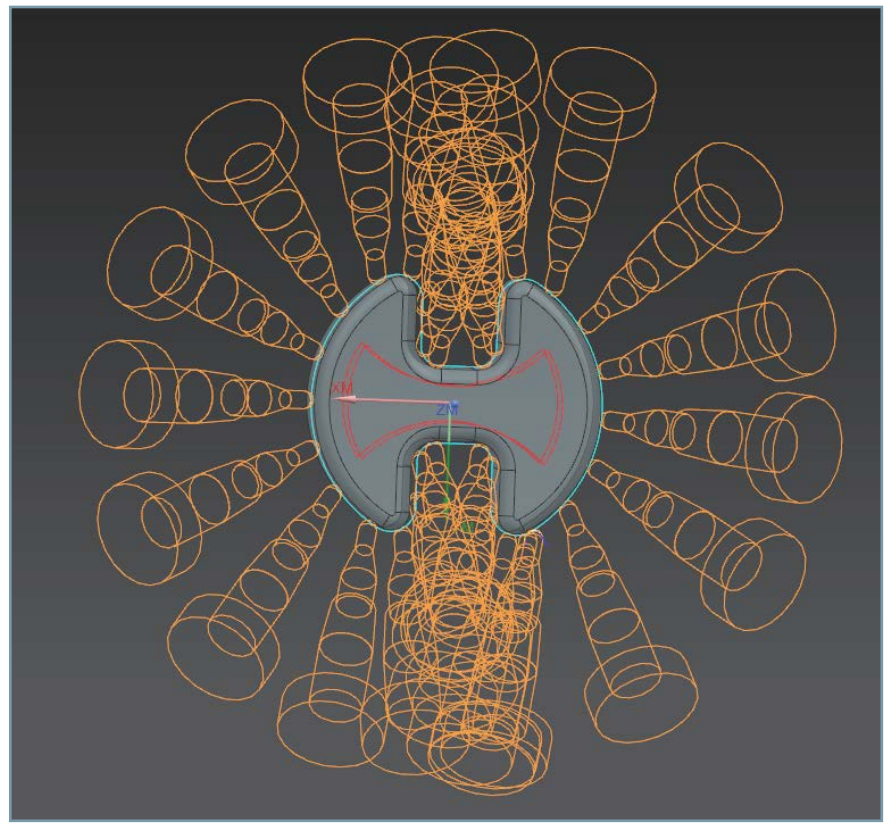


Рис. 17.41. Ориентация инструмента выравнивается относительно кривой (вид сверху)

На виде сбоку ориентацию инструмента передает рис. 17.42. Ось инструмента смотрит на кривую (ось условно показана белой линией), но проверяет ограничения (4). Для проходов, где начинает работать ограничение, используется один из пределов. В данном случае (рис. 17.42 справа) это 60°.

- В примере есть еще вторая кривая, расположенная на уровне Z=0.
- Используйте ее для изменения ориентации инструмента самостоятельно, чтобы оценить влияние расположения кривой относительно обрабатываемой геометрии.

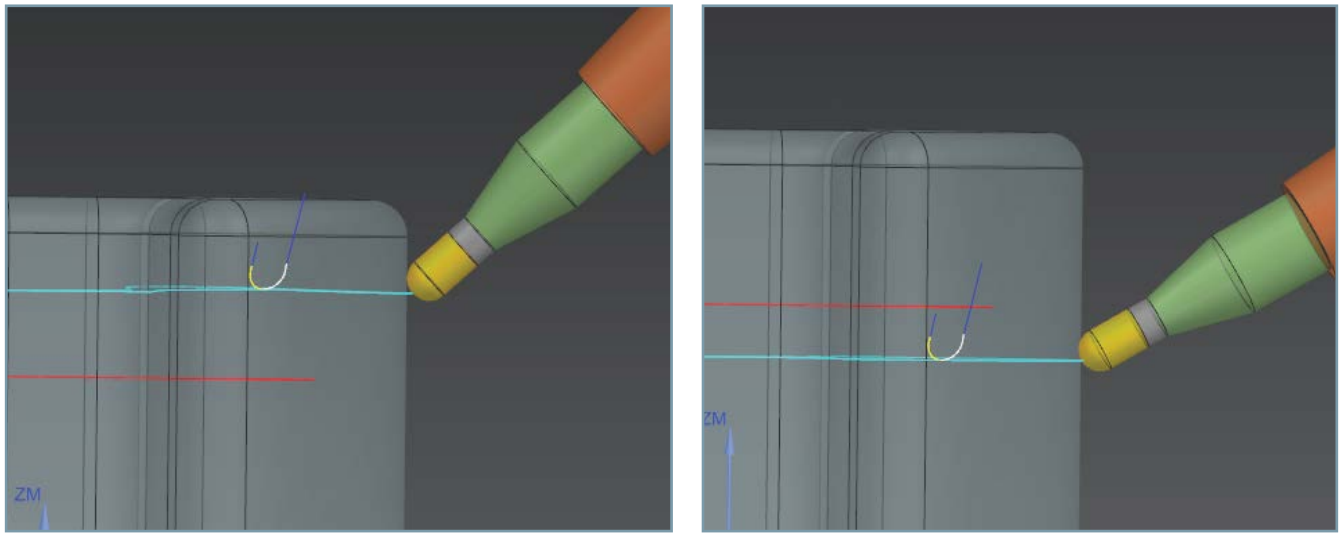


Рис. 17.42. Ориентация инструмента выравнивается относительно кривой (вид сбоку)

Рассмотрим использование этого же функционала для 5-осевой обработки поднутрений.

- Откройте пример tilt_pocket.prt.

Здесь имеется операция VARIABLE_CONTOUR для обработки дна кармана. Условно считаем, что надо выдержать инструмент по нормали ко дну кармана везде, где это возможно. Для этого операция сгенерирована без учета столкновений с хвостовиком и держателем (рис. 17.43). При этом параметр **Параметры резания – Ограничения – Контролировать инструмент выше его сферической части** включен (рис. 17.44). В результате остаются необработанные области вблизи стенок.

- Выключите параметр **Контролировать инструмент выше его сферической части** и перегенерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 17.45.

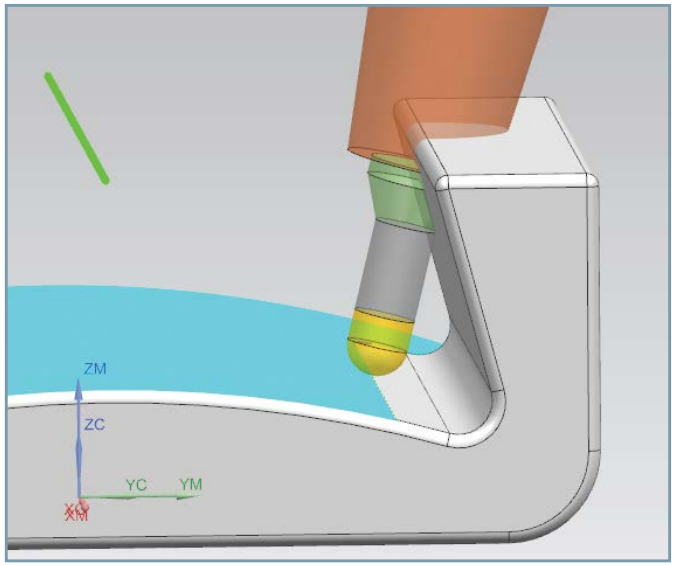


Рис. 17.43. Проблема, где инструмент, расположенный по нормали ко дну кармана, вызывает столкновение с деталью

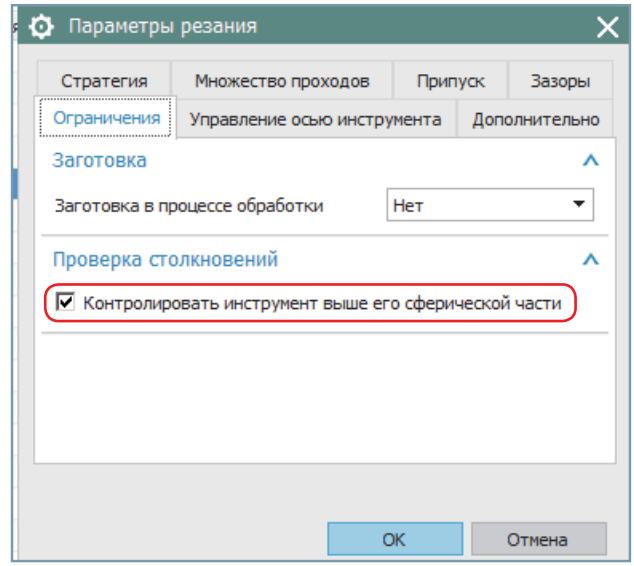


Рис. 17.44. Расположение параметра Контролировать инструмент выше его сферической части

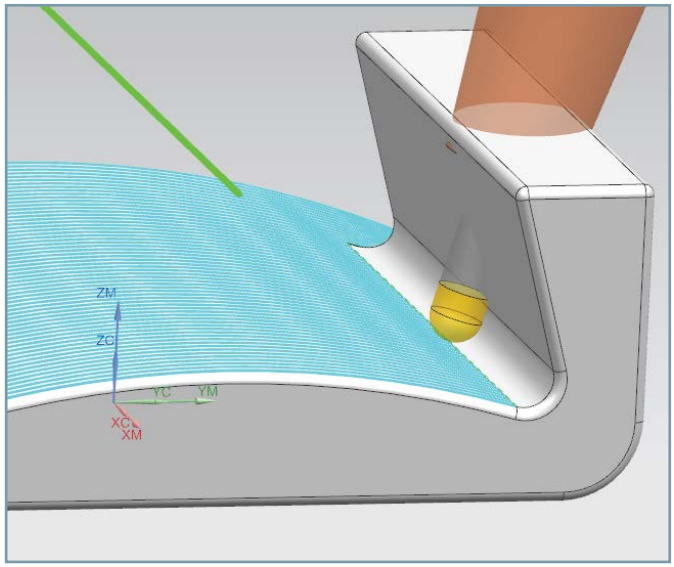


Рис. 17.45. Область обработки расширена, но пока со столкновением

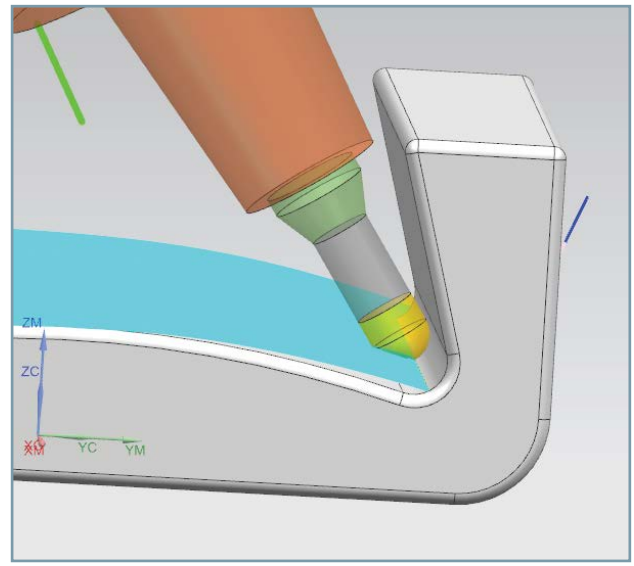


Рис. 17.46. Столкновение держателя и детали, показанное на рис. 17.45, устранено

Обратите внимание, что речь не о режущей части, а именно о сферической части инструмента.

- Из контекстного меню операции выполните команду **Траектория – Наклон оси инструмента**.
- Параметр **Наклон вручную** установите в значение **Сохранить исходный** и нажмите **ОК**.

Наклон оси в траектории инструмента будет пересчитан так, чтобы обработать всю область с учетом хвостовика и держателя (рис. 17.46).
В примере еще задана кривая, которая может использоваться для изменения ориентации инструмента в проблемных областях, желающие могут поэкспериментировать с её использованием самостоятельно.

Глава 18

Операции для обработки моноколес – MULTIBLADE MACHINING

Содержание главы

- Задание геометрии
- Черновая обработка моноколеса (Multiblade Roughing)
- Чистовая обработка лопатки (Blade Finishing)
- Чистовая обработка ступицы (Hub Finishing)
- Чистовая обработка скругления (Blend Finishing)

Операции для обработки моноколес – MULTIBLADE MACHINING

В NX имеется специальный модуль по обработке моноколес, импеллеров и шнеков. Модуль содержит ряд высокоавтоматизированных операций по программированию обработки, которые минимизируют время и усилия на подготовку программ, увеличивают стойкость инструмента, улучшают качество обрабатываемой поверхности.

Задание геометрии

Идеология NX по работе с родительскими группами получила дальнейшее развитие в этом модуле. Создана новая геометрическая группа (**multi blade geometry**), которая позволяет раздельно задать грани ступицы, лопатки, рассекателя, бандажа и скругления, а также положение оси вращения и количество лопаток (рис. 18.1). Эта геометрия, заданная однажды, в дальнейшем наследуется всеми специализированными операциями. Геометрия может состоять из любого количества граней и может быть импортирована из других систем.

Команды операций доступны при указании типа операций mill_multi_blade (рис. 18.2). Таких операций четыре:

1) Черновая обработка моноколеса (Multi_blade_rough);
2) Чистовая обработка ступицы (Hub_finish);
3) Чистовая обработка лопатки (Blade_finish);
4) Чистовая обработка скругления (Blend_finish).

- Откройте пример cam_impeller_setup_1.prt.
- Установите вид геометрии навигатора операций.
- Дважды щелкните по геометрической группе MULTI_BLADE_GEOM.
- Посмотрите, какие грани модели используются для задания геометрии для обработки.
- Эти объекты показаны в табл. 18.1.

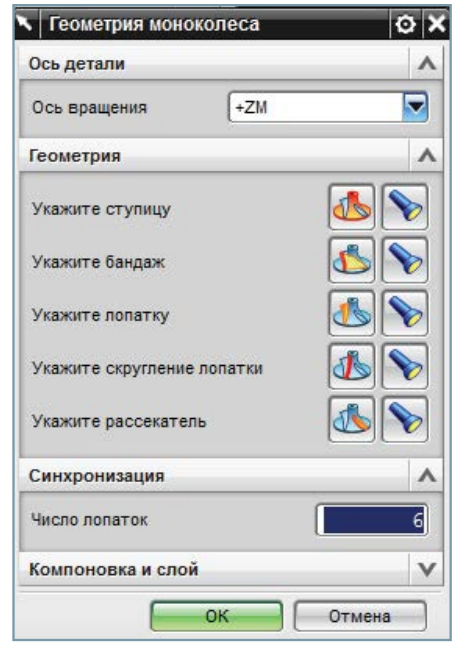
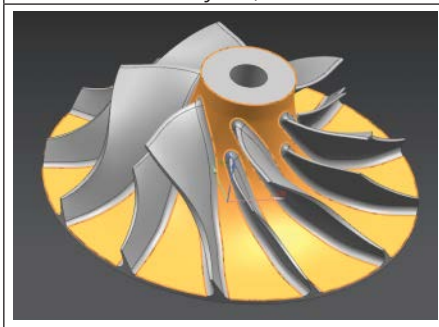
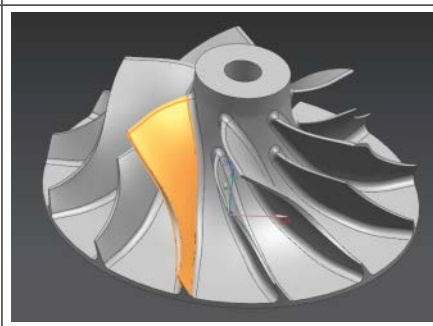
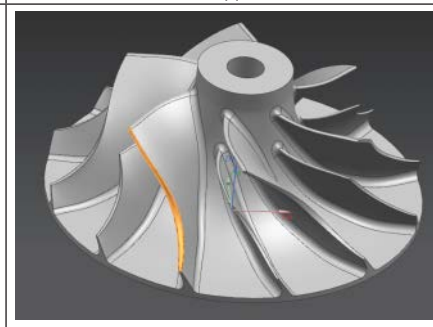
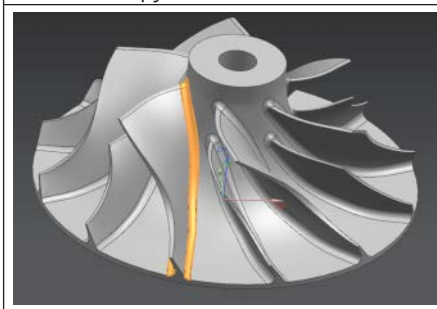
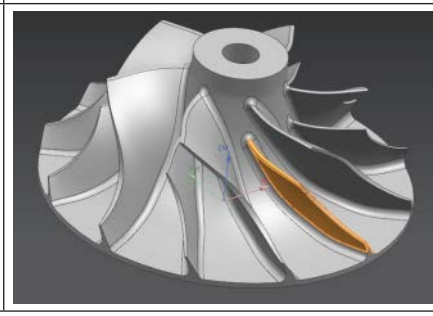


Рис. 18.1. Диалоговое окно геометрической группы для задания геометрии моноколеса

Таблица 18.1

Ступица	Лопатка	Бандаж
		

Скругление лопатки	Рассекатель
	

Дадим несколько комментариев относительно задания геометрии моноколеса. Ступица и бандаж должны принадлежать поверхности вращения с осью моноколеса. Это важно для правильной работы расчетного алгоритма. Скругление лопатки задается отдельно от геометрии самой лопатки, скругление рассекателя задается в диалоговом окне задания рассекателя. Операции по обработке лопатки и скругления лопатки используются и для рассекателя. При задании количества лопаток указывается их число без учета рассекателей. Возможно задание более одного рассекателя.
Рассмотрим основные операции.

Черновая обработка моноколеса (Multiblade Roughing)

Черновая обработка моноколес и импеллеров является 5-осевой непрерывной операцией и предназначена для удаления межлопаточного материала. Область обработки, ориентация инструмента, порядок проходов и другие параметры определяются автоматически. Хотя автоматизация важна и дает быстрый результат, важно обеспечить и гибкость операции. В NX имеется возможность редактировать многие параметры операции.

- Откройте диалоговое окно операции MULTI_BLADE_ROUGH (рис. 18.3).
- Группа параметров **Геометрия** (1) ссылается на группу MULTI_BLADE_GEOM.
- Специфические параметры операции задаются в параметрах **Метода управления** (2), их рассматривать не будем.
- Упомянем только, что в этом диалоговом окне задается шаблон резания, который может принимать два значения – **Зиг** и **Зигзаг с подъемом**.
- Выполните команду **Уровни резания** (3), появится новое диалоговое окно (рис. 18.4).

Уровни резания в этой операции не являются плоскими, они могут задаваться тремя способами (4): **Смещением от ступицы**, **Смещением от бандажа** и **Интерполяцией от бандажа до ступицы**. Последний способ имеет преимущества, так как все проходы идут на всю длину межлопаточного пространства, что улучшает процесс врезания и выхода инструмента. Наша операция использует именно этот способ. **Глубина резания** (5) задана явно. Параметры **Начала** и **Конца диапазона** (6) установлены в 0 и 100%, то есть межлопаточное пространство обрабатывается в одной операции на всю глубину. Для узких и глубоких каналов управление этими параметрами – один из способов черновой доработки с использованием инструментов разного диаметра или вылета. Лопатки могут быть достаточно высокими и при выполнении черновой обработки на полную высоту станут нежесткими, для таких лопаток можно чередовать черновую и чистовую обработки, выполняя ее зонами по высоте. Предусмотрены параметры подавления неполных проходов (7), дополнительные уровни при первичной прорезке (8) уменьшают нагрузку на фрезу, когда фреза идет полным диаметром. Команда **Отобразить** (9) показывает уровни резания (рис. 18.5), она может использоваться для контроля правильности задания параметров, но не является обязательной (полезна, если время расчета траектории значительно).

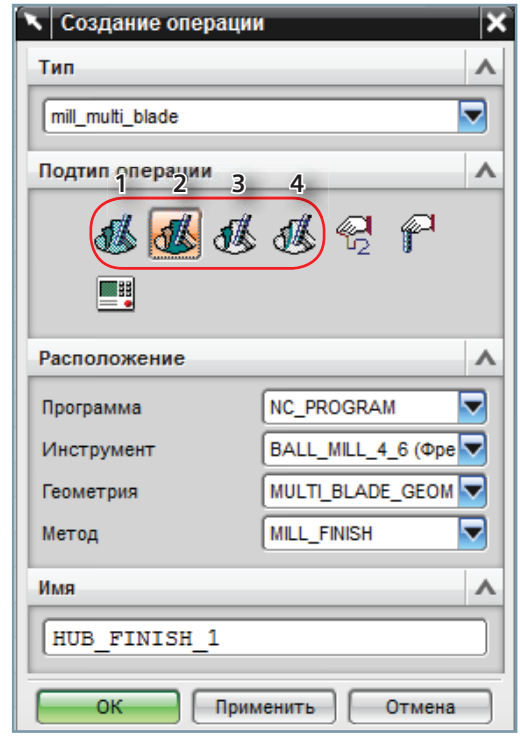


Рис. 18.2. Расположение команд операций обработки моноколес

- Траектория инструмента в этой операции показана на рис. 18.6.
- Обратите внимание на гладкие вспомогательные движения (врезания, переходы).
- Выполните верификацию траектории для наглядности.

Операция может отслеживать текущее состояние заготовки (ЗвПО) при использовании меньшего инструмента для доработки, эта возможность включается в **Параметрах резания**, как и во многих других операциях.
Обратим внимание еще на несколько специфических настроек в этой операции, они также находятся в **Параметрах резания**. Это параметр, регулирующий степень огибания рассекателя (рис. 18.7), возможность задавать разный припуск для ступицы, лопатки и т. д. (рис. 18.8), параметры сглаживания оси инструмента (рис. 18.9). Контекстно-зависимые рисунки не требуют дальнейших пояснений этих параметров.

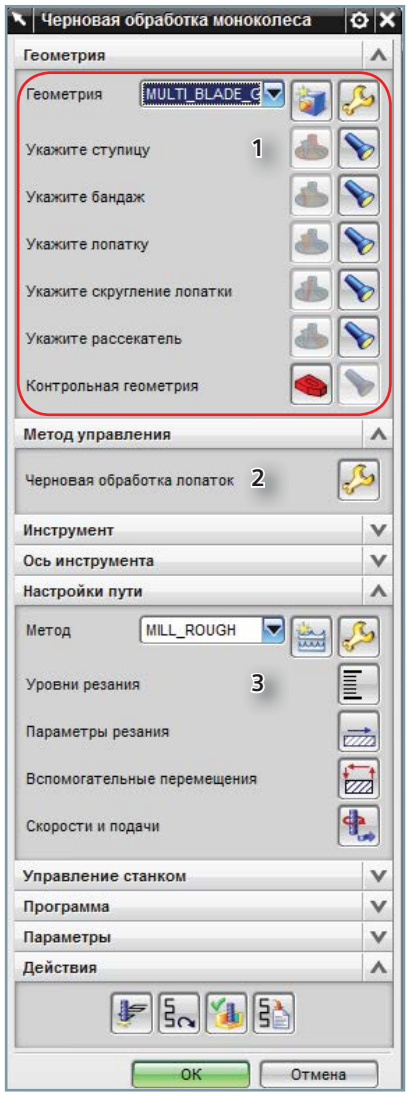


Рис. 18.3. Диалоговое окно операции MULTI_BLADE_ROUGH

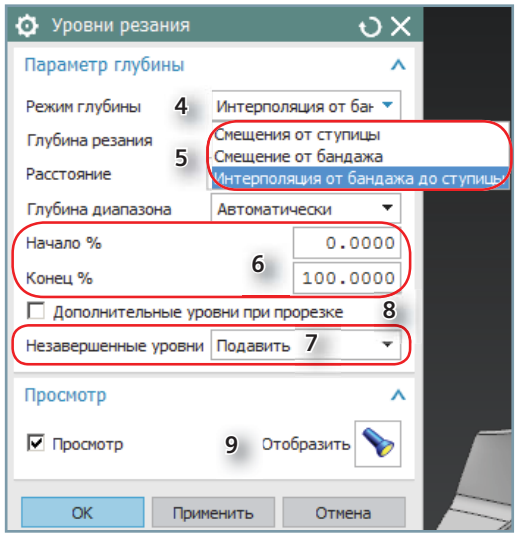


Рис. 18.4. Диалоговое окно уровней резания

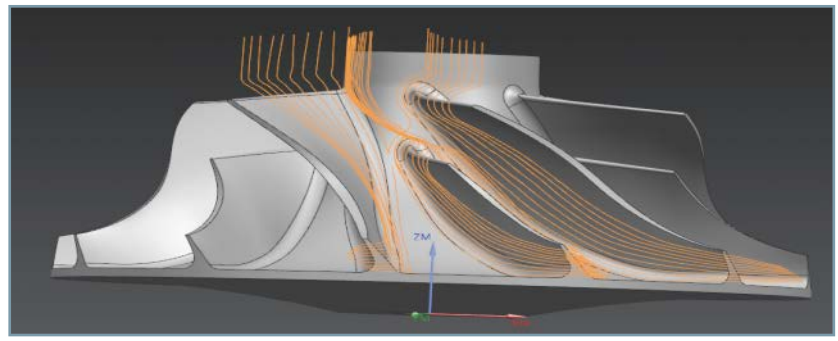


Рис. 18.5. Уровни резания в режиме предварительного просмотра

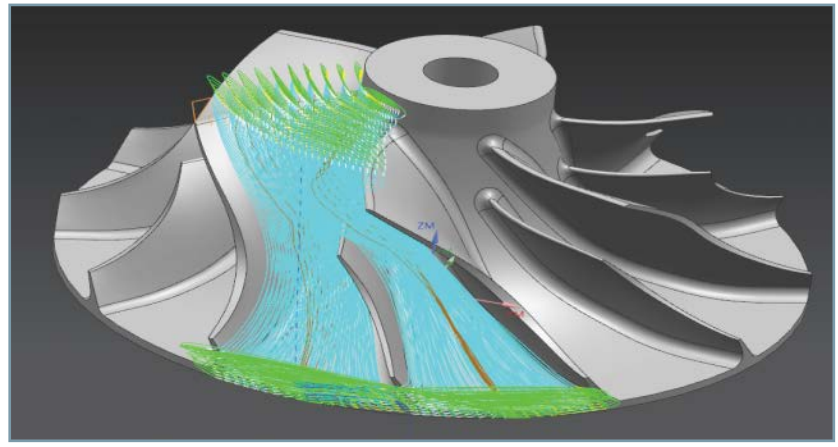


Рис. 18.6. Траектория, созданная операцией MULTI_BLADE_ROUGH

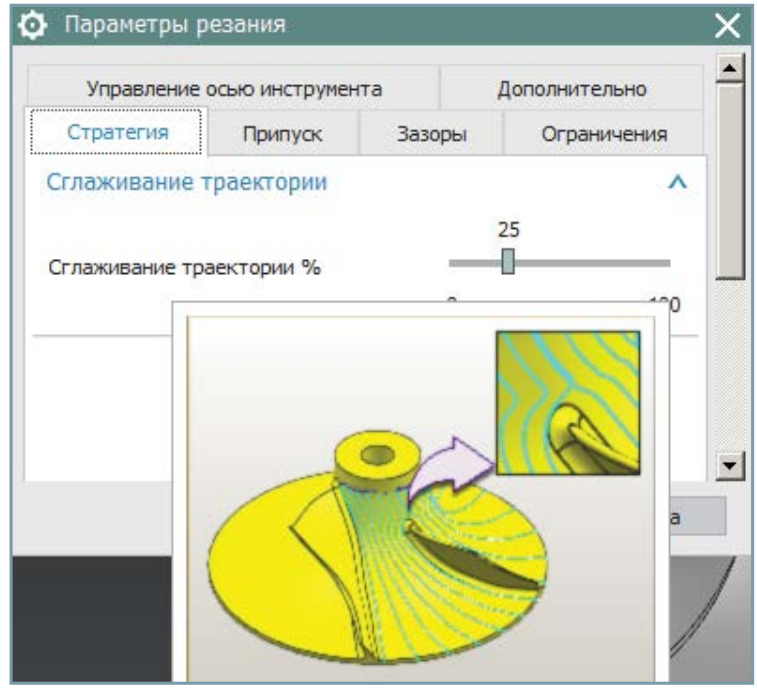


Рис. 18.7. Параметр, регулирующий степень огибания рассекателя

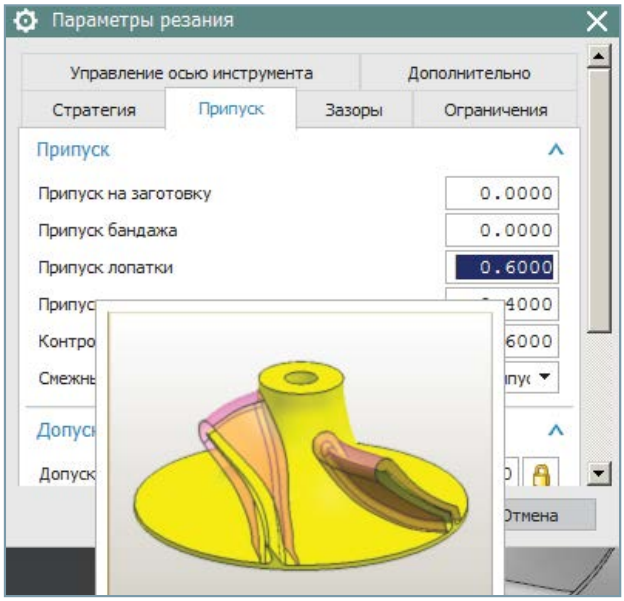


Рис. 18.8. Возможно задавать разный припуск для ступицы, лопатки и т. д.

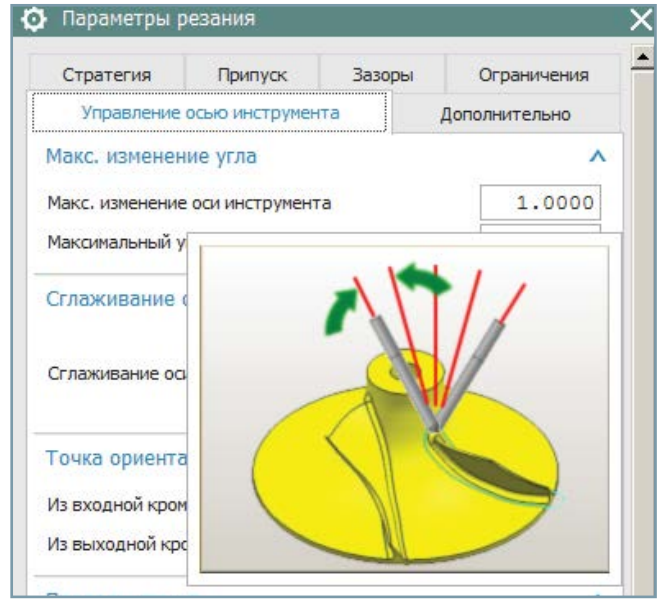


Рис. 18.9. Параметры сглаживания оси инструмента

Чистовая обработка лопатки (Blade Finishing)

Обработка лопатки выполняется автоматически, но, так же как при черновой обработке, имеется возможность изменять ряд параметров. Например, можно обрабатывать все стороны лопатки последовательно круговыми проходами, а можно раздельно каждую сторону. Также возможно ограничение обработки в процентах к высоте лопатки, что полезно для нежестких деталей.

- Откройте диалоговое окно операции BLADE_FINISH_1 (рис. 18.10).

Группа параметров **Геометрия** также ссылается на группу MULTI_BLADE_GEOM и свернута для компактности диалогового окна. **Уровни резания** (1) тоже используются (их использование аналогично предыдущей операции). Специфические параметры операции задаются в параметрах **Метода управления** (2). Выполните команду задания параметров метода управления, новое диалоговое окно появится (рис. 18.11). Эта же операция применяется и для обработки рассекателя, поэтому в ней указывается **Геометрия для обработки** (3). В данном случае задана **Лопатка**. Второй важный параметр – **Стороны резания** (4), на рисунке показаны возможные значения. Опция **Все стороны** обеспечит круговую обработку (но в модели должна быть задана выходная кромка как грань или набор граней). Возможна раздельная обработка сторон лопатки. В данном случае задана обработка обеих сторон и входной кромки. **Шаблон резания** в операции единственный – **Зиг**, если заданы все кромки, то возможно использование второго шаблона – **Спираль**.

- Траектория показана на рис. 18.12.
- Обратите внимание на сглаженные переходы в районе выходной кромки.
- Выполните верификацию траектории.

Чистовая обработка ступицы (Hub Finishing)

При обработке ступицы часто нужно удлинить проходы для обеспечения плавного выхода инструмента из зоны резания. В этой операции можно удлинить проходы в радиальном и осевом направлениях без редактирования самой геометрии.

- Откройте диалоговое окно операции HUB_FINISH (рис. 18.13).

Группа параметров **Геометрия** задана аналогично. Уровни резания не используются (так как речь идет об обработке дна). Специфические параметры операции задаются в параметрах **Метода управления** (1). Выполните команду задания параметров метода управления, появится новое диалоговое окно (рис. 18.14).

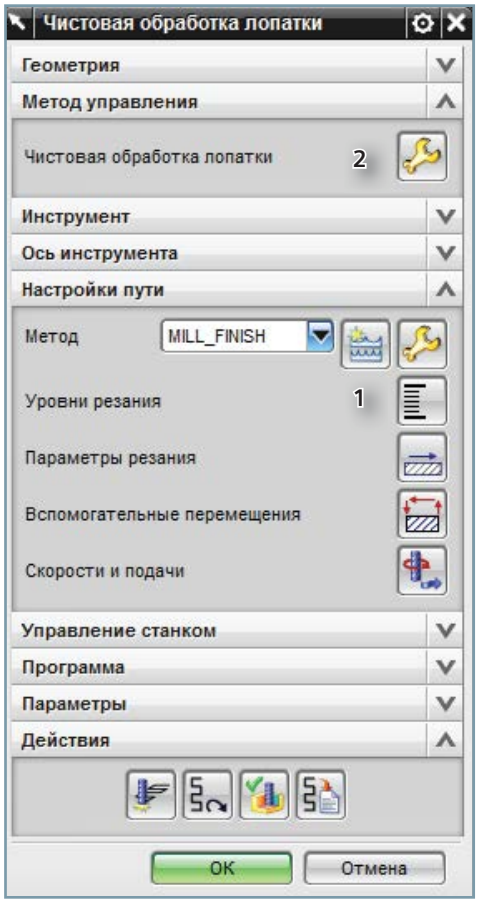


Рис. 18.10. Диалоговое окно операции BLADE_FINISH

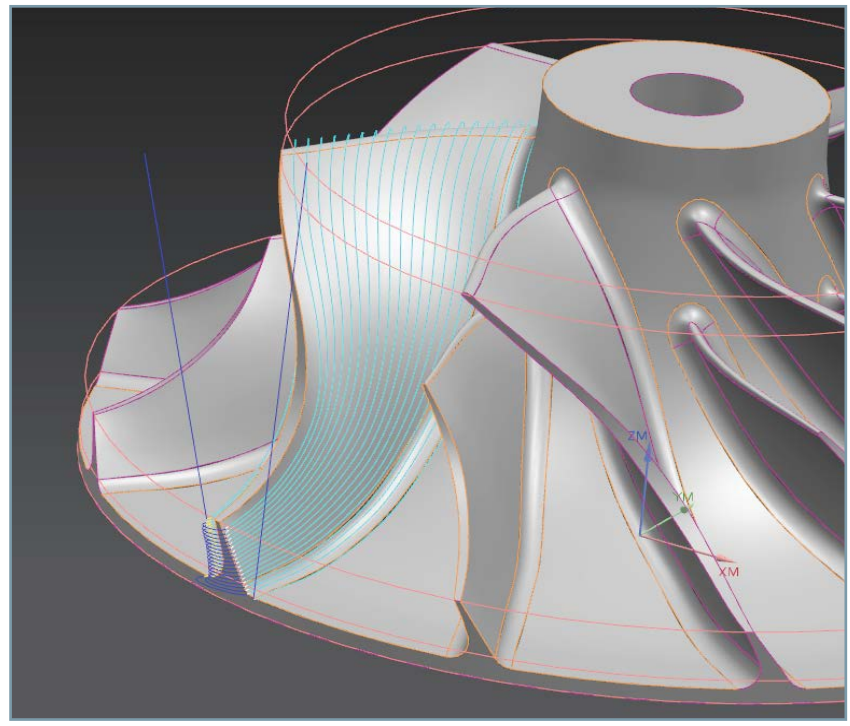


Рис. 18.12. Траектория, созданная операцией BLADE_FINISH

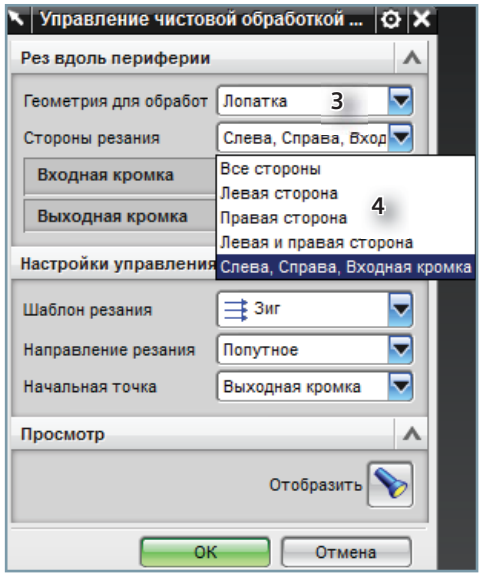


Рис. 18.11. Диалоговое окно задания геометрии для обработки лопатки

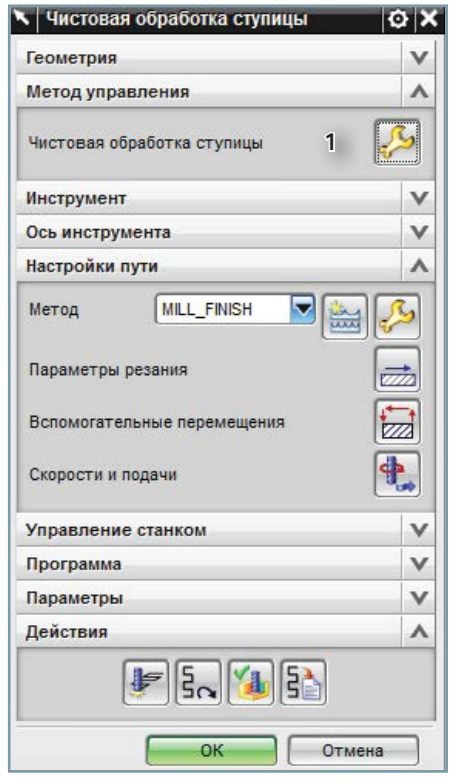


Рис. 18.13. Диалоговое окно операции HUB_FINISH

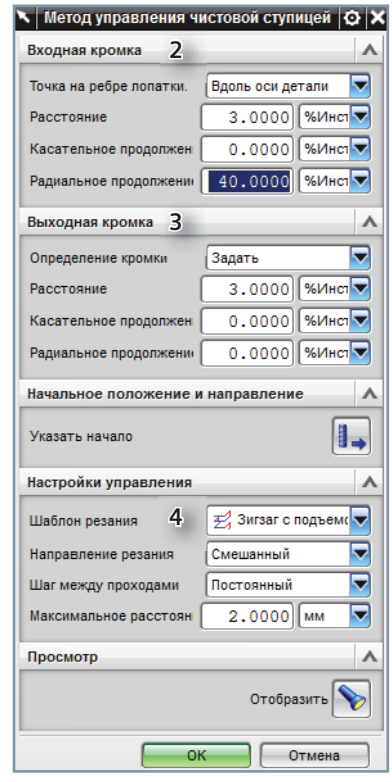


Рис. 18.14. Диалоговое окно метода управления обработкой ступицы

В нем можно задать параметры продления **Входной** (2) и **Выходной** (3) **кромок**. По умолчанию параметры выходной кромки заданы как для входной, но в нашем случае радиальное продление задано только на входной кромке. **Шаблон резания** (4) может принимать два значения: **Зигзаг с подъемом** и **Зиг**.
Траектория для первого случая показана на рис. 18.15, стрелкой на рисунке показан результат продления рабочих ходов для входной кромки. Траектория для шаблона **Зиг** показана на рис. 18.16. Обратите внимание на сглаженные переходы между рабочими ходами (показаны синим). Такие переходы позволяют поддерживать фиксированное направление резания, что очень важно при обработке труднообрабатываемых материалов.

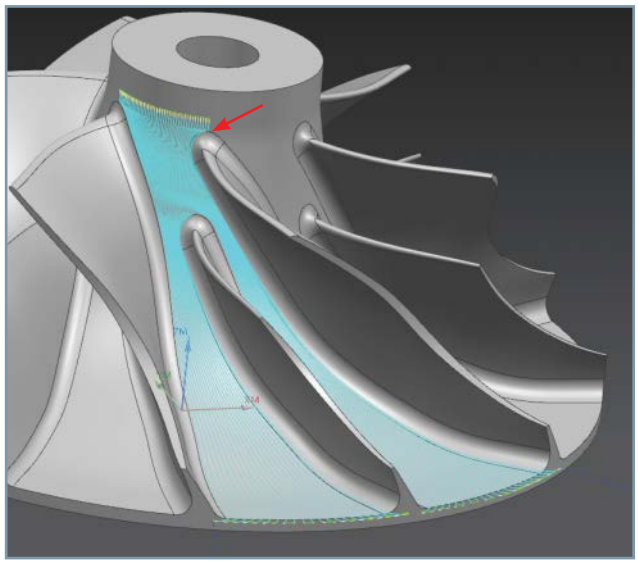


Рис. 18.15. Траектория обработки ступицы, где выполнено продление рабочих ходов

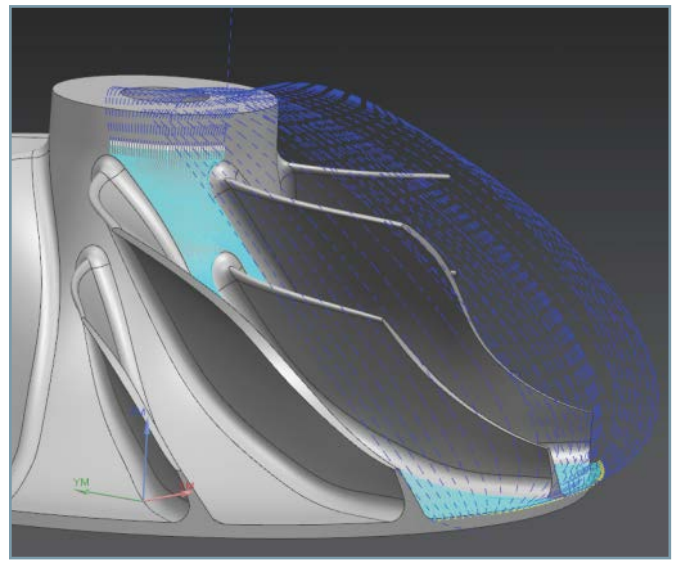


Рис. 18.16. Траектория обработки ступицы для шаблона Зиг

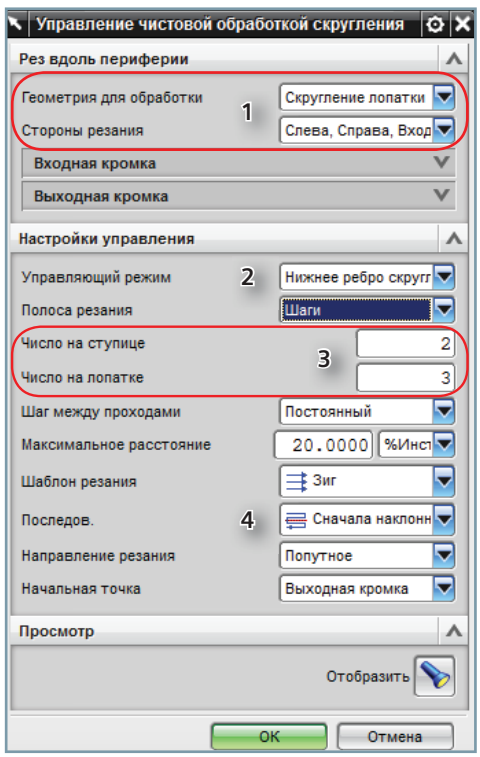


Рис. 18.17. Диалоговое окно метода управления обработкой скругления лопатки

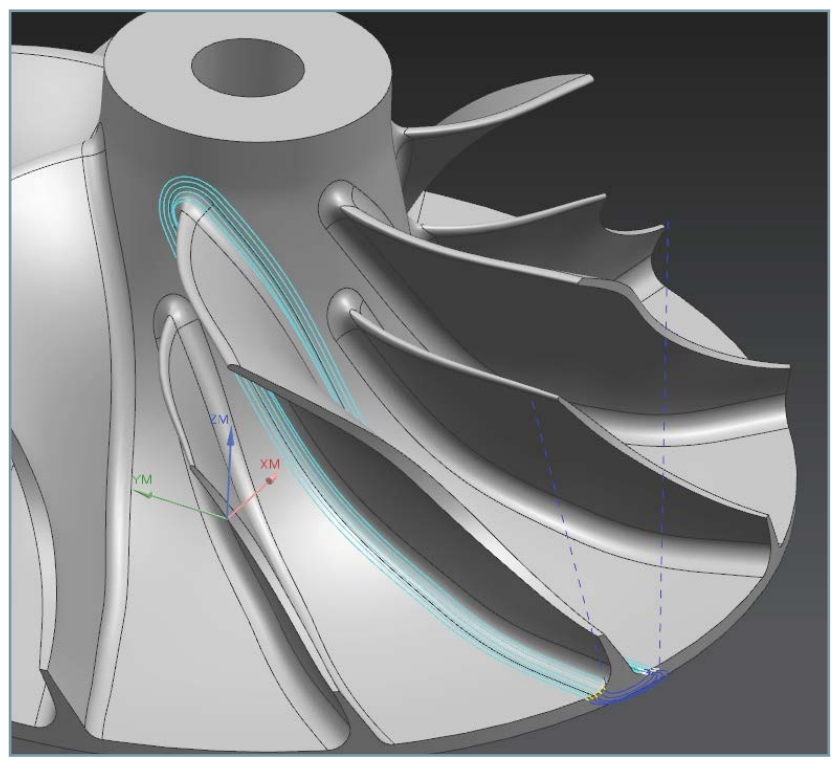


Рис. 18.18. Траектория обработки скругления лопатки

В **Параметрах резания** имеется параметр сглаживания положения оси инструмента, что полезно на некачественной геометрии, а также параметр, задающий степень огибания входной кромки рассекателя (аналогично черновой операции обработки моноколес).

Чистовая обработка скругления (Blend Finishing)

Операция обработки радиуса организована так, чтобы обрабатывать не только саму поверхность радиуса, но и полосу заданной ширины. При этом для обеспечения перекрытия полоса может захватывать поверхность лопатки и ступицы.

- Откройте диалоговое окно операции BLEND_FINISH_BLADE, диалоговое окно похоже на уже знакомые нам операции и не приводится.
- Выполните команду задания параметров метода управления, появится новое диалоговое окно (рис. 18.17).

Задание **Геометрии для обработки** (1) аналогично операции обработки лопатки. В настройках управления задаются **Управляющий режим** (2) и **Число проходов** по ступице и по лопатке (3). Порядок выполнения проходов (4) очень похож на 3-осевые операции по доработке углов. Траектория показана на рис. 18.18.
Пример содержит также операции по обработке рассекателя и скругления рассекателя.

Глава 19

Обработка на основе элементов (Feature Based Machining)

Содержание главы

- Учет данных технических условий (PMI)
- Навигатор элементов обработки
- Редактор правил обработки
- Автоматическое распознавание для ручного расчета траекторий
- Обучение элементам и операциям

Обработка на основе элементов (Feature Based Machining)

Одно из наиболее перспективных направлений развития CAM-систем – обработка на основе элементов (feature-based machining – FBM). Такой подход позволяет значительно ускорить и упростить программирование обработки на станках с ЧПУ. Feature-based machining – это модуль NX, который дает возможность автоматически распознавать типовые элементы и создавать для них операции обработки. Типовые элементы определяются тремя способами: извлекаются из дерева построения (identification), распознаются по геометрической модели (recognition) и прямым указанием граней с назначением их атрибутов (mapping). Затем распознанные элементы группируются по заданным признакам. Для групп рассчитываются операции, основанные на правилах и шаблонах, подбираются инструмент, метод и параметры обработки. Распознаются элементы на основе твердотельной модели, причем возможна работа с моделями без дерева построения, в том числе и с импортированной геометрией.

Важная особенность данного модуля NX – это возможность автоматически использовать PMI-данные или 3D-технические условия (ТУ) при назначении технологии обработки элементов. PMI-данные применительно к CAM – это размеры, данные о допусках, качестве поверхностей, цветовые атрибуты и др., которые размещаются непосредственно в 3D-пространстве или на модели и могут связываться с ребрами или гранями.

В NX распознается большое количество типовых элементов (feature) разного типа. Они, в свою очередь, состоят из простых элементов (element) типа пазов, отверстий, граней в разном сочетании. Каждый такой элемент – это шаг в полной технологии обработки всего типового элемента (*намеренно приводим английские термины, чтобы различать понятия element и feature*). В последних версиях NX появилась возможность описания своих типовых элементов, в том числе в режиме обучения, и возможность обучения типовой технологии.

Технология обработки каждого типового элемента описана в базе знаний обработки (Machining Knowledge database) и доступна для редактирования. Выбор операции для каждого шага осуществляется с учетом текущего состояния заготовки. Важно и то, что операциям в базе знаний назначен приоритет, который обычно связан со стоимостью ее выполнения. Это позволяет при прочих равных условиях выбрать более экономичный вариант обработки.

Для работы с базой знаний обработки в NX имеется **Редактор правил обработки** (Machining Knowledge Editor). Он позволяет создавать или модифицировать последовательность операций для обработки типовых элементов, чтобы учесть особенности конкретного производства. NX CAM поставляется с уже настроенной базой знаний.

В этой книге рассмотрим только основы работы с этим модулем.

Примечание. Если вы находитесь в модуле моделирования, то при выборе конкретного PMI подсвечивается грань, которая с ним связана.

Учет заданных технических условий (PMI)

- Откройте пример fbm_pav_ekb1.prt (рис. 19.1).
- Модель содержит три отверстия и два уступа.
- Важно, что для некоторых граней заданы PMI-данные: диаметр одного из отверстий задан с допуском, также задана шероховатость трех граней и отверстия.
- Для некоторых элементов PMI не заданы.
- Для работы с модулем FBM нужна особая инициализация модуля CAM (наиболее удобный метод инициализации был описан в главе 1).
- Сначала выполните обычную инициализацию с созданием сборки для обработки.
- Выполните из меню **Инструменты** – **Навигатор операций** – **Удалить настройку**.
- Так как нельзя находиться в модуле CAM без инициализации, то появится диалоговое окно инициализации (рис. 19.2).
- Выберите настройки, как показано, и нажмите **ОК**.

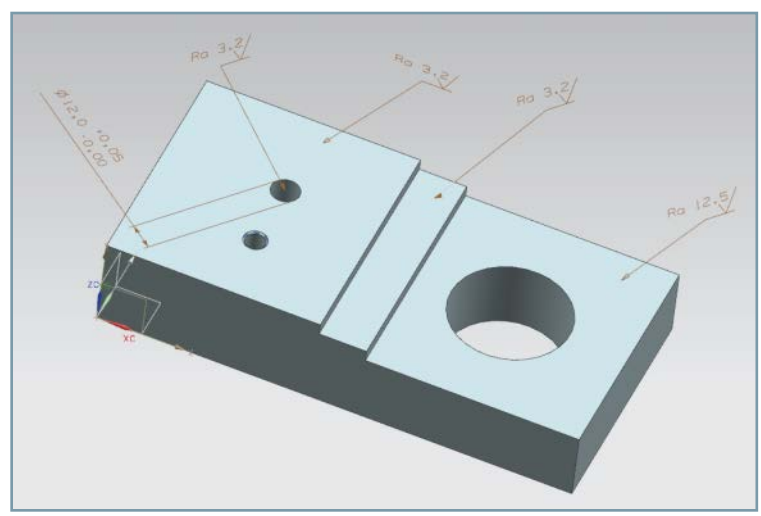


Рис. 19.1. Пример детали с нанесенными элементами PMI

При такой инициализации создается много новых методов обработки, которые необходимы для автоматического создания операций в дальнейшем. Чтобы использовать технические условия (ТУ – PMI), заданные в конструкторской модели,

необходимо создать их ассоциативные копии на уровне сборки. В NX для этого служит команда **Редактор связей ТУ WAVE,** которая находится в ленточном меню **Сборки** – **Дополнительно** (рис. 19.3).

- Выполните команду **Редактор связей ТУ WAVE**.
- В появившемся диалоговом окне (рис. 19.4) выберите имя конструкторской модели.
- Подсветятся все PMI, имеющиеся в модели.

В этот момент можно выбрать нужные ТУ (2) и связать их с определенными видами (3).

- Выберите их все и нажмите **ОК**. Ссылки на PMI будут созданы на уровне нашей сборки для обработки.
- Также задайте нашу модель как **Деталь** в геометрической группе WORKPIECE.

Все готово для поиска элементов.

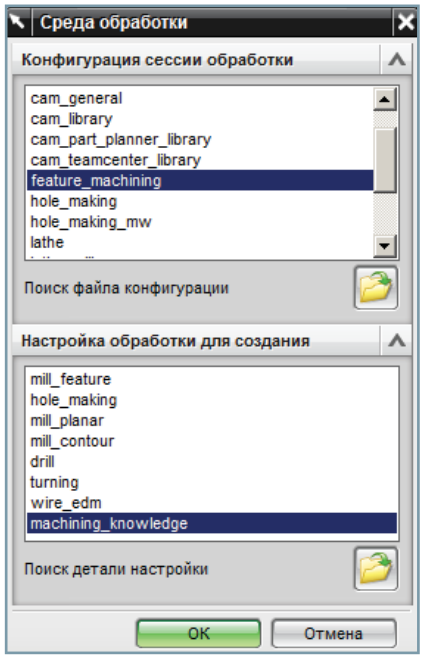


Рис. 19.2. Установки инициализации для работы с модулем FBM

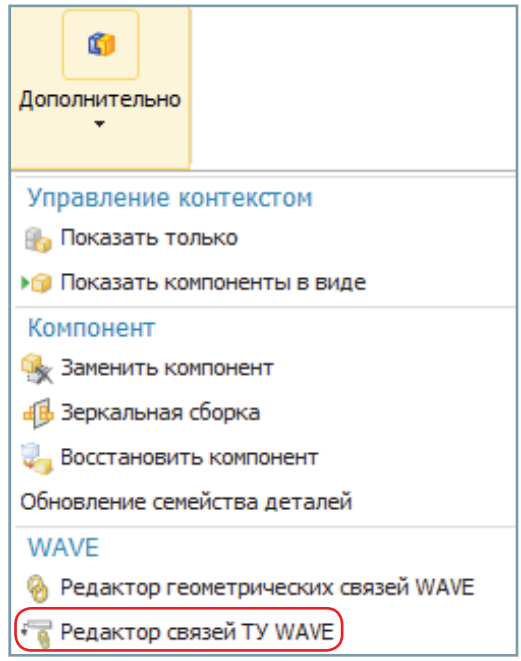


Рис. 19.3. Расположение команды Редактор связей ТУ WAVE

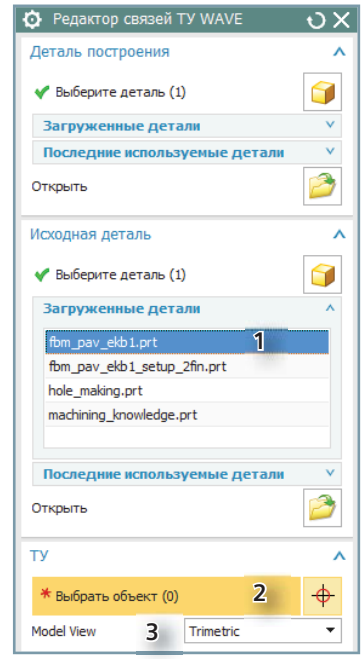


Рис. 19.4. Диалоговое окно редактора связей ТУ WAVE

Навигатор элементов обработки

Для работы с элементами обработки в NX существует специальная вкладка на панели ресурсов – **Навигатор элементов обработки** (1), команда вызова располагается под навигатором операций (рис. 19.5).

- На чистом месте навигатора элементов обработки вызовите контекстное меню и из него выполните команду **Поиск элементов** (2).
- Появится новое диалоговое окно (рис. 19.6).

Поиск элементов возможен различными способами. Это задается в поле **Тип**, основным рекомендуемым типом поиска является **Параметрическое распознавание** (3). При этом способе элементы обработки распознаются исключительно по форме и не зависят от способа моделирования. Этот подход позволяет работать и с моделями без дерева построения.
Имеется еще тип поиска – **Идентификация**, при котором элементы извлекаются из дерева построения. Этот тип рекомендуется при работе с моделями из пакетов по проектированию технологической оснастки Mold Wizard и Die Wizard.
Имеется еще **Маркировка** (Mapping), но это уже тонкие методы. В книге будем иметь дело только с параметрическим распознаванием.

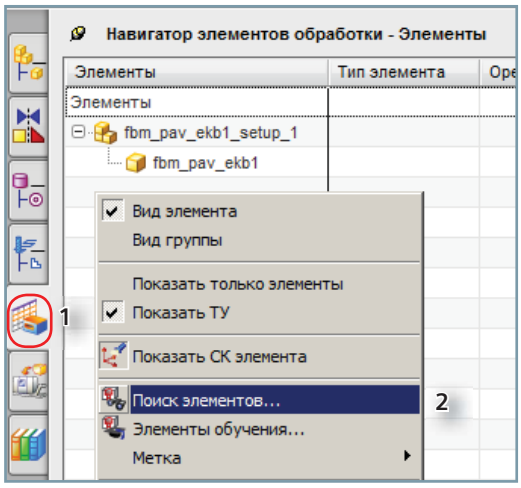


Рис. 19.5. Расположение команды Поиск элементов

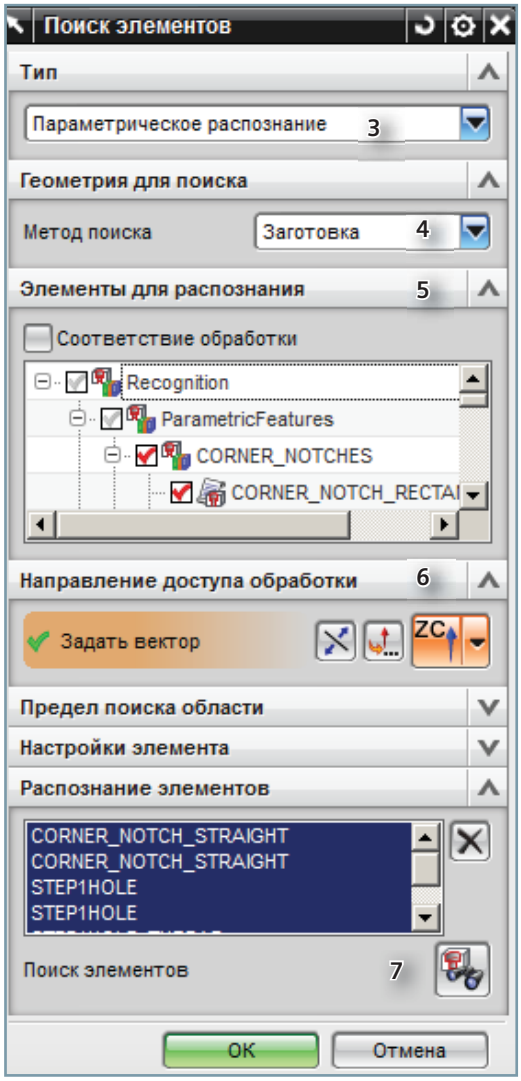


Рис. 19.6. Диалоговое окно команды Поиск элементов

- Задайте **Геометрию для поиска** (4) – **Заготовка** (WORKPIECE).
- Окно **Элементы для распознавания** (5) позволяет ограничить набор используемых элементов.
- Чтобы не вдаваться в подробности, задайте все элементы (это сделано по умолчанию).
- Чтобы минимизировать число элементов в нашем примере, зададим **Направление доступа обработки** (6) – **Ось Z**.
- Будут распознаваться элементы, которые доступны для обработки инструментом, расположенным по оси Z (2.5- и 3-осевая обработка).
- Выполните команду **Поиск элементов** (7).
- Через какое-то время в окне **Распознавание элементов** отобразится список элементов.
- До нажатия **ОК** можно элементы просмотреть по очереди (они подсвечиваются в графической области) и удалить ненужные. Впрочем, это можно сделать и позже. Поэтому нажмите **ОК**.

Для указанной детали автоматически определены шесть типовых элементов (рис. 19.7). Элементы, на которых были заданы ТУ, содержат ссылки на них. В этом можно убедиться, раскрыв дерево элемента в навигаторе элементов обработки. Имя элемента состоит из имени типа и порядкового номера (например, STEP1HOLE – это одноступенчатое отверстие, у нас имеются два таких элемента).
Навигатор элементов обработки имеет много колонок, если воспользоваться полосой прокрутки в окне навигатора, можно увидеть и размеры, и ТУ, и другие параметры (также можно использовать окно **Подробности** для изучения атрибутов элемента). Однако все это необходимо на стадии отработки технологии. После настройки правил обработки операции должны создаваться автоматически.

- Следующий шаг – создание операций обработки.
- Можно это делать для отдельных элементов.
- Выберите все элементы и из контекстного меню выполните команду **Создание процесса обработки** (Create Feature Process) (рис. 19.8).
- Появится диалоговое окно, где можно указать конкретную библиотеку правил обработки (рис. 19.9).
- Задайте только библиотеку **MillDrill** (Фрезерование и сверление) и нажмите **ОК**.
- Создание операций займет некоторое время, в **Навигаторе элементов обработки** в колонке **Статус операции** появится символ несгенерированной операции, это признак, что с данным элементом связаны операции.
- Переключитесь в **Навигатор операций**, **Вид геометрии** (рис. 19.10).

В навигаторе операций созданы геометрические группы по имени элемента, и в них размещены операции. У нас имеются два одноступенчатых отверстия и два уступа, однако они попали в разные геометрические группы при назначении операций. Обратите внимание, что для уступа с шероховатостью Ra3.2 сгенерированы две операции, то есть автоматически введен чистовой проход. Колонка **Инструмент** показывает используемый в операции инструмент. Инструмент должен существовать в библиотеке.
В табл. 19.1 показаны элементы обработки и сгенерированные для них операции. Операции те же, что на рис. 19.10, но их названия переведены на русский язык.
Упомянем еще, что имеется возможность включить окно протокола, где поясняется, почему использована одна операция и отвергнута другая. Это окно используется экспертом по обработке при настройке правил обработки.

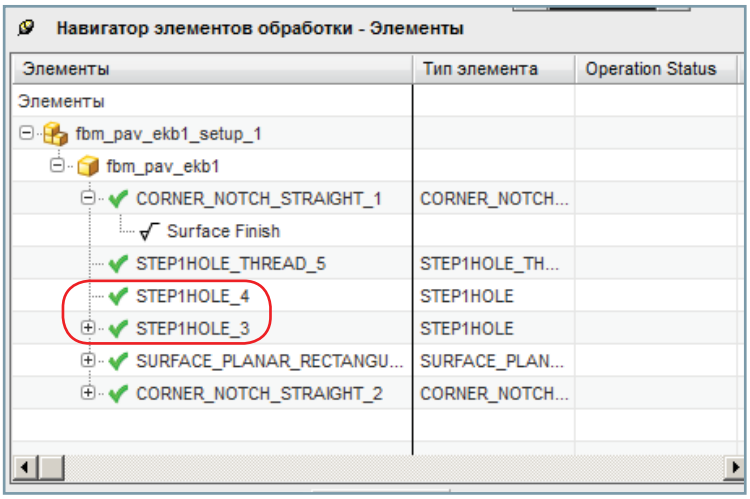


Рис. 19.7. Для указанной детали автоматически определены шесть типовых элементов

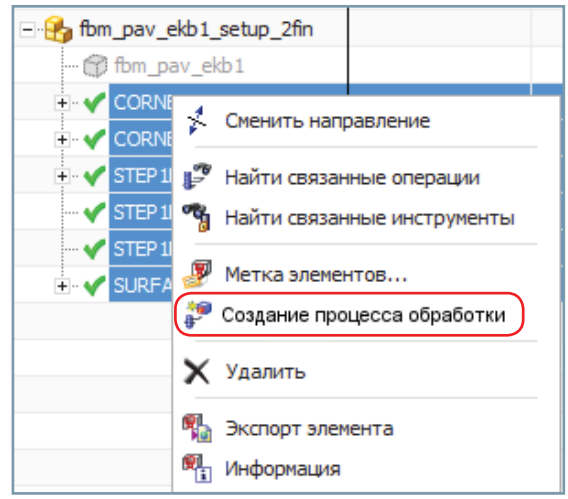


Рис. 19.8. Расположение команды Создание процесса обработки

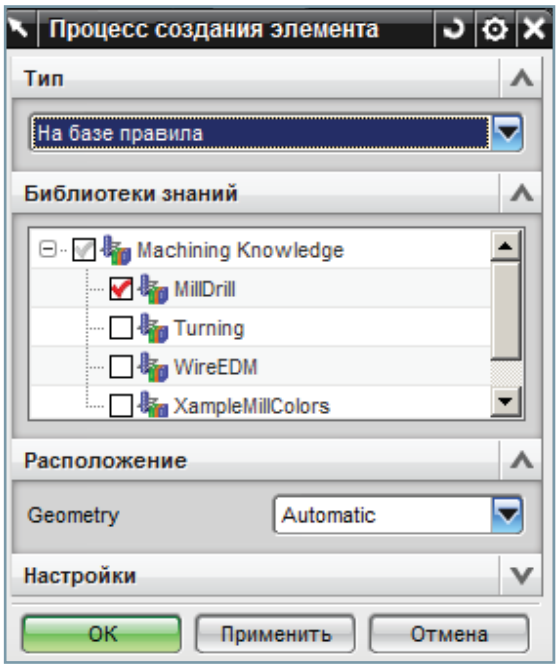


Рис. 19.9. Выбор библиотеки правил обработки из списка

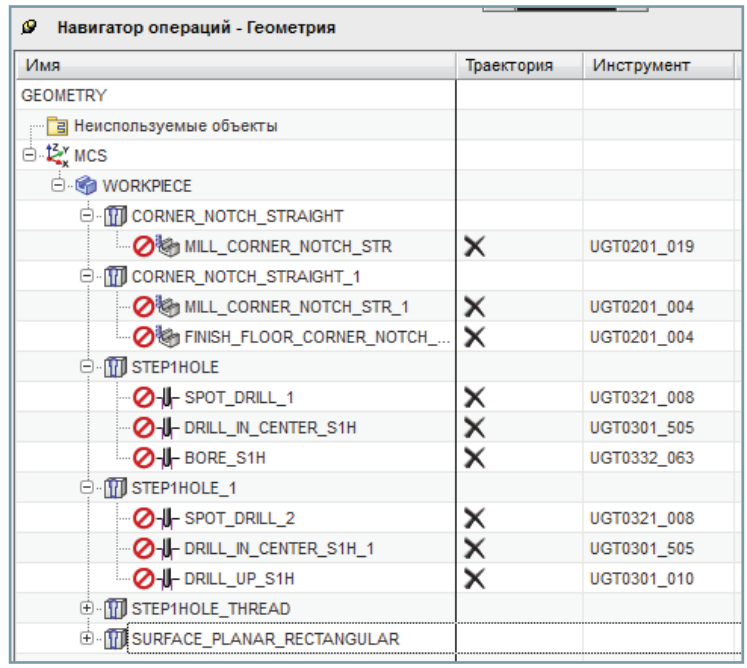


Рис. 19.10. В навигаторе операций созданы геометрические группы по имени элемента

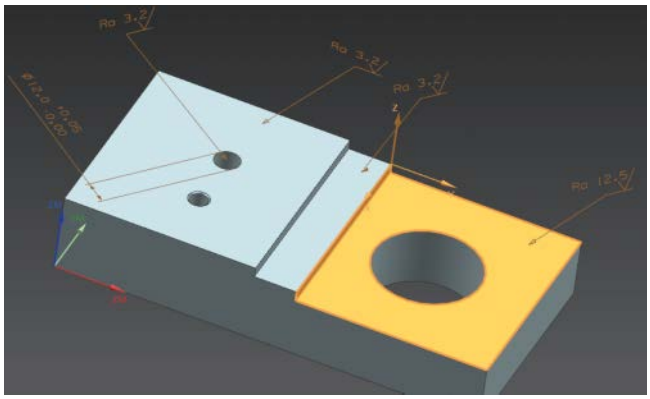
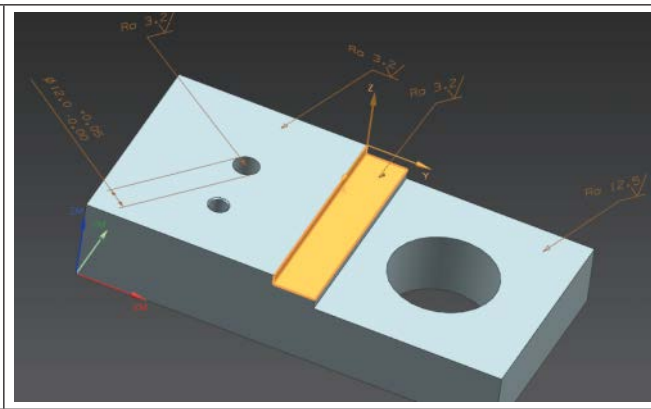
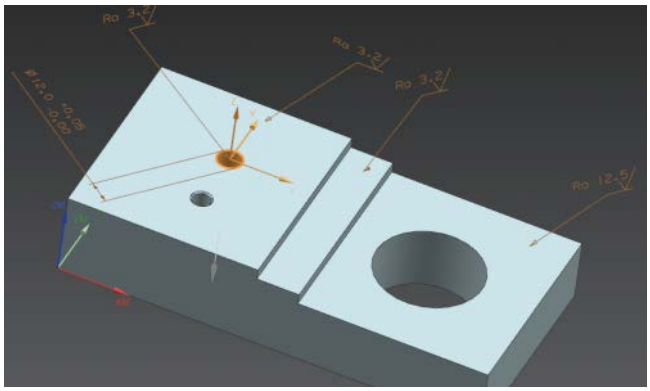
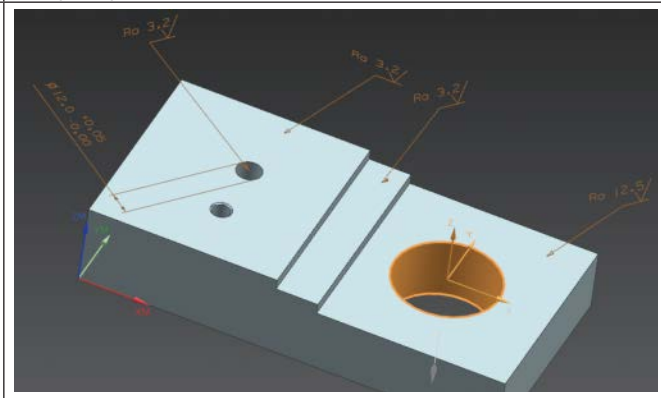
- Операции сформированы, но не сгенерированы.
- Сгенерируйте их и выполните верификацию.

Редактор правил обработки

Редактор правил обработки выполнен как отдельное приложение и запускается из меню **Пуск** – **Все программы** – **Siemens NX** – **Обработка – Редактор базы знаний обработки** (**Machining Knowledge Editor**). Это приложение требует отдельной лицензии.

- Запустите **Редактор правил обработки** (рис. 19.11), откройте файл machining_knowledge.xml (по умолчанию будет показана папка, где хранится файл стандартной библиотеки).

Таблица 19.1

	
1. Фрезерование	1. Фрезерование черновое 2. Фрезерование чистовое
	
1. Центрование 2. Сверление 3. Растачивание	1. Центрование 2. Предварительное сверление 3. Рассверливание

Редактор правил разберем очень кратко.

- Выберите вкладку **Machining_Knowledge** (1), это и есть библиотека правил обработки. Разверните список операций и выберите **Drill_S1H** (2), это операция сверления элемента Step1hole.
- В описании операции присутствуют тип операции (3), тип инструмента (4), входной элемент (5), выходной элемент (6), приоритет (7). Основное окно содержит ряд вкладок, разберем первые две: **Условия** (Conditions)(8) и **Константы** (Constants)(9).
- В нижней части диалогового окна имеется дополнительное окно (10) для выборочной работы с операциями, например для сравнения приоритетов различных операций, предназначенных для обработки одного и того же элемента.

Понятия входного и выходного элементов требуют пояснения. **Входной элемент** – это элемент на входе операции. Для сверления это BLANK, то есть не требуется никакого элемента, а для растачивания на входе необходимо просверленное отверстие. **Выходной элемент** операции станет входным для следующей операции. Бывает, что один и тот же элемент можно получить разными операциями, в этом случае начинает работать правило **Приоритета**, который обычно выше у экономически более выгодных операций. **Условия** (Conditions) – это условия применимости операций. Разберем самые простые. Например, условие

mwf.DIAMETER <= constant.Pre_Drill_Limit

использует константу, определяющую диаметр отверстия, начиная с которого требуется предварительное сверление (11 на рис. 19.11). Смысл записи выше: если отверстие меньше или равно указанной константе, то операцию сверления можно применять. В зависимости от применяемого оборудования и инструмента эта константа может быть скорректирована. Еще одно требование связано с качеством поверхности:

roughness_value(mwf.SIDE_ROUGHNESS_1) >= constant.Achievable_Roughness_DRILL_Lower
Если шероховатость лучше, чем нижний предел для сверления, то отверстие не может быть получено сверлением.
Самый простой способ корректировки знаний, доступный даже начинающим, – это изменение констант. Константы могут быть описаны на уровне операции, а могут – на уровне библиотеки.

- Выберите библиотеку **MILLDrill** (1) и вкладку **Constants** (2).
- Найдите в списке константу Pre_Drill_Limit (3) и значение, которое ей присвоено (оно равно 12).

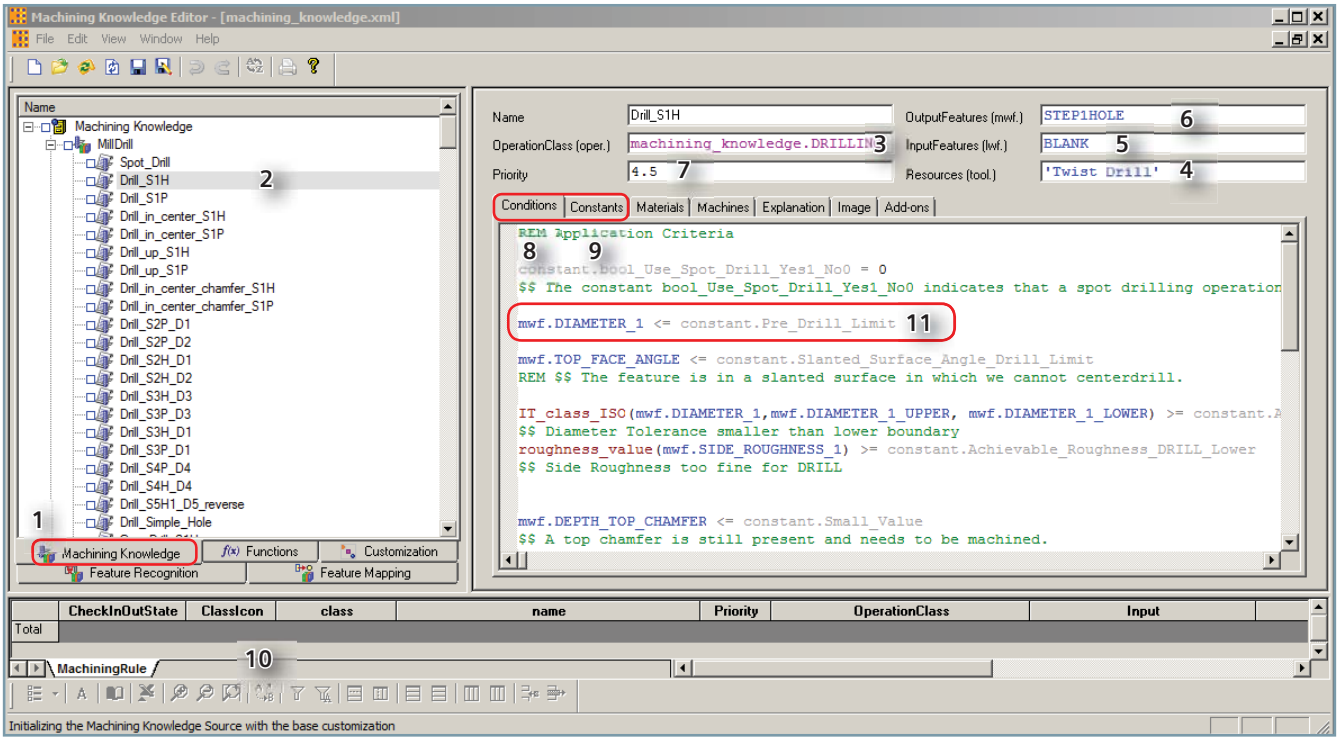


Рис. 19.11. Диалоговое окно редактора правил обработки

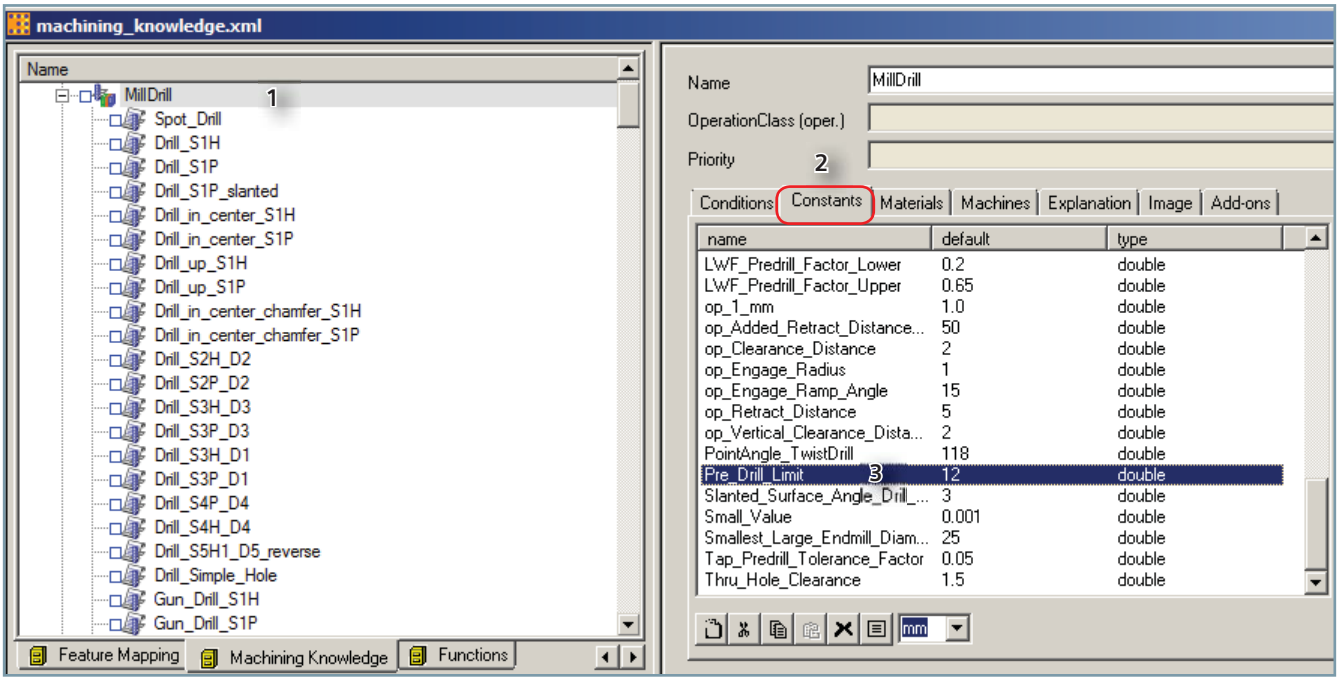


Рис. 19.12. Список констант редактора правил обработки

- Для редактирования служат команды, расположенные ниже списка констант (рис. 19.12).
- Измените значение константы на 10. Сохраните базу правил.

При сохранении происходит проверка синтаксиса, в данном случае появится сообщение, что все корректно. При существенном редактировании лучше сделать резервную копию файла machining_knowledge.xml. Отметим, что до версии NX 8.0 требовалась компиляция библиотеки правил, теперь достаточно просто сохранить ее – и она готова к использованию даже без закрытия сеанса NX.

- В нашем проекте имеется отверстие диаметром 12 мм, по новым правилам нам потребуется операция предварительного рассверливания.
- В навигаторе операций удалите группу STEP1HOLE вместе с операциями (рис. 19.13).
- В навигаторе элементов обработки выберите элемент STEP1HOLE и для него выполните команду **Создание процесса обработки** (Create Feature Process).
- Новые операции будут созданы, их можно увидеть в навигаторе операций (рис. 19.14).
- Обратите внимание, что теперь для обработки требуются 4 операции, а не три, как было раньше. Сгенерируйте операции.

Еще для примера разберем требования к диаметру инструмента. Эти правила описаны и в операции **Drill_S1H** (рис. 19.15).

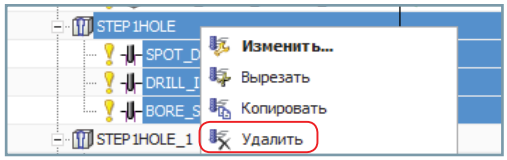


Рис. 19.13. Удаление группы STEP1HOLE вместе с операциями (пример)

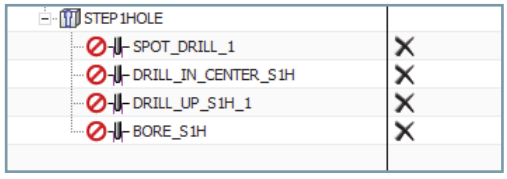


Рис. 19.14. По новым правилам обработки потребуется 4 операции вместо трех

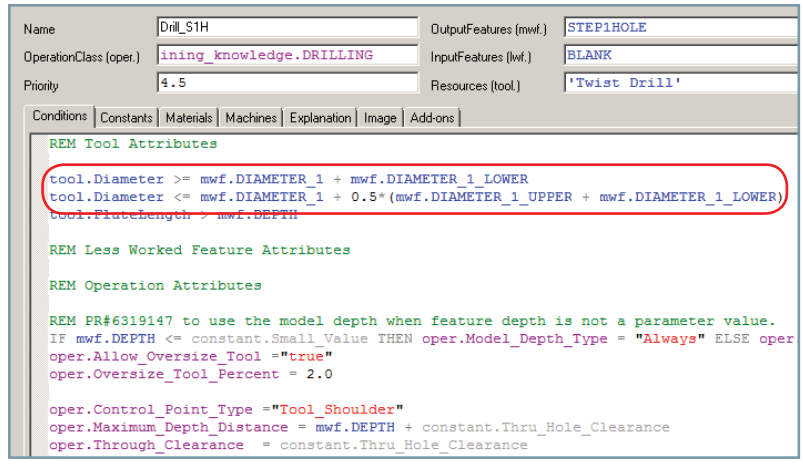


Рис. 19.15. Требования к диаметру инструмента в виде правил

Записи ниже задают правило, что диаметр инструмента при сверлении должен быть больше нижнего предела и меньше середины поля допуска.

tool.Diameter >= mwf.DIAMETER_1 + mwf.DIAMETER_1_LOWER
tool.Diameter <= mwf.DIAMETER_1 + 0.5*(mwf.DIAMETER_1_UPPER + mwf.DIAMETER_1_LOWER

В формулах mwf.DIAMETER_1 – это номинальный диаметр первой ступени отверстия (у нас в примере всего одна ступень, но может быть и больше), mwf.DIAMETER_1_LOWER – нижний допуск, mwf.DIAMETER_1_UPPER – верхний допуск. Все эти параметры определяются при распознавании элемента.
Как видим, с редактором правил обработки можно работать как на инженерном уровне (то есть не зная синтаксиса написания правил), так и на уровне программиста. И важно помнить, что правила настраивает обычно эксперт по обработке. Остальные технологи-программисты их просто используют, не вдаваясь в детали.
На данном этапе обработка на основе элементов в NX применяется в основном для призматических деталей. А что делать, если на модели имеются области, которые не распознаются как типовой элемент? В NX их можно обработать традиционными способами. Операции, полученные с помощью традиционного подхода и обработки на основе элементов, можно чередовать в любом порядке в одном проекте для верификации, симуляции, постпроцессирования и т. д.

Автоматическое распознавание для ручного расчета траекторий

Если работа с правилами обработки кажется сложной либо их трудно формализовать, то возможно комбинировать механизм распознавания элементов и ручной расчет операций. Однако такой расчет опирается на элементы и подэлементы, что заметно ускоряет работу. Этот подход рассмотрен в данном параграфе.

- Откройте пример new_drilling_setup_1.prt (рис. 19.16).
- Выполните распознавание элементов, при поиске элементов укажите только тип STEPS (рис. 19.17) – все отверстия.
- И нажмите **ОК**. Все распознанные элементы будут выбраны и подсвечены.

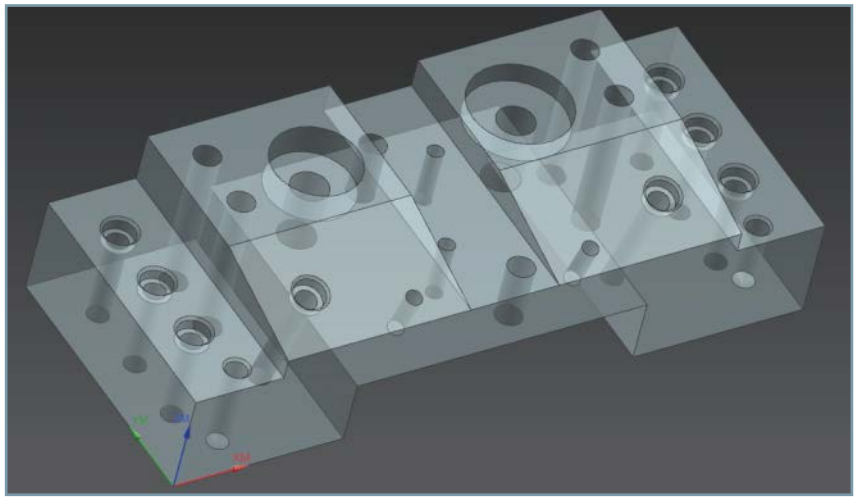


Рис. 19.16. Пример new_drilling_setup_1.prt для иллюстрации полуручного сверления

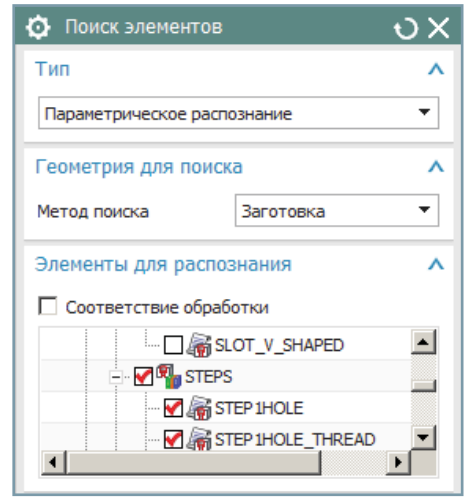


Рис. 19.17. Если интересуют только отверстия, то при поиске элементов укажите лишь тип STEPS

- Далее из контекстного меню элементов Навигатора элементов выполните команду Группирование элементов. Новое диалоговое окно появится (рис. 19.18).

Здесь можно видеть, что выбраны 22 элемента (1), все элементы описываются тремя типами (2). На группировку влияет параметр **Идентичные атрибуты** (3) с установленным значением **Все** (All), элементы одного типа, но разного размера окажутся в разных группах. Иногда используется значение **Нет** (None), например для отверстий одного диаметра, но разной длины. Если параметр **Направление доступа обработки** (4) выключен, то одинаковые, но по-разному ориентированные отверстия окажутся в одной группе, что подходит, например, для сверления на 5-осевом станке.

- В диалоговом окне для всех типов элементов установите параметр **Идентичные атрибуты** в значение **Все** и выполните команду **Создание группы элементов** в нижней части окна (5).
- Будут созданы группы элементов.
- Далее переключитесь в Навигатор операций – Вид геометрия и удалите группы, соответствующие большим ступенчатым отверстиям.
- Нам надо, чтобы они были в одной группе. Снова переключитесь в Навигатор элементов обработки, выберите

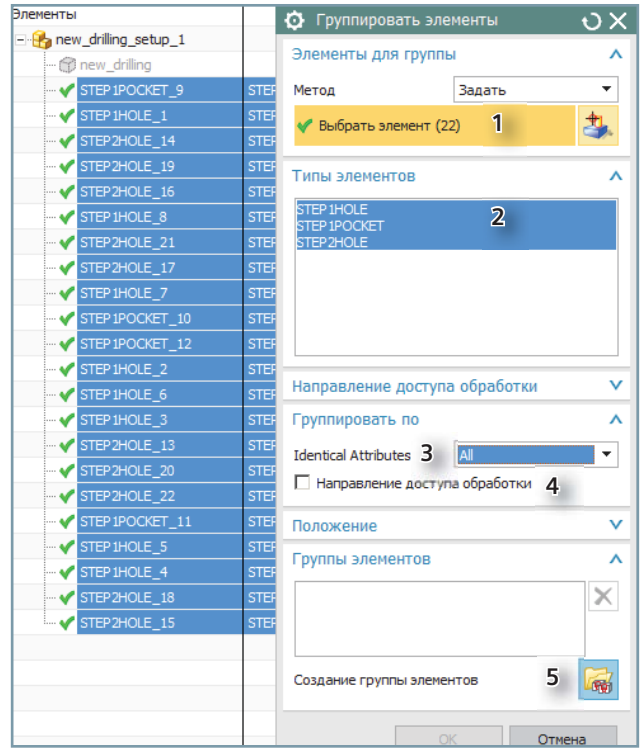


Рис. 19.18. Вызов диалогового окна Группирование элементов

все элементы и выполните команду **Создание группы элементов** для типа **STEP2HOLE с** параметром **Идентичные атрибуты**, равным значению **Нет.**

- В результате только элементы, которые не сгруппированы, будут обработаны, и с такими установками наши два элемента окажутся в одной группе (рис. 19.19).

Выполним обработку этих элементов, уже созданы необходимые инструменты в данном примере.

- Из контекстного меню геометрической группы FG_STEP2HOLE_1 выполните команду **Вставить** – **Операция**.
- Задайте тип операции и инструмент, как показано на рис. 19.20, и сгенерируйте операцию. Здесь все понятно, поэтому рисунок не приводим.

По описанной здесь технологии работают новые операции сверления типа Hole_making. Сами операции были рассмотрены в главе 8, здесь мы обратим внимание на более сложные элементы, в которых материал снимается за несколько операций.
Добавьте операцию сверления, используя инструмент UGT0301_039.
В диалоговом окне операции выполните команду **Отобразить** (1) для геометрии элемента.
Материал, который будет снят на этой операции, будет отображен в графической области (рис. 19.21). Это не то, что нам нужно.
Начиная с NX 9.0 сложные элементы можно рассматривать как набор подэлементов, делением объема элемента на подэлементы можно управлять.

- Выполните команду **Задать геометрию элемента** (2). Появится новое диалоговое окно (рис. 19.22).
- Переключите параметр **Область обработки** (Machining Area) в значение FACES_CYLINDER_2 (3).
- Набор значений зависит от типа элемента. Сейчас показан тот снимаемый материал, который нам требуется.

Обратите внимание, что размеры отверстия (4) считаны из элемента.

- Нажмите **ОК** и сгенерируйте операцию. Результат показан на рис. 19.23.

Выполним фрезерование оставшегося материала этих элементов.

- Добавьте операцию фрезерования отверстий, используя инструмент UGT0201_103.
- В диалоговом окне операции выполните команду **Отобразить** для геометрии элемента. Как можно видеть, остаточный материал отображен корректно (рис. 19.24). Все параметры операции можно оставить по умолчанию, сгенерируйте операцию.
- Результат показан на рис. 19.25.

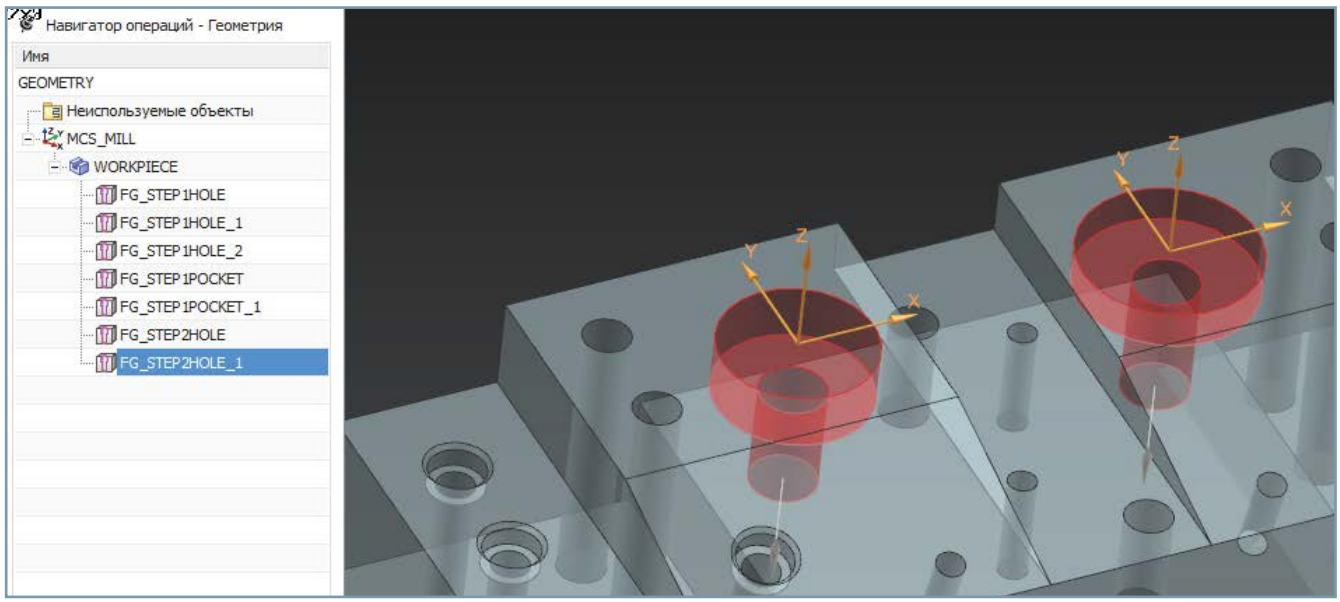


Рис. 19.19. Два разных элемента задаются в одной группе, если планируется единая технология обработки

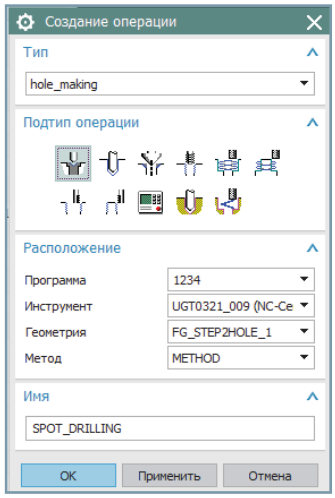


Рис. 19.20. Создание операции центровки для выбранной группы элементов

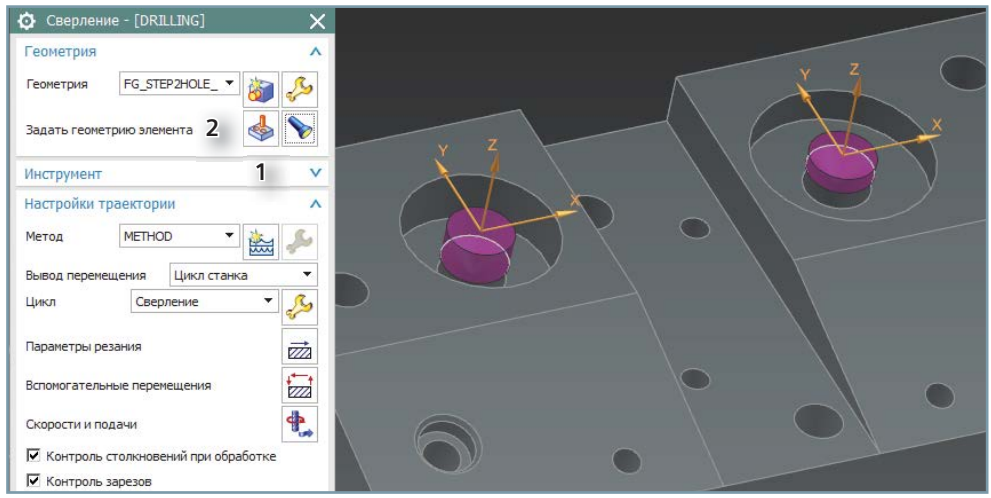


Рис. 19.21. Отображение ЗвПО для операций сверления

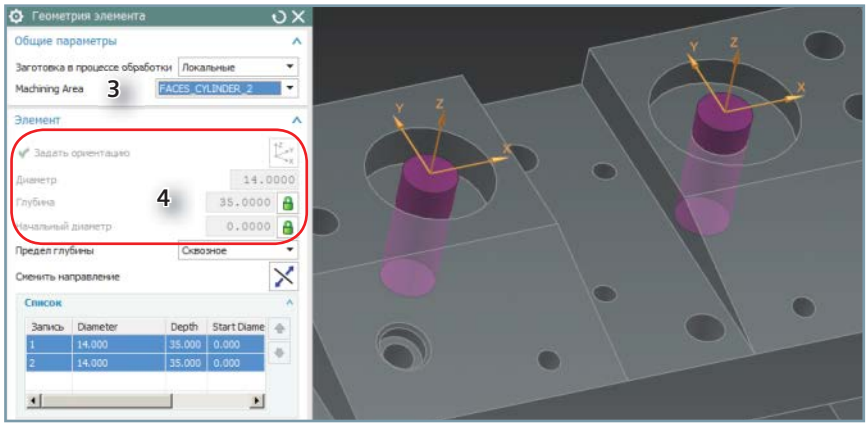


Рис. 19.22. Диалоговое окно геометрии элемента – ступенчатое отверстие

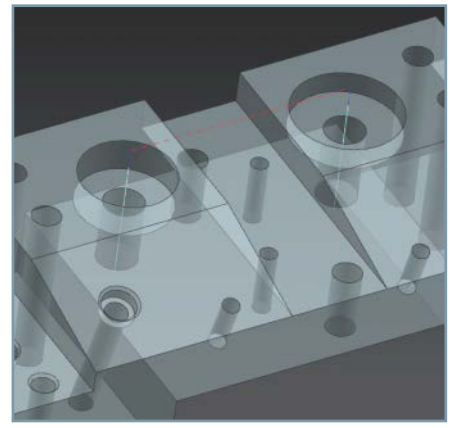


Рис. 19.23. Траектория сверления нижней ступени 2-ступенчатого элемента

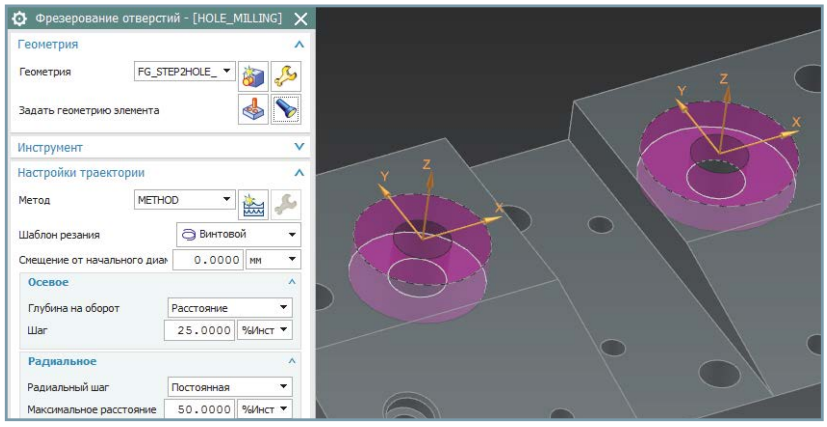


Рис. 19.24. Отображение ЗвПО для операций обработки верхней ступени

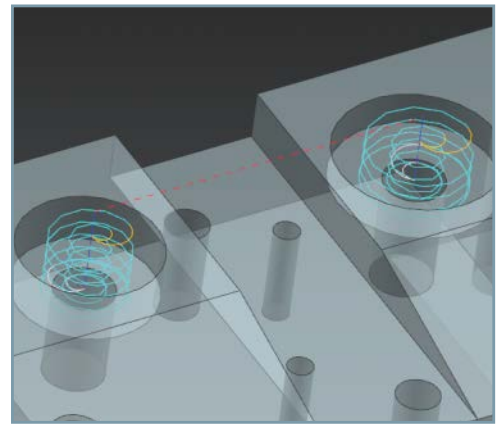


Рис. 19.25. Траектория фрезерования верхней ступени 2-ступенчатого элемента

Большие отверстия имеют разный размер, но при использовании операции фрезерования отверстий могут обрабатываться одной операцией.
Мы создали три операции вручную (рис. 19.26), но при этом использовали автоматическое распознавание элементов.

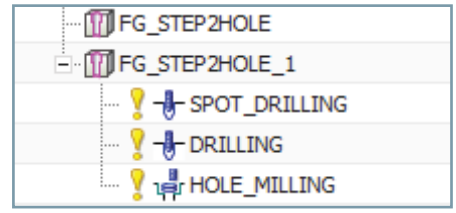


Рис. 19.26. Операции созданы вручную, но на основе автоматического распознавания элементов

Обучение элементам и операциям

Еще одна технология позволяет упростить работу с правилами обработки. Это функционал обучения элементам и операциям. Элемент при этом строится обычным образом, после чего он объявляется типовым. Операции обработки такого элемента также создаются обычным образом, затем объявляются типовой технологией для этого элемента. Правила при этом формируются автоматически, однако редактирование этих правил (с использованием Редактора правил обработки) делает их более гибкими.

- Откройте пример feature_teaching.prt.

В примере имеются две операции по обработке кармана, заданного геометрической группой MILL_AREA (рис. 19.27). Опишем этот карман как типовой элемент.

- Из контекстного меню Навигатора элементов обработки (свободное поле) выполните команду **Обучение элементам (Изучение элементов)**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 19.28).
- В окне выберите **Тип элемента CustomerFeature**, выполните команду **Добавить новый тип элемента** (1), введите имя элемента как на рисунке (2), укажите все грани, образующие элемент (3).
- Укажите грани только одного кармана, как на рис. 19.27.

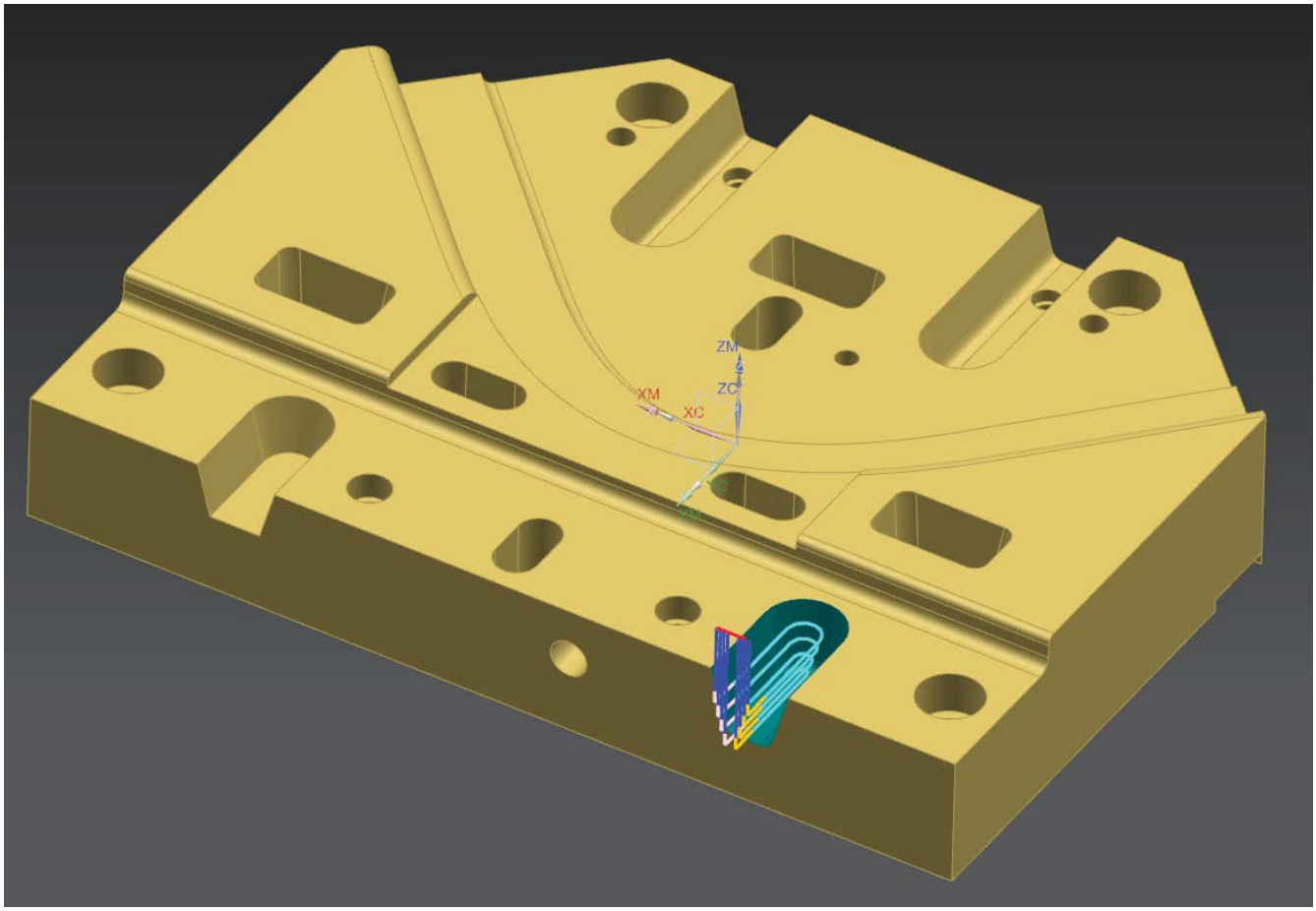


Рис. 19.27. Карман и технология его обработки подготовлены для их описания как типового элемента и типовой технологии

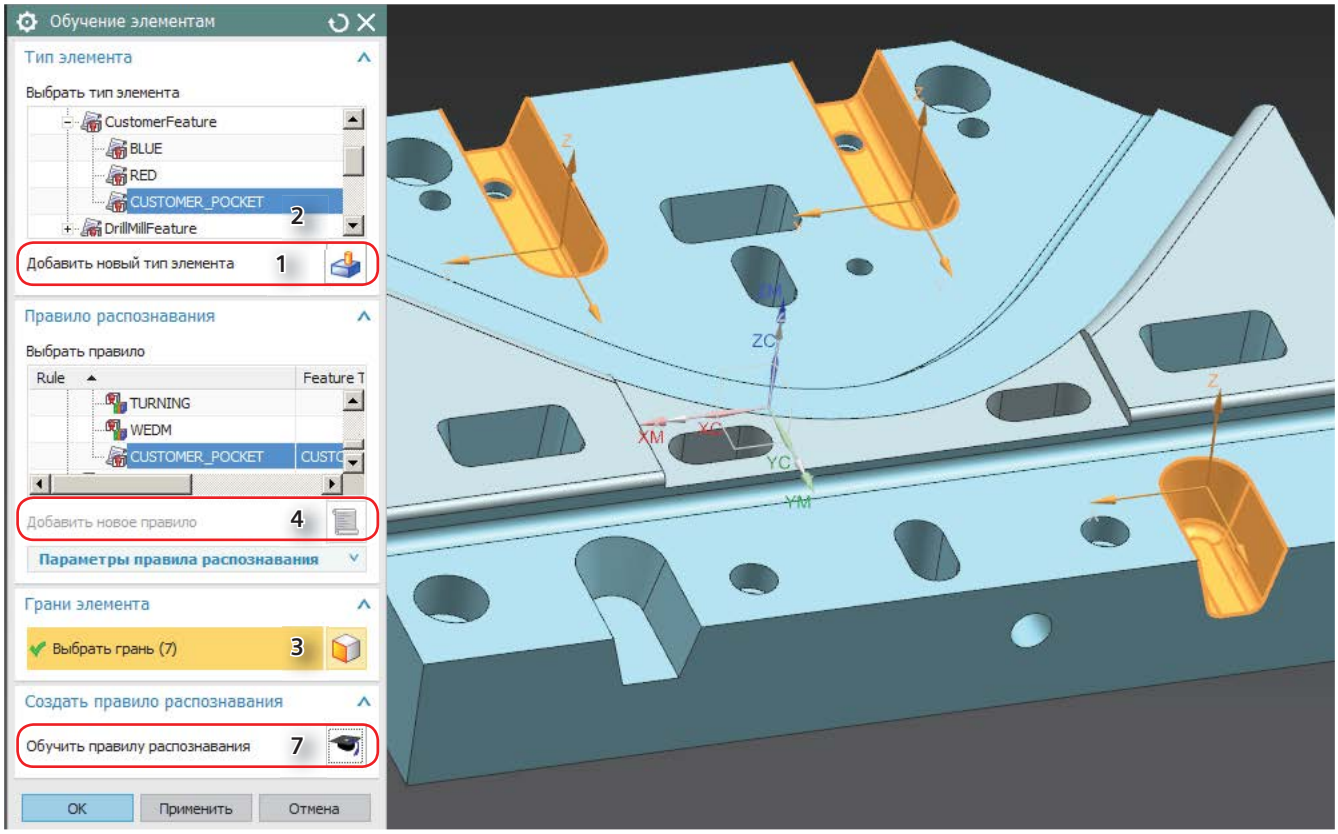


Рис. 19.28. Диалоговое окно команды Обучение элементам и элементы, распознанные описанным правилом

- Далее в группе параметров **Правило распознавания** выберите **Recognition – ParametricFeatures** и выполните команду **Добавить новое правило** (4), будет предложено имя, совпадающее с именем элемента.

Параметры правила распознавания мы здесь не используем, но разберем их теоретически (рис. 19.29). С элементом можно связать Аннотации ТУ (5), имена, атрибуты и цвета граней (6). При использовании этих параметров мы ужесточаем правила, то есть геометрически одинаковые карманы, но с разной шероховатостью или цветом, будут считаться разными элементами. Здесь все логично, поскольку такие атрибуты оказывают влияние на технологию. Пример технических условий, которые можно связать с элементом, показан на рис. 19.30. Здесь можно видеть имена параметров, условия сравнения, размеры, допуски и шероховатость поверхности.

- Далее выполните команду **Обучить правилу распознавания** (7), в графической области подсветятся 3 кармана, как признак, что по заданному правилу они распознаются. Карман без радиуса не соответствует правилу и не распознается.

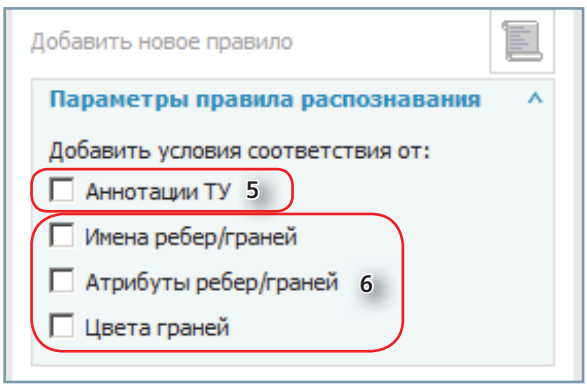


Рис. 19.29. Дополнительные параметры правила распознавания

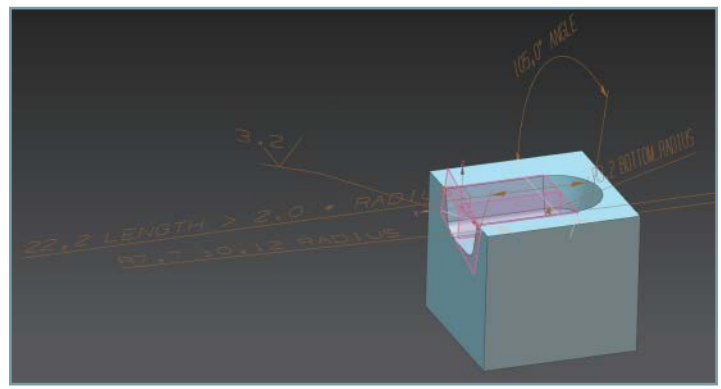


Рис. 19.30. Пример технических условий, которые можно связать с элементом

- Нажмите **ОК** (только в этот момент правила записываются в базу правил, то есть на этом этапе можно еще отказаться от нового правила).

В навигаторе элементов обработки этих элементов еще нет, так как мы прошли только стадию обучения.

- Выполните распознавание элементов. При распознавании укажите лишь элементы типа CUSTOMER_POCKET (рис. 19.31), описание которого мы только что создали. Три элемента появятся в навигаторе элементов обработки.
- В навигаторе операций выберите две операции и из контекстного меню выполните команду **Объект – Обучение операциям**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 19.32). Выберите библиотеку (1), укажите элемент обработки (2). Распознанные элементы обработки будут доступны для выбора.
- Выполните команду **Обучить правилам обработки** (3) и нажмите **ОК**. Набор правил как типовая технология будет записан в базу правил.
- Теперь выберите все три элемента в навигаторе элементов обработки и из контекстного меню выполните команду **Создание процесса обработки** (Create Feature Process).
- Переключитесь в навигатор операций. Здесь создана геометрическая группа CUSTOMER_POCKET, содержащая три элемента, в ней создана группа MILL_AREA и две операции в соответствии с описанной технологией (рис. 19.33).

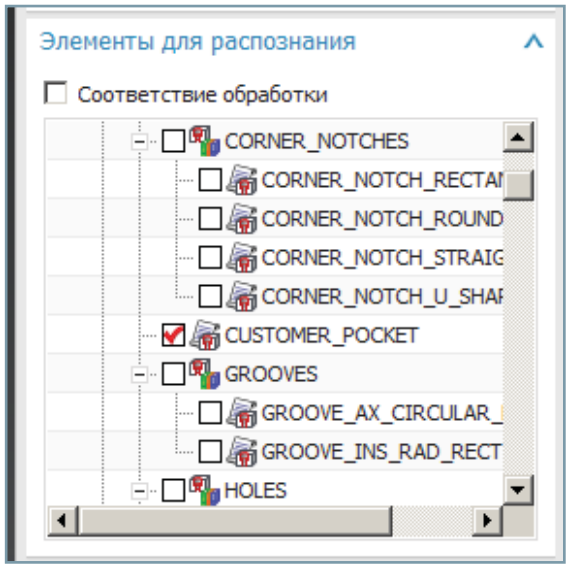


Рис. 19.31. Распознавание элементов только вновь описанного типа – CUSTOMER_POCKET

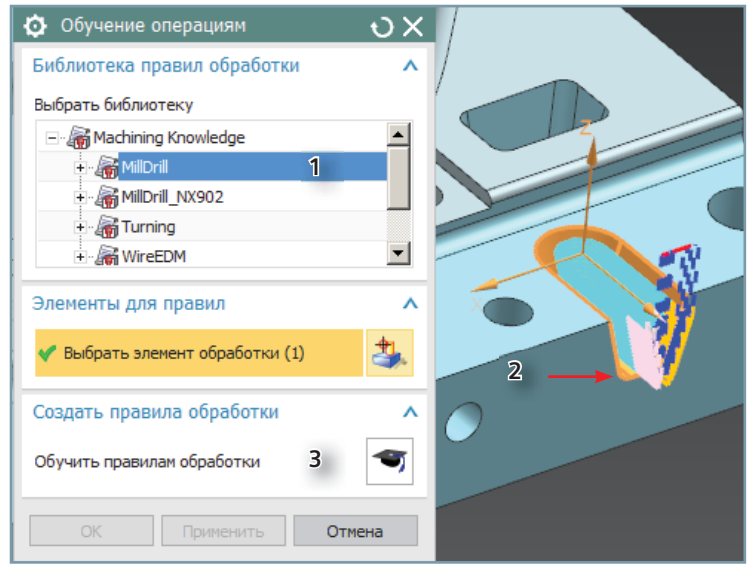


Рис. 19.32. Диалоговое окно команды Обучение операциям

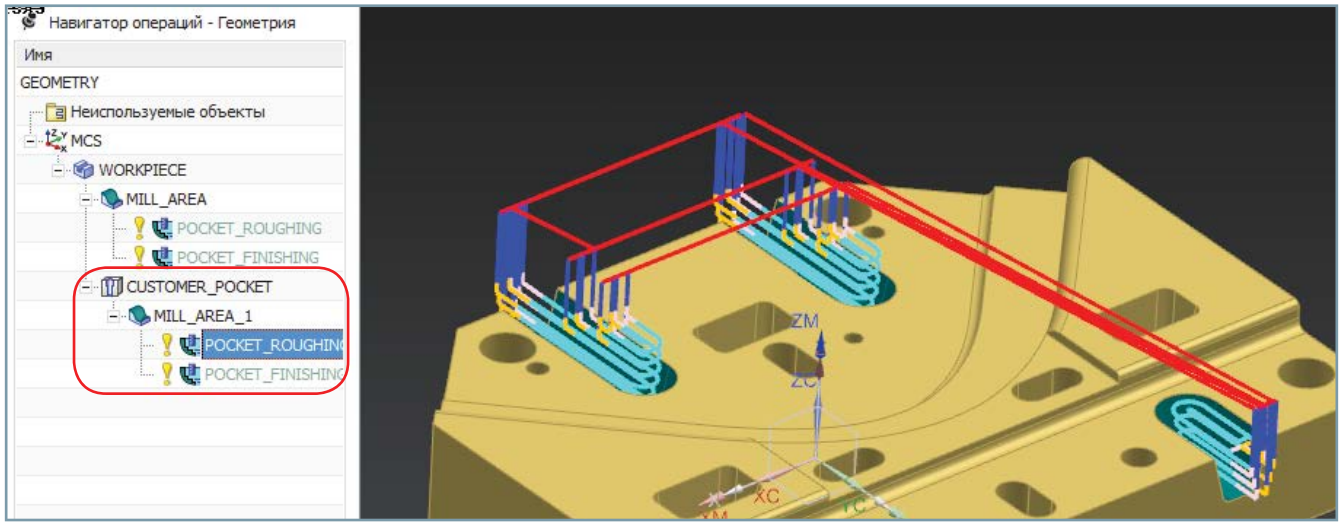


Рис. 19.33. К новым элементам применена вновь описанная технология

Глава 20

Токарная обработка

Содержание главы

- Инициализация для токарной обработки
- Задание систем координат и геометрии
- Создание операций
  - Торцевание
  - Черновое наружное точение
    - Припуски
    - Вспомогательные перемещения
    - Скорости и подачи
- Создание инструмента
- Создание операций (продолжение)
  - Чистовое наружное точение
  - Осевое сверление
  - Черновая и чистовая внутренняя расточка
  - Обработка канавок
  - Нарезание резьбы

Токарная обработка

Токарная обработка традиционно считается более простой, чем фрезерная, и часто программируется непосредственно на станке. Это справедливо для относительно простых деталей. Однако усложнение деталей, а также появление нового класса станков – токарно-фрезерных многофункциональных обрабатывающих центров – ведет к высокой концентрации операций, меняющей традиционную технологию обработки. Эффективная эксплуатация таких станков требует и эффективного их программирования, что невозможно без использования CAM-системы. Актуальным становится контроль столкновений инструмента, детали, узлов станка, отслеживание текущего состояния заготовки (ЗвПО) между операциями, ассоциативная передача ЗвПО между токарными и фрезерными операциями, операции управления узлами станка, не содержащими траектории перемещения инструмента (перехват детали в контршпиндель, управление люнетом и др.) и т. п.
В этой главе рассматривается токарная обработка.

Инициализация для токарной обработки

В главе 1 было сказано, что ряд объектов обработки создается автоматически при инициализации. Здесь рассмотрим особенности инициализации для токарной обработки.

- Откройте файл NX 9_Turn_Part.prt.
- Выполните **Файл** – **Новый**.
- Выберите вкладку **Обработка**, **Шаблон** – **Токарная** (Express) и нажмите **ОК**.

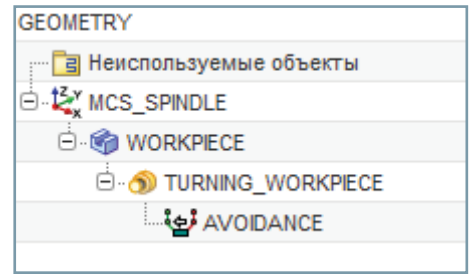


Рис. 20.1. Иерархия геометрических объектов при инициализации токарной обработки

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.
Также будет создано несколько объектов обработки, некоторые из которых специфичны для токарной обработки. Навигатор операций показывает вновь созданные объекты (рис. 20.1). Система координат станка здесь называется MSC_SPINDLE и содержит некоторые специфические настройки. Геометрическая группа WORKPIECE, как и для фрезерования, задает геометрию детали, заготовки.
Токарная обработка программируется как 2-осевая обработка, при этом используются два плоских контура, определяющих деталь и заготовку. Геометрическая группа TURNING_WORKPIECE автоматически вычисляет токарные сечения детали и заготовки, заданные в группе WORKPIECE. Группа AVOIDANCE (Маневрирование) не является обязательной, но ее использование позволяет задавать общие для набора операций движения врезания , отвода, перехода и др.

Примечание. Токарное сечение – это не просто сечение модели, это фактически собирательное сечение, учитывающее все выступающие элементы, превращающее, например, бобышку в буртик. Это важно для токарно-фрезерной обработки и будет рассмотрено далее.

Кроме этого, создаются методы обработки по умолчанию, магазин инструментов на 8 позиций, что характерно для револьверных головок, и некоторые другие объекты.

- Переключите навигатор операций последовательно на разные виды и посмотрите, какие объекты созданы.
- Убедитесь, что создано два резца для наружного точения с разной геометрией режущей пластины.

Задание систем координат и геометрии

Привяжем систему координат станка к правому торцу детали.

- Дважды щелкните по объекту MSC_SPINDLE для открытия диалогового окна задания СКС (рис. 20.2).

Обычно плоскостью токарной обработки является плоскость ZX (как вы помните, к обозначению осей СКС добавляется символ M – machine), причем ZM совпадает с осью вращения детали, а XM направлена вверх. Для большинства станков это верно, но все же обратите внимание на эту установку (1). В то же время для ввода координат используется РСК,

причем ее плоскость XY должна совпадать с плоскостью ZX СКС. Правильное соотверствие осей РСК и СКС показано в графической области и в диалоговом окне (2).

- Позиционируйте СКС, используя функцию (3) диалогового окна и динамические маркеры, как показано.
- Отобразите РСК и позиционируйте ее, как показано на рис. 20.3 (для позиционирования РСК используется общий функционал моделирования).
- Добавьте в сборку новый компонент NX 9_Turn_Blank.prt с позиционированием по абсолютной СК.
- Он будет использоваться для задания заготовки.
- Задайте деталь и заготовку в геометрической группе WORKPIECE.
- После этого выключите отображение компонентов в навигаторе сборки и выберите геометрическую группу TURNING_WORKPIECE.

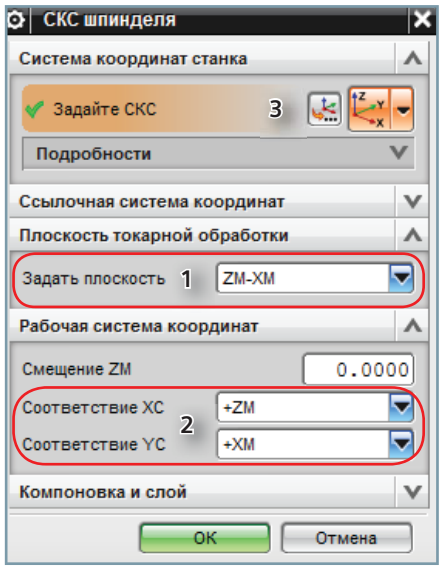


Рис. 20.2. Диалоговое окно задания СКС для токарной обработки

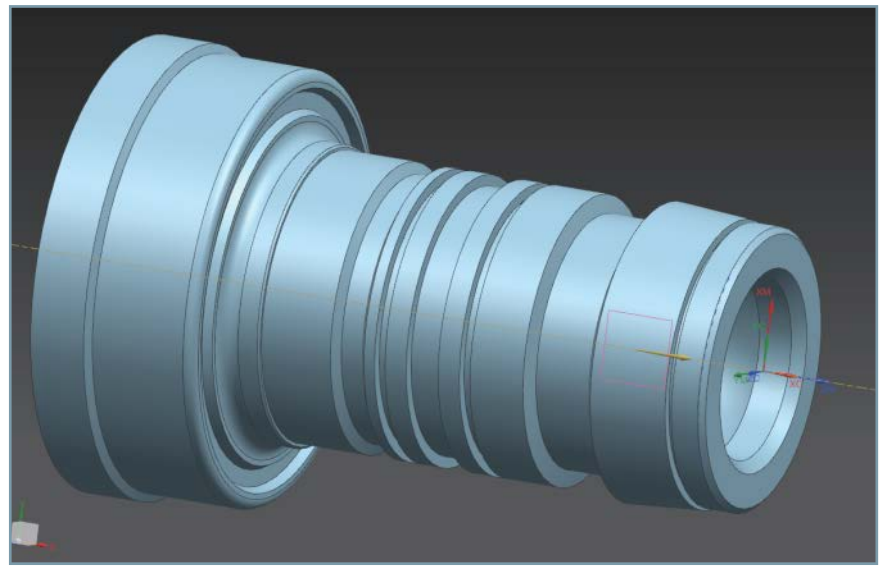


Рис. 20.3. Расположение СКС и РСК относительно детали

В результате будут отображены сечения детали и заготовки, рассчитанные автоматически (рис. 20.4). Для наглядности сечения показаны в каркасном виде. Для задания сечений используются границы, сторона материала определена автоматически и показана маркерами. Для программирования применяются только сечения, показанные в положительном направлении оси XM, симметричные относительно оси вращения детали сечения показаны для наглядности.

Примечание. Возможно явное указание сечений детали и заготовки в группе TURNING_WORKPIECE (без использования твердых тел) для программирования только токарной обработки.

Токарную заготовку можно было задать явно прутком трубой, а также телом вращения на основе выбранной кривой. Это делается прямо в группе TURNING_WORKPIECE (рис. 20.5). В этом случае заготовку в группе WORKPIECE задавать не нужно. Параметр **Контур вращения** (1) необходимо установить **Нет**, задать заготовку командой (2), и в новом диалоговом окне станут доступны явные способы задания токарной заготовки (3). Четвертый способ служит для передачи заготовки между установами и будет рассмотрен позже.
Создадим еще один геометрический объект, который также не является обязательным, но полезен в токарной обработке. Это объект CONTAINMENT (Ограничения).

- Выполните команду создания геометрии, в появившемся диалоговом окне (рис. 20.6) выберите объект CONTAINMENT, расположение – как показано, и дважды нажмите **ОК**.

Объект будет создан, в навигаторе операций он будет вложен внутрь AVOIDANCE (рис. 20.7).
Здесь можно задавать общие ограничения для нескольких операций. Мы создадим начальную точку и точку возврата в группе AVOIDANCE и осевое ограничение для защиты от столкновения с патроном в группе CONTAINMENT.

- Дважды щелкните по группе AVOIDANCE, появится диалоговое окно (рис. 20.8).

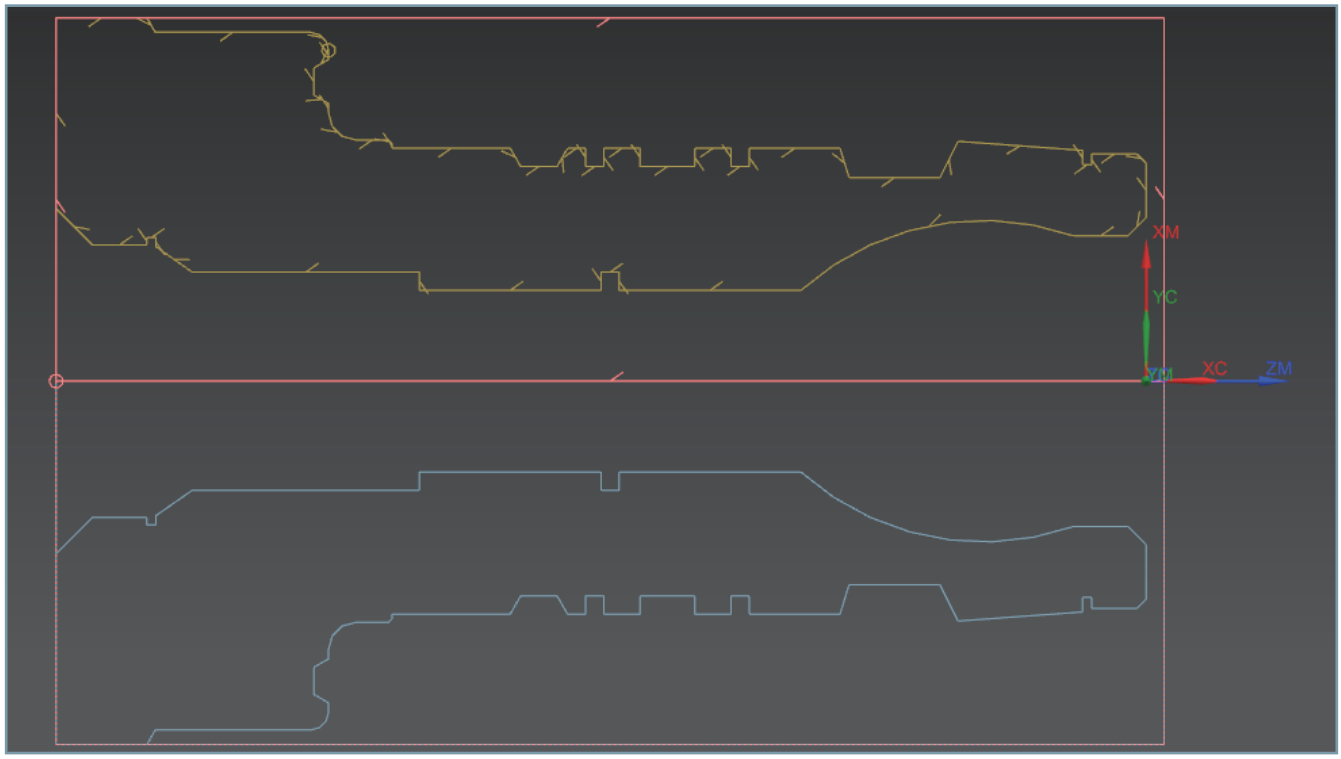
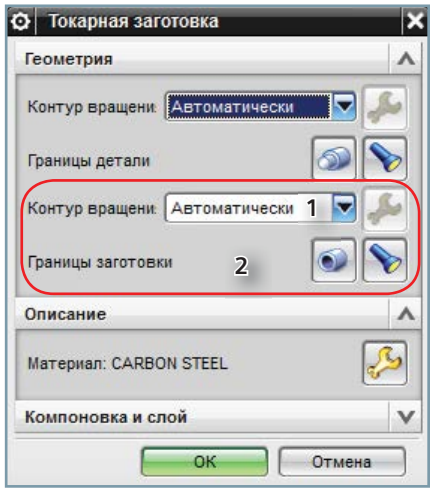


Рис. 20.4. Сечения детали и заготовки, рассчитанные автоматически



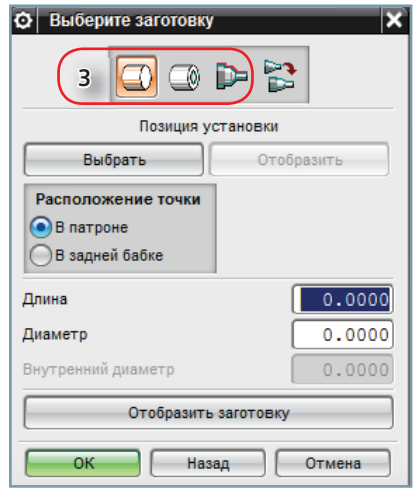


Рис. 20.5. Токарную заготовку можно задать явно прутком, трубой, телом вращения

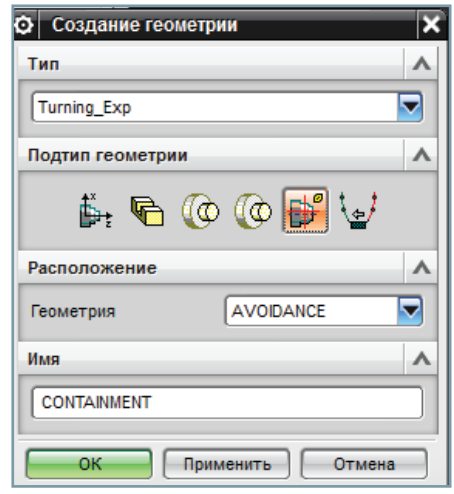


Рис. 20.6. Дополнительный геометрический объект для задания общих ограничений

- Задайте Начальную точку (ST) и Точку возврата (RT), как показано, и нажмите **OK**.
- Результат мы обсудим при создании операции обработки.

Помимо самой точки, задается и тип движения в эту точку, для начальной точки задали **По прямой**, для конечной – **Радиальное-осевое**. В операциях эти установки могут быть изменены.

- Дважды щелкните по группе CONTAINMENT, появится диалоговое окно (рис. 20.9).
- Задайте Осевую плоскость обрезки 1, как показано, и нажмите **OK**.

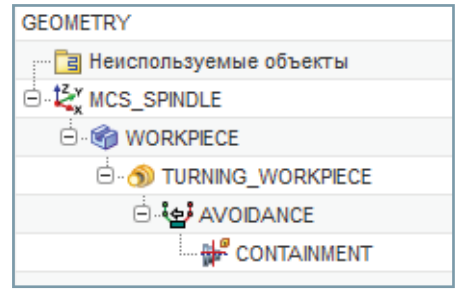


Рис. 20.7. Объект CONTAINMENT вложен внутрь AVOIDANCE

Инструмент в операциях, использующих эту установку, не может перемещаться левее указанной линии. В операциях эта установка также может быть изменена.
В нашем проекте уже есть два резца, созданных при инициализации. Создавать новый инструмент пока не требуется, их будем использовать в первых операциях.

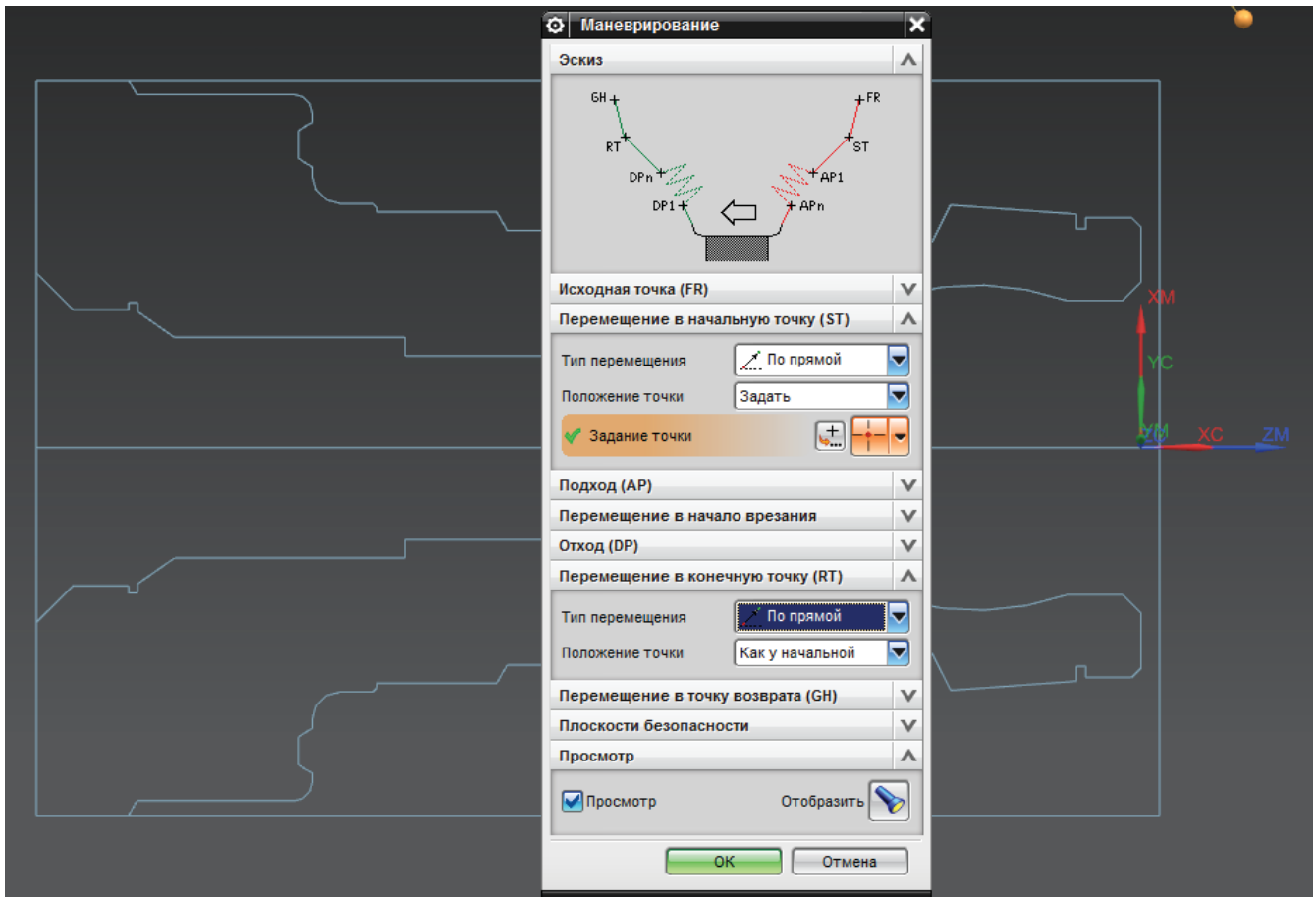


Рис. 20.8. Задание начальной точки и точки возврата как общая установка для группы операций

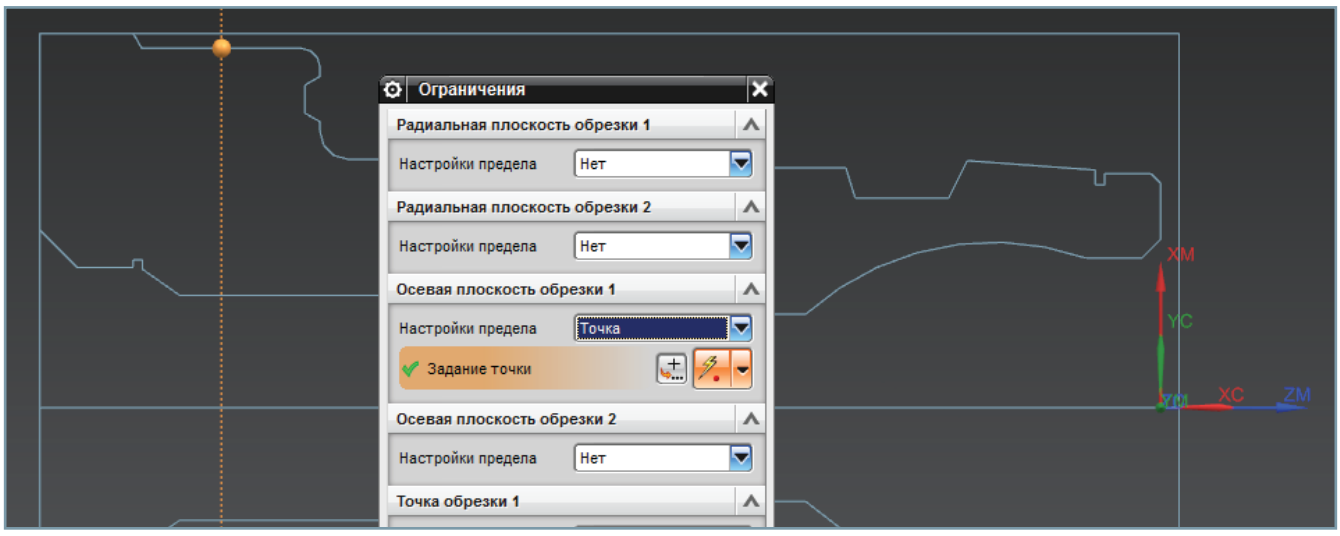


Рис. 20.9. Задание ограничения как общая установка для группы операций

Создание операций

Усилия, потраченные на создание геометрических объектов ранее, будут экономить время при создании операций и в дальнейшем при их редактировании.
С шаблоном Turning_Exp доступны следующие операции (рис. 20.10):

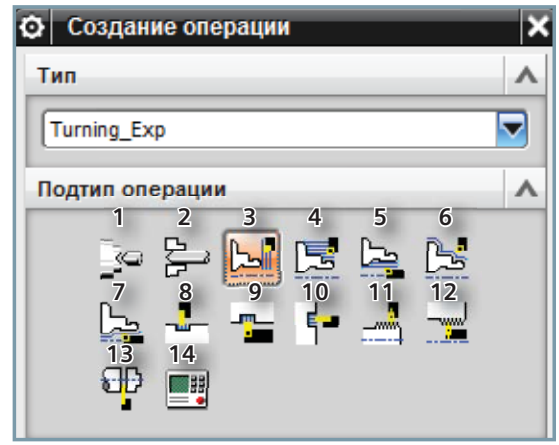


Рис. 20.10. Команды токарных операций

1) Осевая центровка;
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 торцевых канавок;
11) Нарезание наружной резьбы;
12) Нарезание внутренней резьбы;
13) Отрезка;
14) Управление станком (операция, не связанная с траекторией).

Торцевание – подрезка торца

- Создайте операцию Торцевание (FACING), используя инструмент OD_80_L, геометрию – CONTAINMENT, метод – LATHE_FINISH, программную группу 1234.

Появится диалоговое окно (рис. 20.11), параметры настройки траектории развернуты в правой части рисунка. Родительская геометрия (1) отражена в верхней части окна. Стратегия по умолчанию (2) – зиг по прямой, угол 270 (3) отсчитывается от оси ZM против часовой стрелки, то есть это радиальные проходы к оси детали, шаг (4) оставим по умолчанию. Параметр **Обновить ЗвПО** (5) позволяет учитывать состояние заготовки после предыдущих операций. Здесь нам необходимо только ввести новое осевое ограничение.

- Выполните команду **Подобласти обработки** (6), появится диалоговое окно, аналогичное объекту CONTAINMENT, задайте новое осевое ограничение как на рис. 20.12.
- Нажмите **ОК**, **Генерировать** и снова **ОК**.

Результат операции показан на рис. 20.13. При этом система закрашивает оставшийся материал желтым цветом, а снимаемый материал – зеленым цветом.
Создадим еще одну операцию, далее выполним верификацию операций.

Черновое наружное точение

- Создайте операцию Черновая наружная обработка (ROUGH_TURN_OD), используя инструмент OD_55_L, геометрию – CONTAINMENT, метод – LATHE_ROUGH, программную группу 1234.

Появится диалоговое окно (рис. 20.14), параметры настройки траектории развернуты в правой части рисунка. Стратегия по умолчанию – зиг по прямой, угол 180, то есть это осевые проходы справа налево.

- Выполните команду **Отобразить Подобласти обработки** (1).

Расчетная область обработки отображается в графической области (рис. 20.15). Область обработки рассчитывается с учетом начальной точки и геометрии инструмента. Поэтому на экране показаны две области, обозначенные 2 и 3. Для исключения области 3 введем радиальное ограничение.

- Выполните команду **Подобласти обработки** (4, рис. 20.14) и задайте радиальное ограничение как на рис. 20.16.
- Область, отмеченная цифрой 3, подавлена.

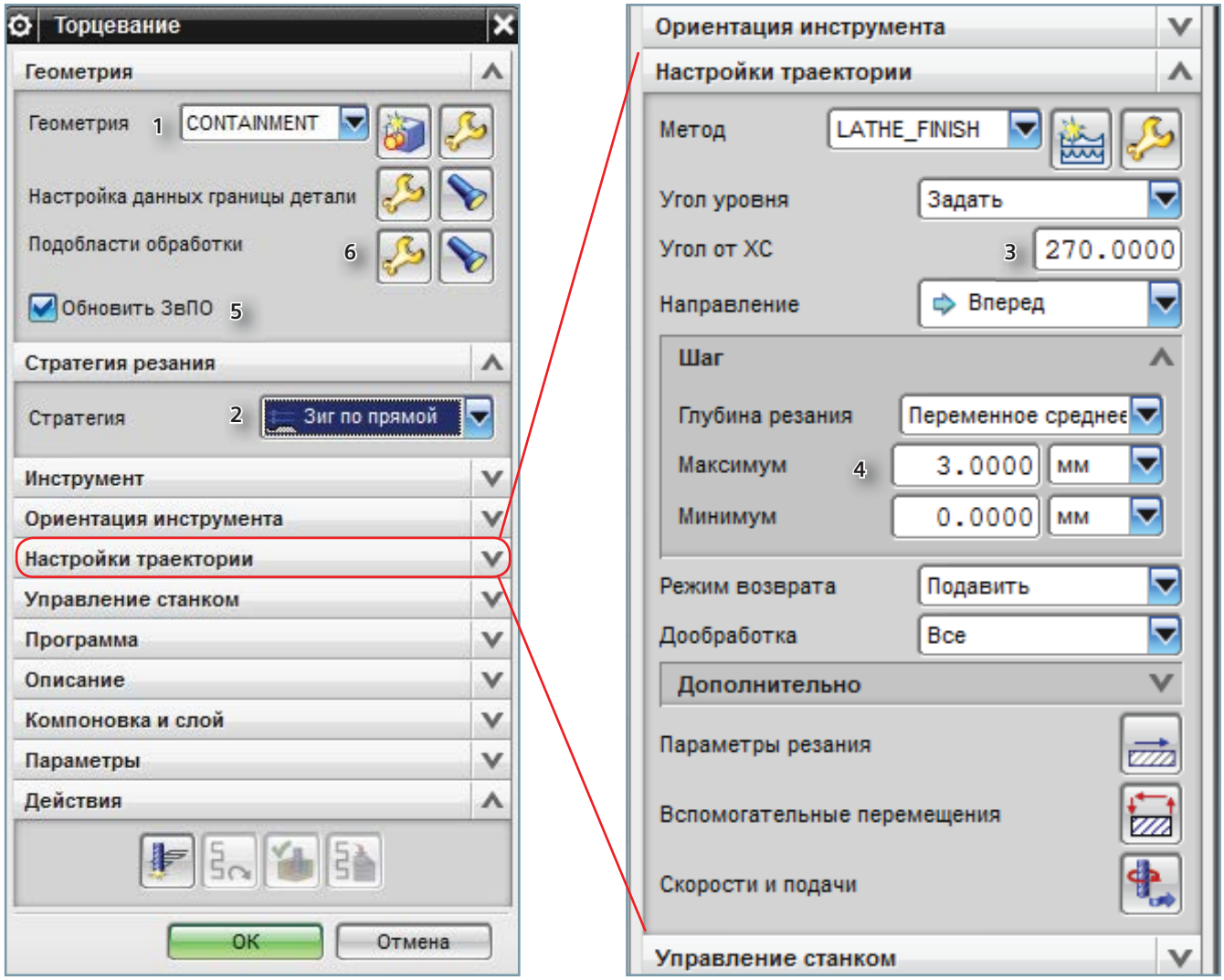


Рис. 20.11. Диалоговое окно команды торцевания

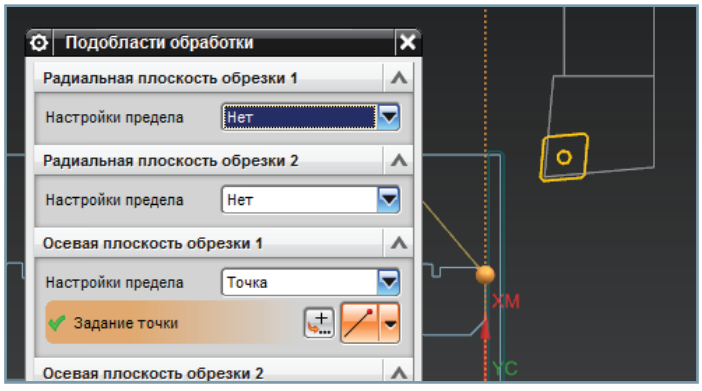


Рис. 20.12. Задание области обработки как нового осевого ограничения

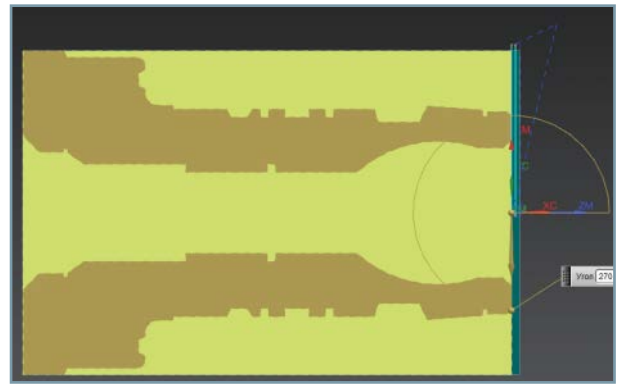


Рис. 20.13. Результат операции торцевания нагляден на виде 2D

Также обратите внимание, что инструмент будет погружаться в проточки настолько, насколько позволяет геометрия инструмента. Один из таких случаев показан большой красной стрелкой на рис. 20.15 (для наглядности рядом показана геометрия инструмента). Если это нежелательно, то можно изменить параметр **Режим возврата**.

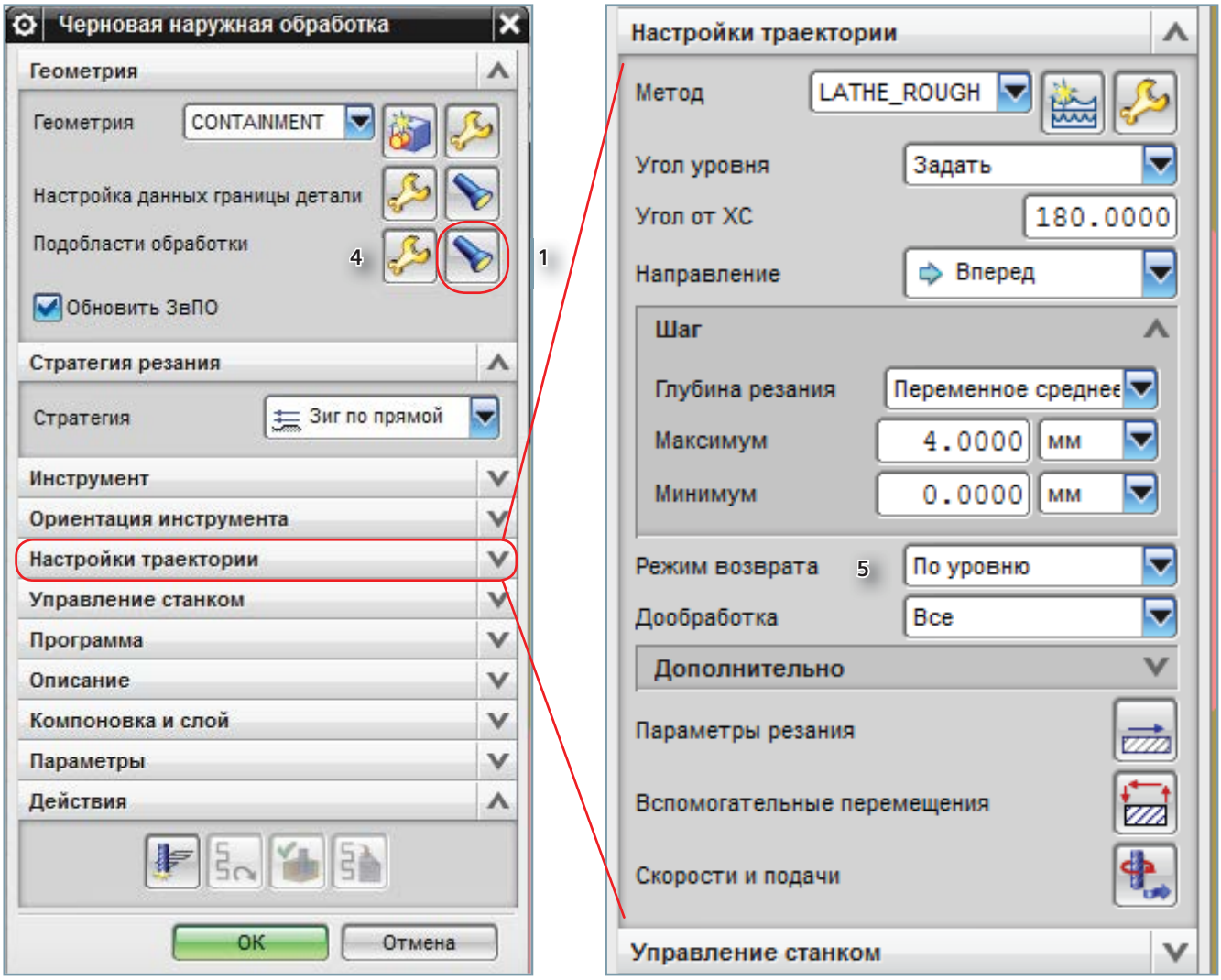


Рис. 20.14. Диалоговое окно операции Черновая наружная обработка

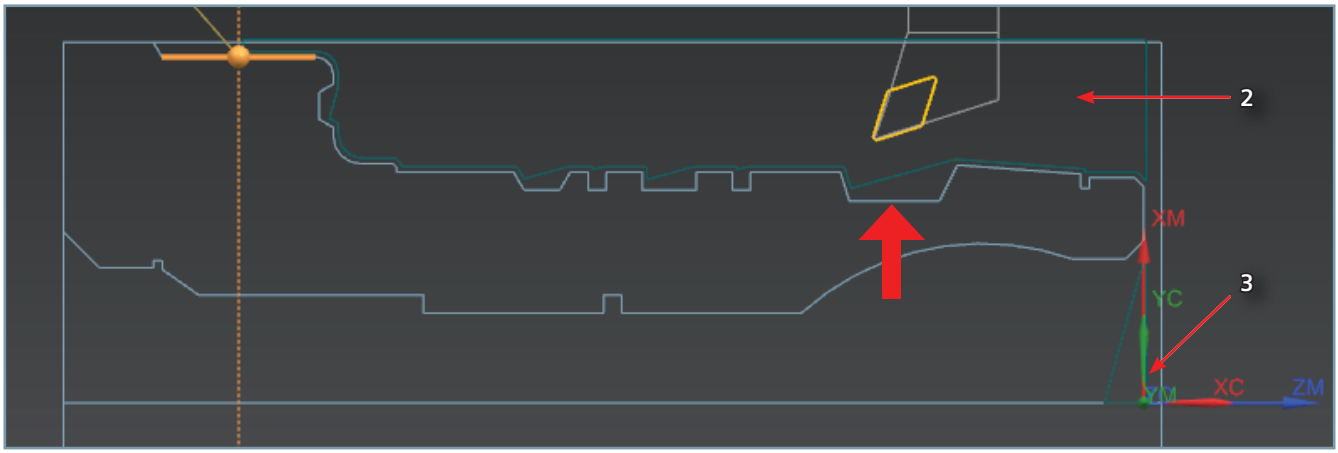


Рис. 20.15. Расчетная область обработки отображается в графической области

- Установите **Режим возврата** (5, рис. 20.14) в значение **Подавить** и сгенерируйте траекторию.
- Результат показан на рис. 20.17.

Для верификации токарных траекторий удобно использовать режим 2D. Для этого в диалоговом окне визуализации на вкладке **Воспроизведение** надо активировать параметр **Удаление материала в 2D** (рис. 20.18).
Можно использовать и режим **3D Динамика** при желании. Текущее состояние заготовки в 3D после любой операции можно увидеть, выполнив команду **Показать в 3D** (1) из контекстного меню операции (рис. 20.19). Командой **Сохранить как** (2) можно сохранить это состояние как твердое тело.
На этой операции подробнее разберем стратегии обработки (рис. 20.20) и параметры операции. Для резца данного типа (проходного упорного) обычно используется стратегия **Зиг** и не используется **Зигзаг**. **Зиг по прямой** (1) мы уже рассмотрели.
Стратегия **Зиг с погружением** (2) использует переменную глубину резания, за счет чего увеличивает стойкость инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов. Длина погружения может быть ограничена специальным параметром. С параметрами как на рис. 20.21 результат для этой стратегии при максимальной длине погружения 40 мм показан на рис. 20.22. Рядом с диалоговым окном показана всплывающая графическая подсказка, поясняющая выбранные параметры.
Стратегия **Контур зиг** (3) формирует эквидистантные проходы от чистового контура (рис. 20.23). Стратегия **Погружение зиг** (4) производит обработку радиальными движениями, как при Торцевании (рис. 20.24). Этот вид обработки часто используется при прерывистом резании.
Поскольку токарные операции автоматически используют ЗвПО, оставьте в проекте только один вариант этой операции. Как и в других операциях NX CAM, для задания Параметров резания, Вспомогательных перемещений, Скоростей и подач используются отдельные диалоговые окна, вызываемые из основного окна операции.

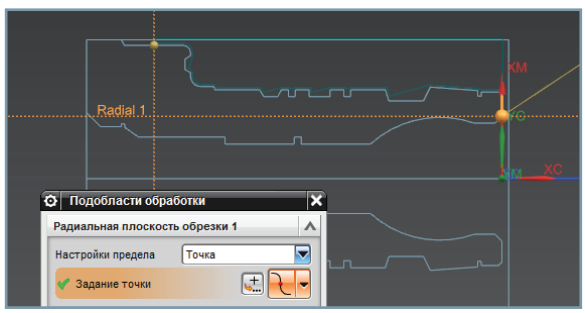


Рис. 20.16. Задание радиального ограничения для уточнения области обработки

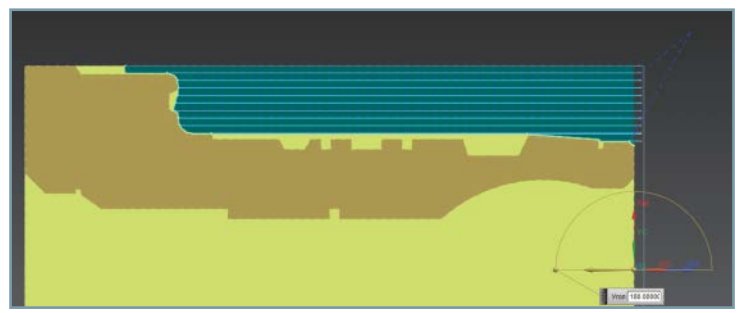
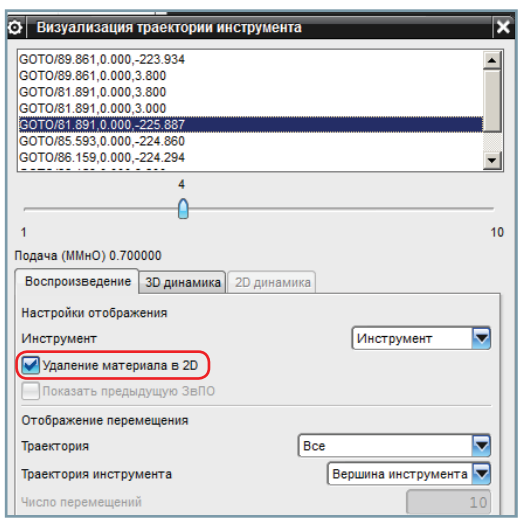


Рис. 20.17. Результат операции Черновая наружная обработка



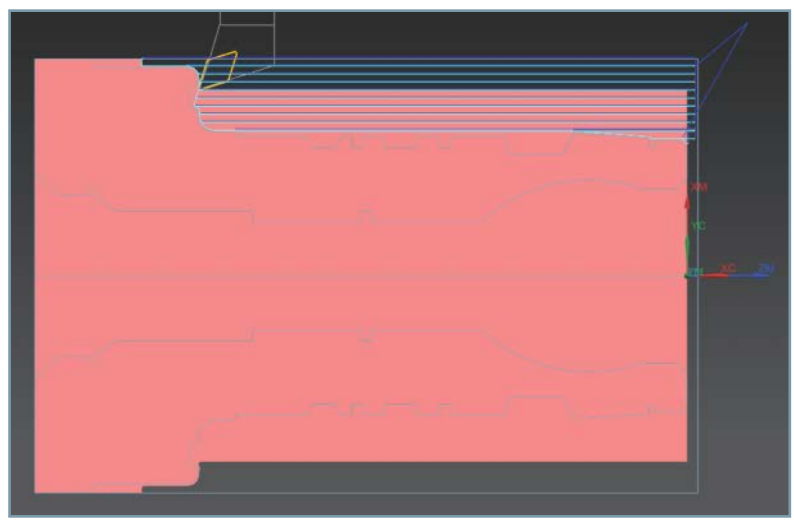
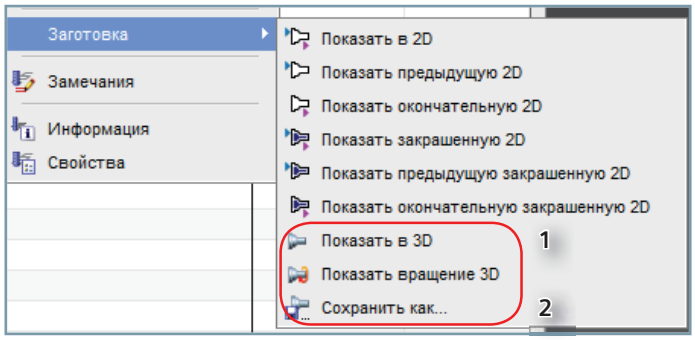


Рис. 20.18. Параметр Удаление материала в 2D часто используется при верификации токарных операций



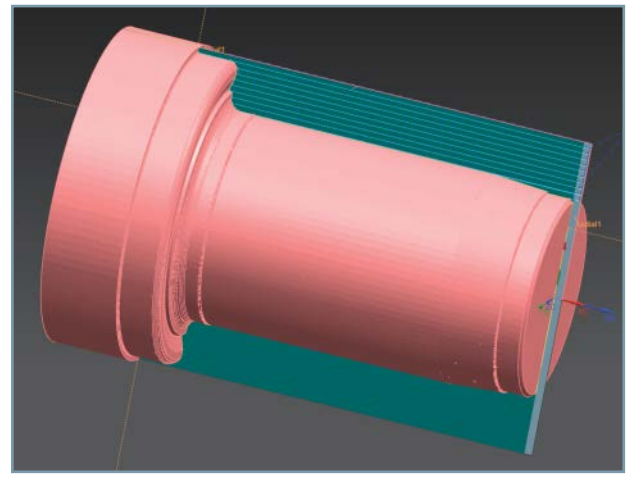


Рис. 20.19. Команды и результат показа текущего состояния токарной заготовки в 3D

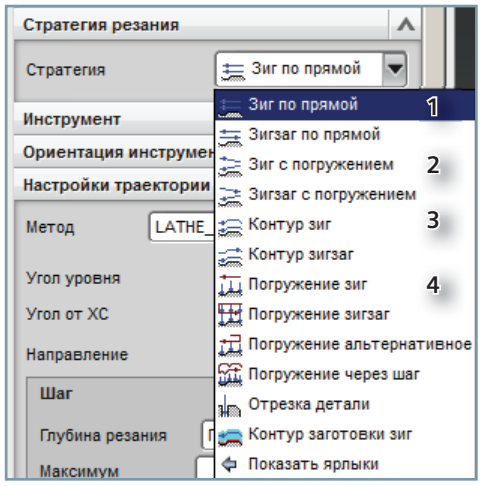


Рис. 20.20. Стратегии черновой наружной обработки

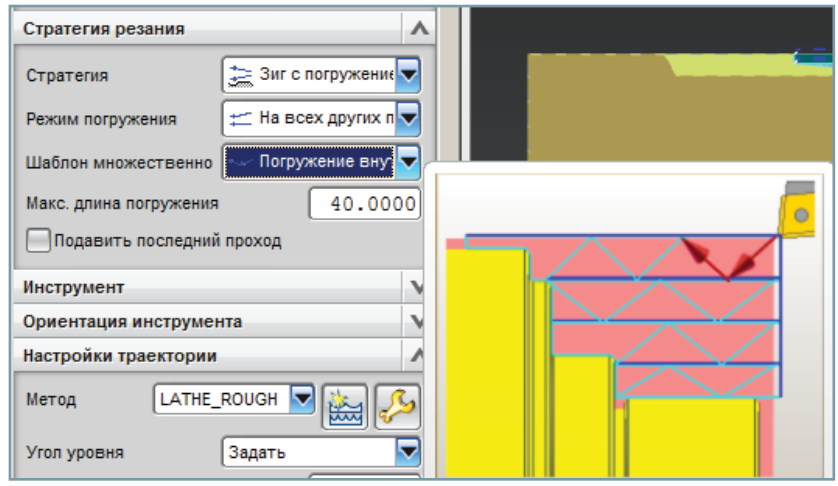


Рис. 20.21. Стратегия Зиг с погружением увеличивает стойкость инструмента

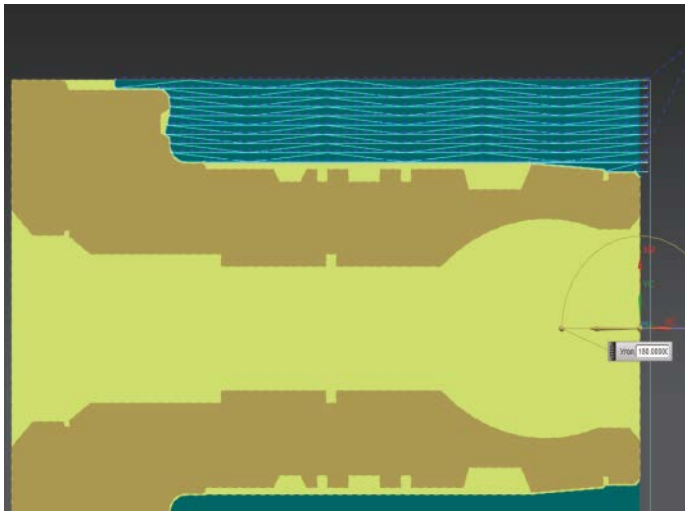


Рис. 20.22. Результат черновой операции, использующей стратегию Зиг с погружением

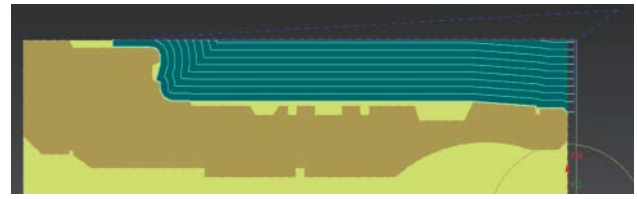


Рис. 20.23. Результат черновой операции, использующей стратегию Контур зиг

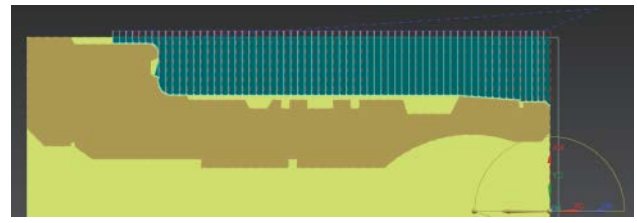


Рис. 20.24. Результат черновой операции, использующей стратегию Погружение зиг

Припуски

Припуски задаются в Параметрах резания, причем отдельно различаются диаметральные и торцевые поверхности, для которых можно задать дополнительные припуски (рис. 20.25).
Есть отдельные параметры, определяющие, какие поверхности считать торцевыми (1) и диаметральными (2). По умолчанию задано ±3 градуса от вертикали и горизонтали соответственно. На вкладке **Припуск** различают припуски для черновых проходов, для контурного прохода и припуск на заготовку. Для каждого из них задаются постоянный припуск (3) и припуски на торцевые (4) и диаметральные поверхности (5).
Припуски операции, заданные здесь, добавляются к припускам, заданным в параметрах границы.
Напомним, что границы состоят из сегментов, на которые можно назначать отдельные припуски. Так обычно учитываются разные поля допусков для разных элементов токарного контура. Доступ к параметрам границы обеспечивается командой **Настройка данных границы детали** в верхней части диалогового окна операции. Для примера на рис. 20.26 показан фрагмент диалогового окна задания дополнительного припуска на одну из шеек вала. Это может быть припуск на шлифование. Дополнительно может назначаться форма припуска на границах сегмента (в углах). Подробнее этот функционал не рассматривается.

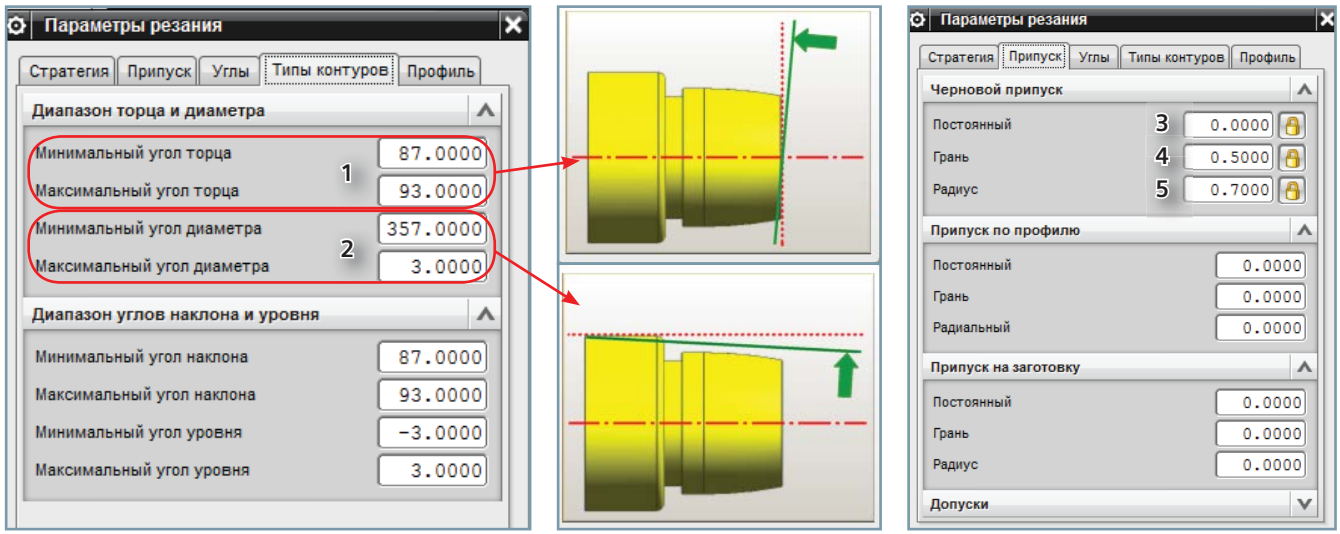


Рис. 20.25. Отдельно различаются диаметральные и торцевые поверхности для задания независимых припусков

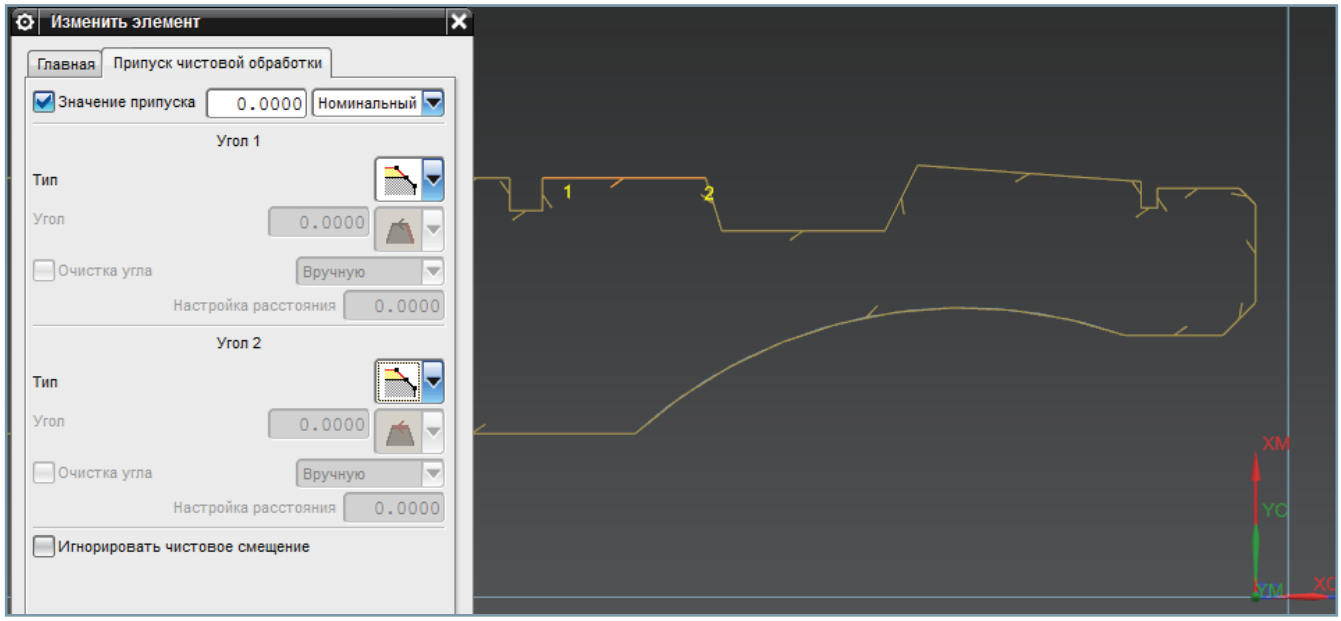


Рис. 20.26. Фрагмент диалогового окна задания дополнительного припуска на одну из шеек вала

Вспомогательные перемещения

Подход к вспомогательным перемещениям в целом аналогичен фрезерованию, однако токарная обработка накладывает некоторую специфику (рис. 20.27). **Врезания** (и **Отводы**) можно независимо задавать для разных движений резания, система различает врезание для профиля (1), в заготовку (ЗвПО, 2), в деталь (3), от плоскости безопасности (4), погружение (5) и начальное погружение (6). По умолчанию все установки заданы **По прямой-авто**, что в нашем случае дает приемлемый результат: касательные движения врезания и отвод на некоторое расстояние под углом от стенки (рис. 20.28). Разные типы врезаний хорошо описаны в документации, включая графические иллюстрации.
Вкладка **Зазоры** позволяет задать радиальную и осевую плоскости безопасности, это мы будем использовать в операциях растачивания.

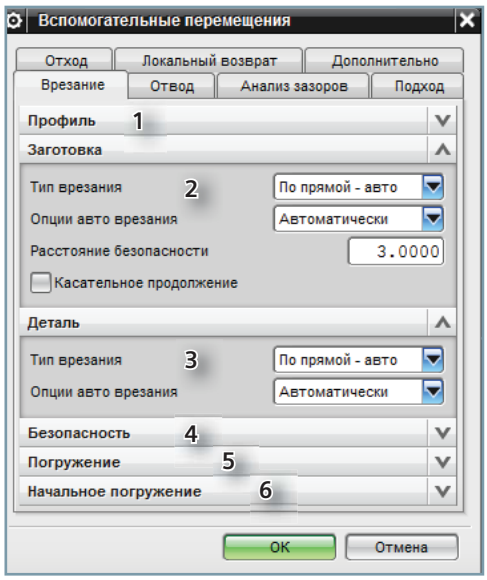


Рис. 20.27. Диалоговое окно вспомогательных перемещений

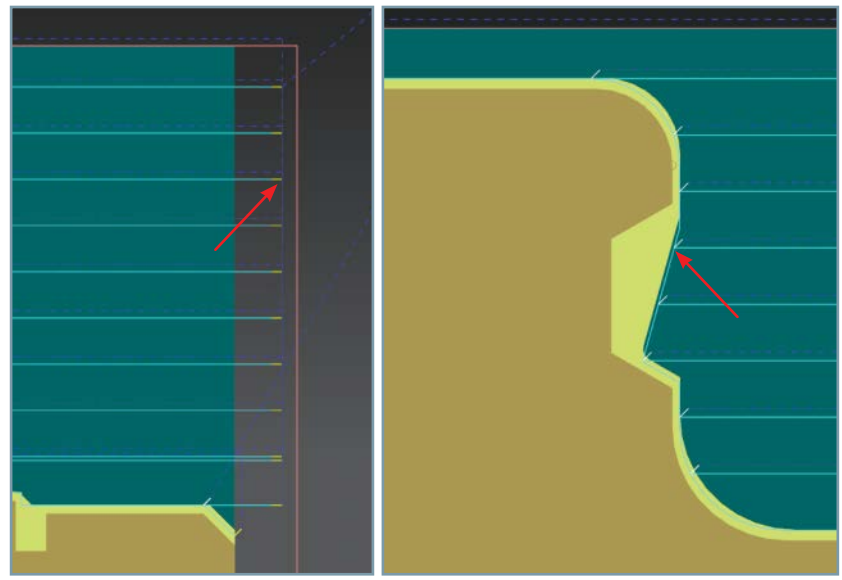


Рис. 20.28. Движения врезания и отвода, формируемые по умолчанию

Вкладки **Подход** и **Отход** задают точки маневрирования, при использовании родительской группы CONTAINMENT ее установки наследуются в эти вкладки.
Вкладка **Локальный возврат** позволяет задать промежуточный отвод инструмента от детали (например, для контроля износа), локальный возврат возможен по времени, по расстоянию, по числу проходов. Можно задать позицию отхода, тип движения и присоединить событие пользователя (останов, сообщение оператору, выполнение контрольной операции и т. п.). При работе по времени или расстоянию система автоматически вставляет локальный возврат после окончания рабочего хода, чтобы не было прерывания обработки в процессе резания.
Вкладка **Дополнительно** в числе прочего позволяет задать параметры коррекции инструмента.

Скорости и подачи

Подход к заданию скоростей и подач в целом аналогичен фрезерованию, однако токарная обработка накладывает некоторую специфику (рис. 20.29).
Помимо явного задания частоты вращения шпинделя (1), можно задавать и скорость резания (2, режим SMM – Surface Meters per Minute (сейчас MBM), SFM нам не актуально, так как задает футы, а не метры). При этом можно задать ограничение на частоту вращения – Макс. ЧВШ (3). Общее значение подачи по умолчанию измеряется в мм/об, как принято в токарной обработке. Разная подача может быть задана для разного типа движений, как при фрезеровании в группе Подачи – Дополнительно (4). Кроме того, можно независимо задавать подачи для разных движений резания, система различает подачи на черновой обработке (5), подачи дообработки (6), подачи на контуре (7), на погружении (8) и др. Отдельно можно задать параметры ускорения/замедления для черновых движений и погружений, что улучшает динамику работы станка.
Создадим еще одну операцию черновой обработки.

- Скопируйте операцию ROUGH_TURN_OD, в копии измените область обработки так, чтобы получить результат как на рис. 20.30.

Создание инструмента

Для дальнейшей обработки нам нужен новый инструмент.
При создании нового инструмента появляется диалоговое окно (рис. 20.31). Это диалоговое окно нам знакомо, отметим, что если тип установлен **Turning_Exp**, то доступны токарные инструменты разного типа, также доступны сверла для осевого сверления.

- Выполните команду создания нового инструмента.

Появится новое диалоговое окно. Окно имеет 4 вкладки, нам пока нужны только три из них: **Инструмент** – где задается форма и размеры пластины, **Держатель** – где задается тип и размеры держателя, а также имеется параметр **Использовать держатель инструмента** (для программирования обработки он не обязателен, но нужен для контроля столкновений, например), **Трассировка** – где можно выбрать точку трассировки (координаты которой выводятся в УП).

- За основу возьмите инструмент OD_55_L.
- Геометрию пластины задайте как на рис. 20.3
- 2, держатель – рис. 20.33, выберите точку трассировки P8 – рис. 20.34. Мы получили симметричный резец, годный для обработки канавки.
- Переименуйте его в OD_35_RL.

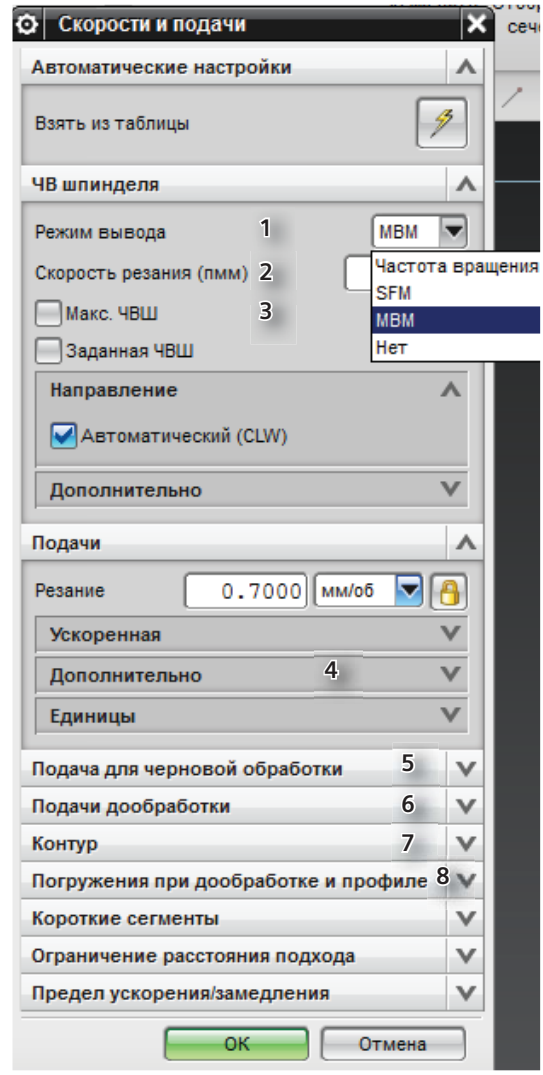


Рис. 20.29. Диалоговое окно задания скоростей резания и подач

Создание операций (продолжение)

Выполним обработку проточки той же операцией, но проходами слева направо.

- Создайте новую операцию черновой токарной обработки, используя инструмент OD_35_RL, геометрию – CONTAINMENT, метод – LATHE_FINISH (без припуска), программную группу 1234.

Для движения слева направо надо или задать **Угол от XC** равным 0, или задать **Направление** – Реверс (рис. 20.35).

- Задайте **Направление** – Реверс, ограничения как на рисунке и сгенерируйте операцию.

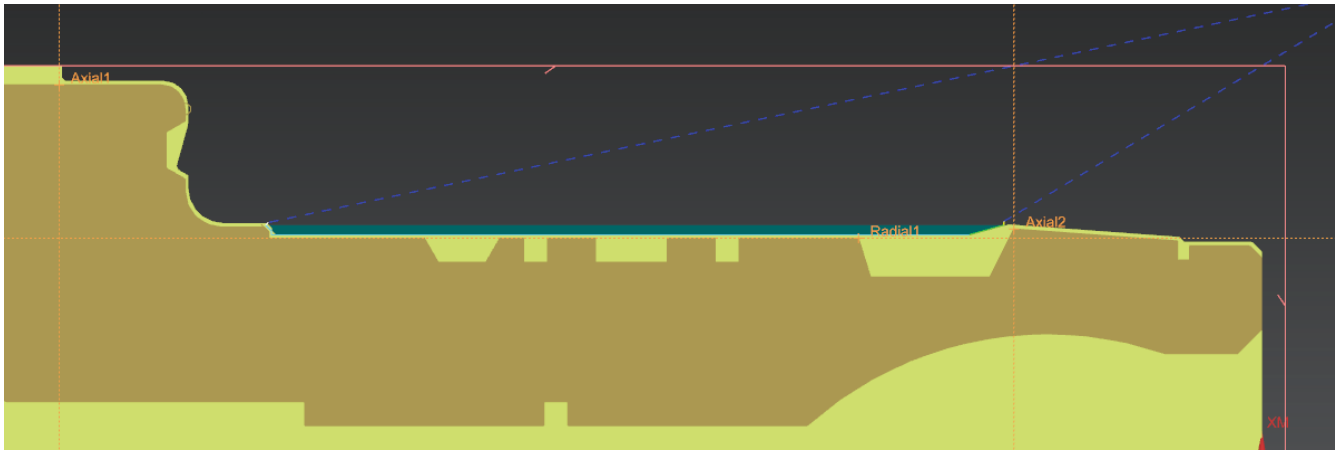


Рис. 20.30. Вторая операция черновой обработки учитывает ранее снятый материал

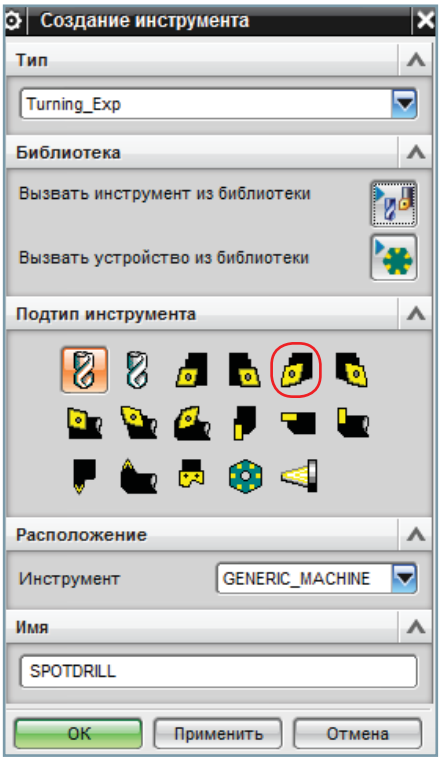


Рис. 20.31. Диалоговое окно создания токарного инструмента

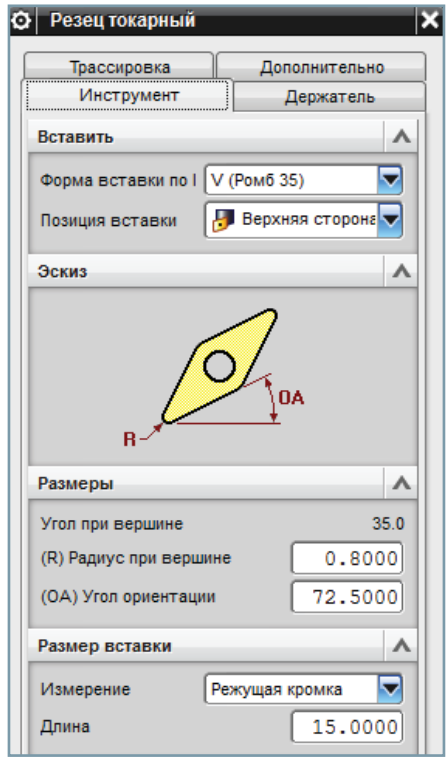


Рис. 20.32. Вкладка диалогового окна для задания геометрии режущей пластины

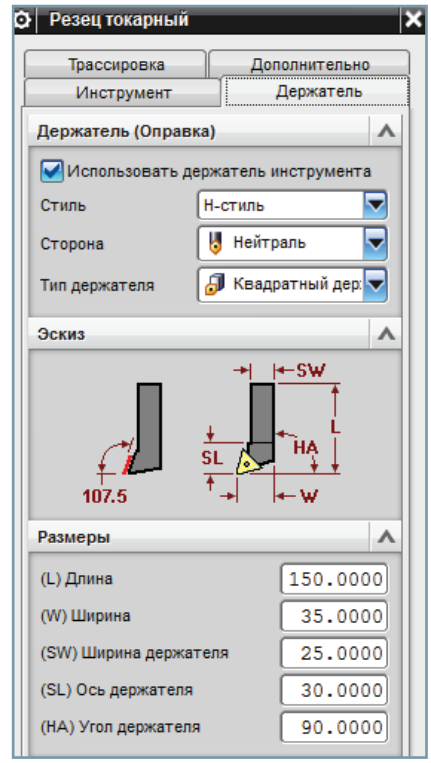


Рис. 20.33. Вкладка диалогового окна для задания геометрии держателя

- Движение в точку возврата вызывает столкновение, о чем свидетельствует белый контур на рис. 20.36.
- Измените отход как на рис. 20.37 и сгенерируйте операцию снова, будет получен корректный результат (рис. 20.38).

Обратите внимание, что траектория не повторяет форму канавки, а является следом точки трассировки, при позиционировании инструмента на траектории он формирует стенку канавки (рис. 20.39).

Чистовое наружное точение

- Создайте новую операцию чистовой токарной обработки, используя инструмент OD_55_L, геометрию – CONTAINMENT, метод – LATHE_FINISH, программную группу 1234.
- Используйте ограничения, как показано на рис. 20.40.
- Используйте стратегию **Весь контур**.
- Результат показан на рис. 20.40.

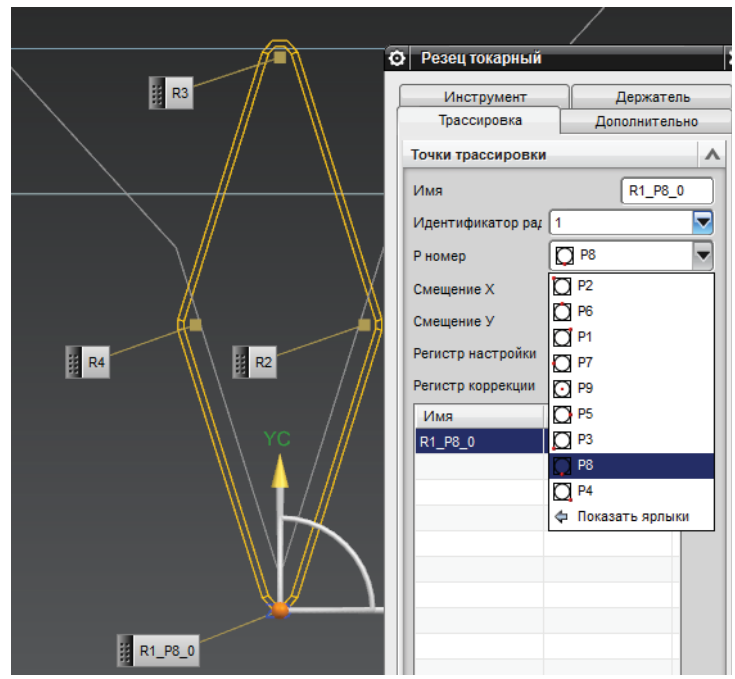


Рис. 20.34. Вкладка диалогового окна для задания точек трассировки

В этой операции есть дополнительные возможности по выбору стратегии (рис. 20.41): возможна обработка только диаметров или только торцов, можно выбрать порядок обхода диаметров и торцов, можно работать только на погружение и т. п.

В этой операции рассмотрим обработку контура с коррекцией.

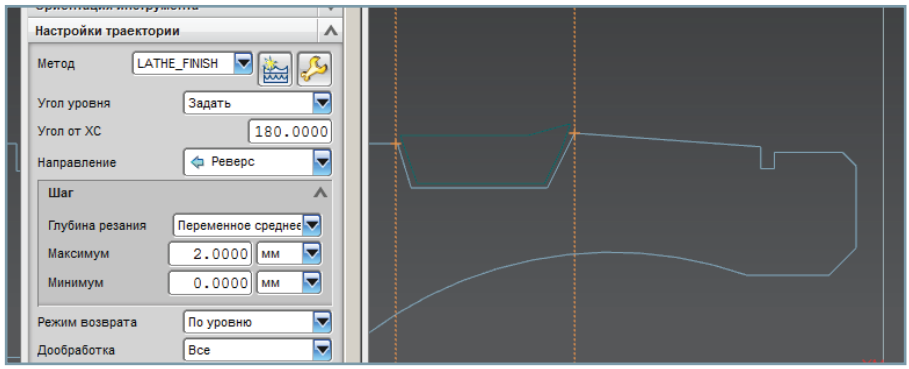


Рис. 20.35. Для движения слева направо надо сменить угол или реверсировать направление

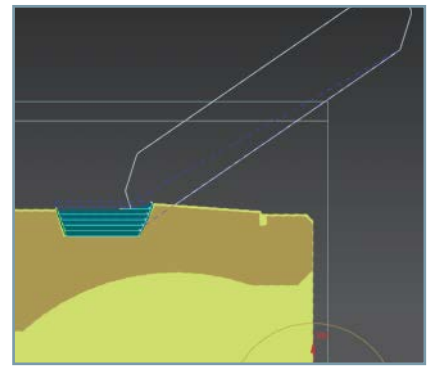


Рис. 20.36. Движение в точку возврата вызывает столкновение, о чем свидетельствует белый контур

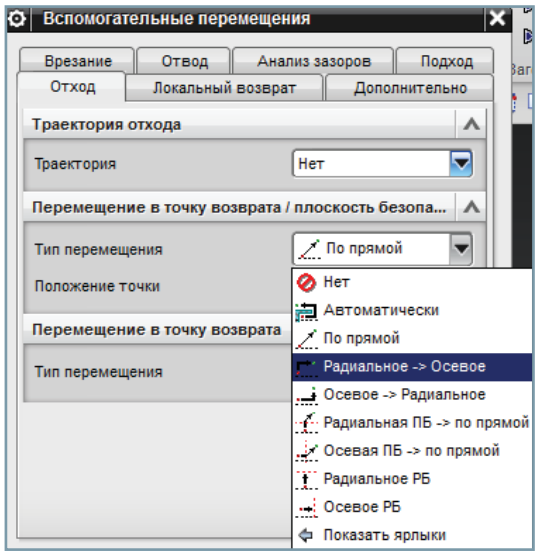


Рис. 20.37. Параметры отхода для устранения столкновения на рис. 20.36

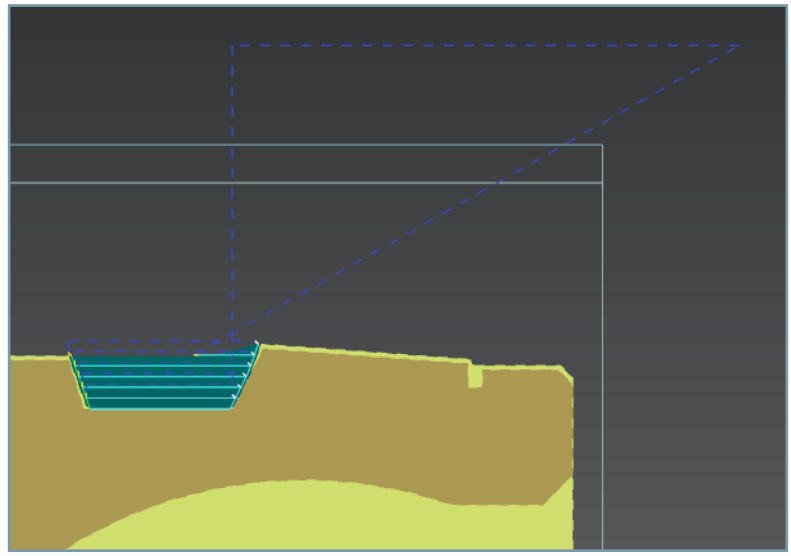


Рис. 20.38. Корректная траектория обработки проточки

- Выполните **Вспомогательные перемещения – Дополнительно**. **Расположение команды коррекции** задайте – **Конечный чистовой проход**, включите флаг **Вывод данных контакта/трассировки** (рис. 20.42).
- Сгенерируйте траекторию, результат показан на рис. 20.43.

Обратите внимание, что в этом случае траектория совпадает с обрабатываемым контуром.

Здесь уместно рассмотреть еще одну возможность токарных операций – скругление острых углов контура. Эта возможность задается в **Параметрах резания – Углы** (рис. 20.44), фрагмент траектории показывает результат, для наглядности скругленные углы показаны стрелками (рис. 20.45). Возможно создание фасок вместо скруглений. Опции **Обкатка вокруг** и **Расширить** не скругляют углы, они задают способ обхода углов.

Осевое сверление

Переходим к обработке внутренних поверхностей. Выполним центровку.

- Создайте инструмент Центровочное сверло диаметром 12 мм и длиной 60 мм.
- Создайте операцию **Осевая Центровка**.

Диалоговое окно операции показано на рис. 20.46, группы параметров **Начальная точка и глубина** и **Настройка траектории** развернуты на рисунке справа. Расстояние безопасности (1) – это позиция начала сверления, глубина резания задана расстоянием и равна 3 мм (2). Параметр **Тип цикла** – **Параметр вывода** (3) установлен в значение **Симуляция**, что обеспечивает использование линейных перемещений вместо станочного цикла. Геометрическая группа

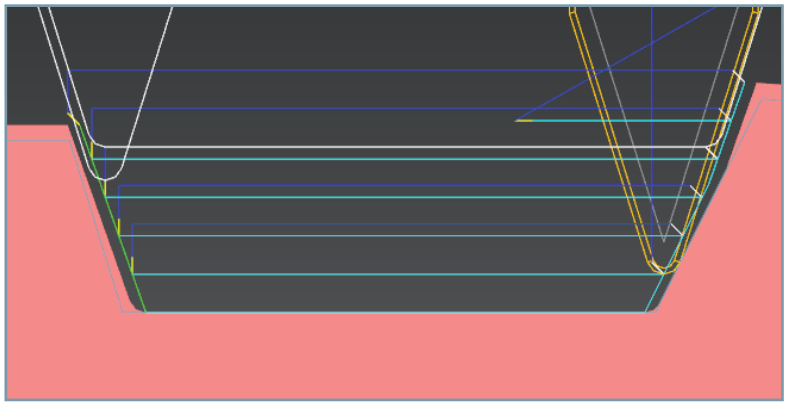


Рис. 20.39. Траектория – это след точки трассировки

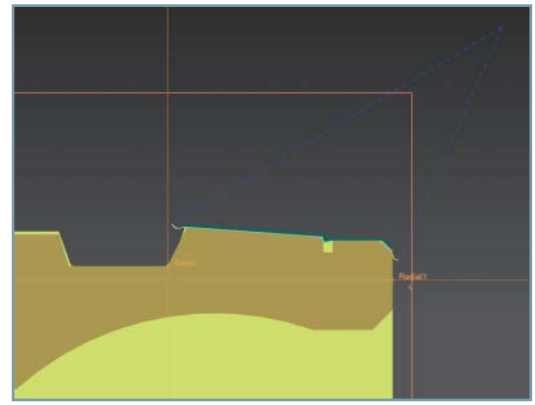


Рис. 20.40. Траектория чистового наружного точения участка контура

CONTAINMENT (4) обеспечивает использование начальной точки и точки возврата, заданных ранее.

- Сгенерируйте операцию.
- Результат в режиме симуляции съема материала показан на рис. 20.47.
- Создайте инструмент Сверло диаметром 32 мм и длиной 150 мм.
- Создайте операцию **Осевое Сверление**.
- Диалоговое окно этой операции выглядит так же, как при центровании.
- Задайте глубину сверления 110 мм и генерируйте операцию. Результат показан на рис. 20.48.

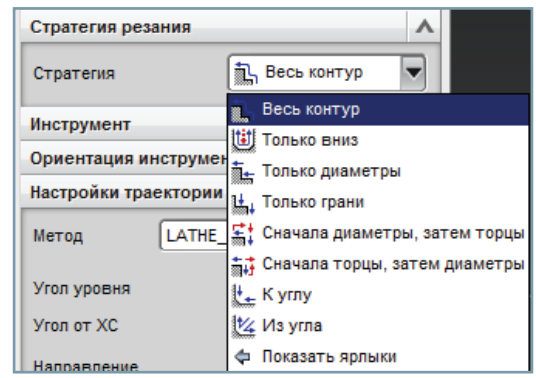


Рис. 20.41. Дополнительные возможности при выборе чистовых стратегий

Черновая и чистовая внутренняя расточка

Для расточных операций необходимо создать расточной инструмент.

- Создайте инструмент ID_55_L. Геометрию пластины задайте как на рис. 20.49, держатель – рис. 20.50.

Для расточного резца имеются дополнительные параметры, используемые для контроля, – минимальный диаметр отверстия для растачивания и зона досягаемости (рис. 20.51). Они определяются геометрией инструмента, их можно считать табличными значениями. При нарушении этих параметров, если они активированы, система выдаст сответствующее сообщение.
Для расточных операций лучше иметь другую начальную точку. Ее можно изменить в самой операции, но мы еще раз воспользуемся преимуществом родительских групп.

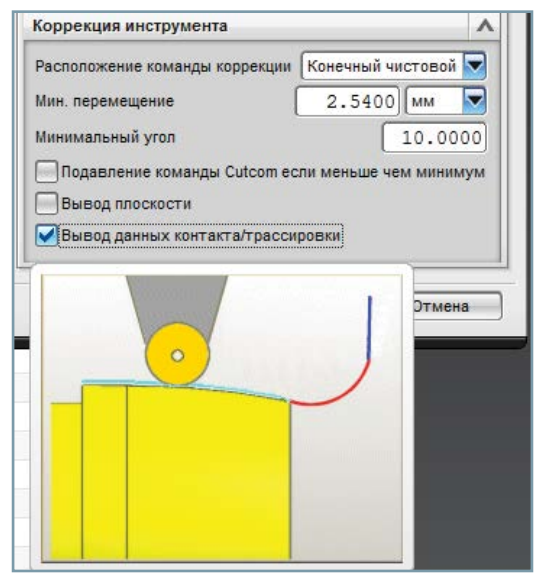


Рис. 20.42. Параметр Вывод данных контакта /трассировки для работы с коррекцией инструмента

- Создайте новую геометрическую группу AVOIDANCE_ID, ее положение на Виде геометрии Навигатора операций показано на рис. 20.52.
- В этой группе задайте новую начальную точку, как показано на рис. 20.53, также задайте тип перемещения в конечную точку как Радиальное-Осевое (необходимо, чтобы инструмент в отверстии отошел от стенки радиально и далее осевым движением был выведен из отверстия).
- Это геометрическую группу будем использовать и в чистовых операциях.
- Создайте черновую расточную операцию (ROUGH_BORE_ID), в качестве геометрической родительской группы используйте AVOIDANCE_ID.

Рис. 20.43. Траектория чистового наружного точения при работе с коррекцией

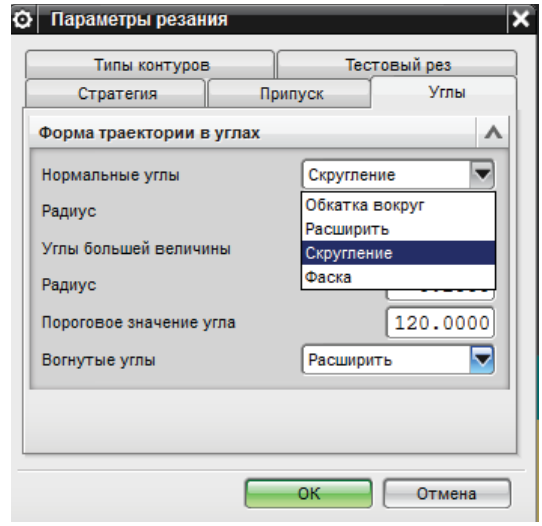


Рис. 20.44. Параметры скругления острых углов контура, не заданных в модели

Рис. 20.45. Траектория чистового наружного точения, где острые углы скруглены

Диалоговое окно операции здесь не показано, мы будем использовать установки по умолчанию.

- Задайте осевое ограничение области обработки значением –100 мм. Сгенерируйте операцию, результат показан на рис. 20.54.
- Выполните ее верификацию в 2D, чтобы убедиться в безопасности подхода и отхода.
- Создайте чистовую расточную операцию (FINISH_BORE_ID), в качестве геометрической родительской группы используйте AVOIDANCE_ID.
- Задайте осевое ограничение области обработки точкой окончания криволинейного участка контура, чтобы обеспечить результак как на рис. 20.55.
- Сгенерируйте операцию и выполните ее верификацию в 2D.

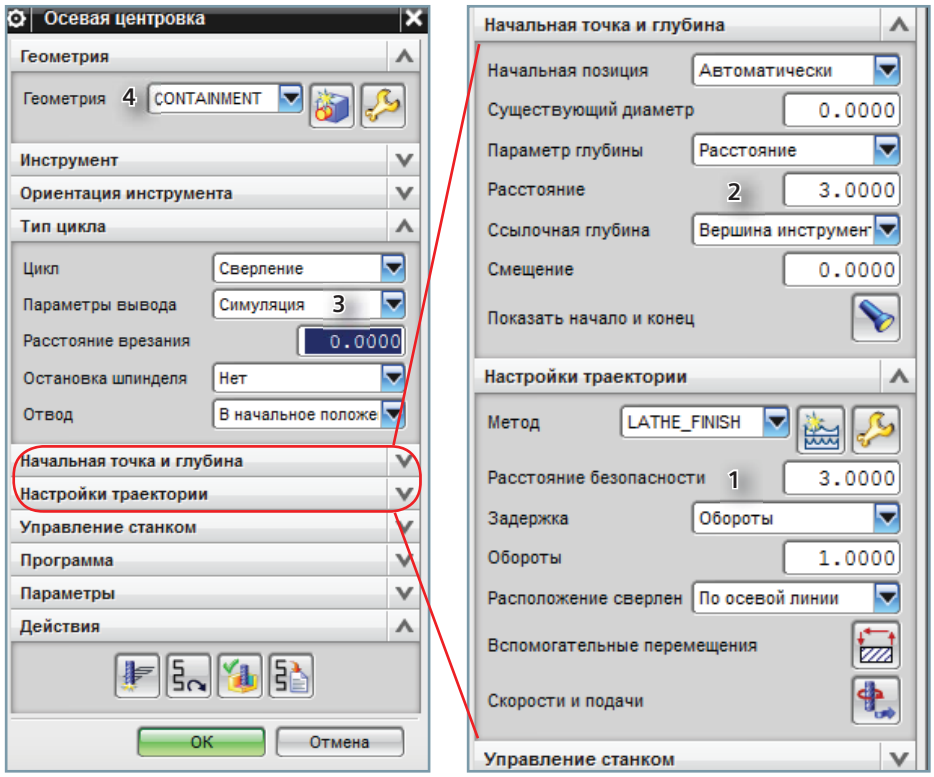


Рис. 20.46. Диалоговое окно операции осевой центровки

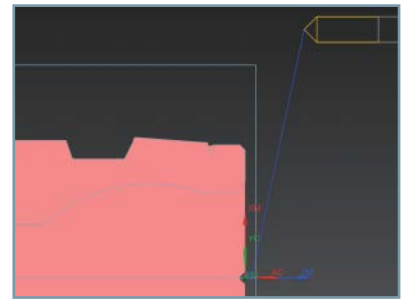


Рис. 20.47. Результат операции в режиме симуляции съема материала

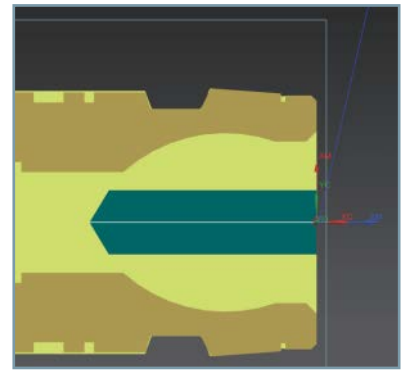


Рис. 20.48. Результат операции осевого сверления

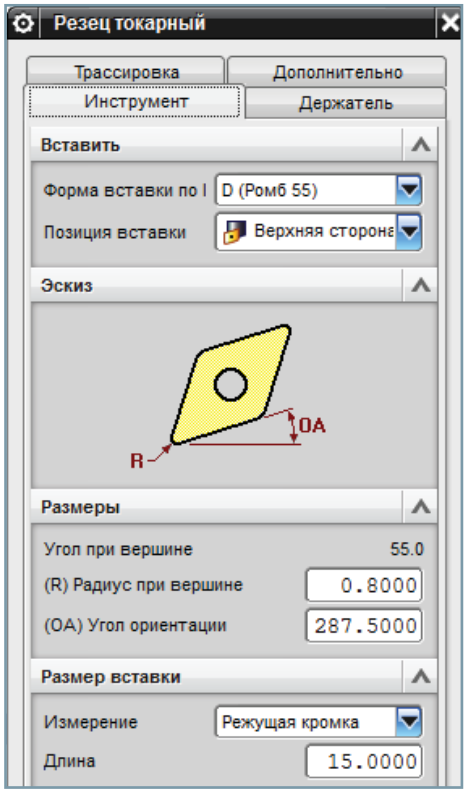


Рис. 20.49. Геометрия режущей пластины расточного резца

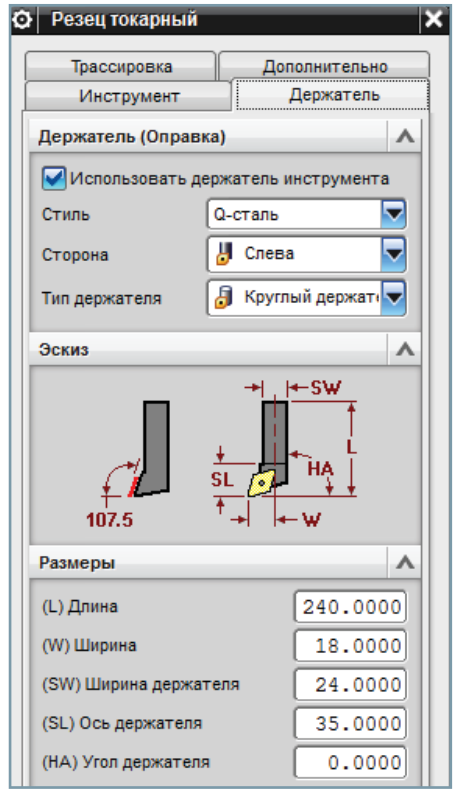


Рис. 20.50. Геометрия держателя расточного резца

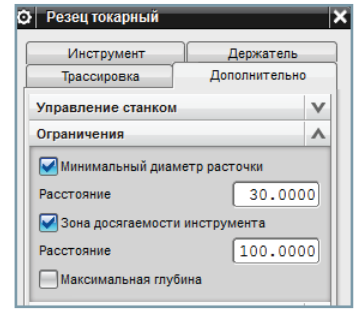


Рис. 20.51. Дополнительные параметры расточного резца, используемые для контроля

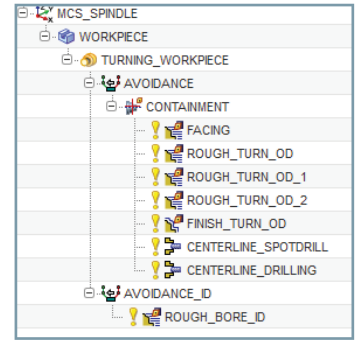


Рис. 20.52. Для операций внутреннего точения лучше создать новую геометрическую группу для задания точек маневрирования

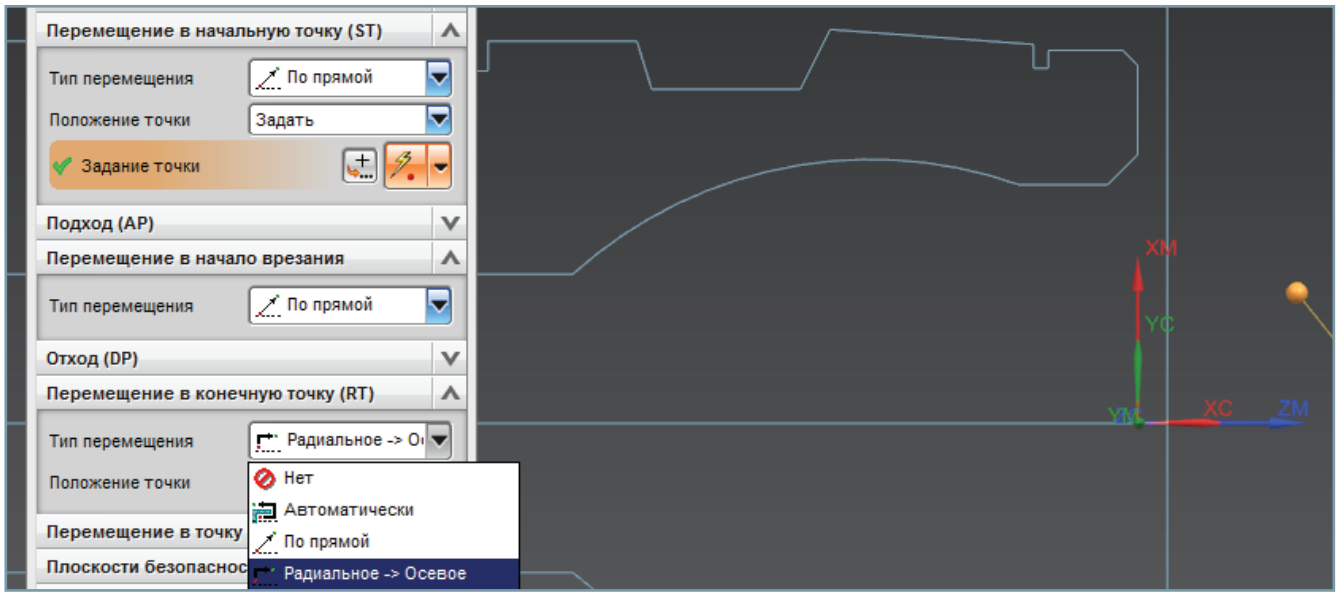


Рис. 20.53. Положение начальной точки для операций внутреннего точения

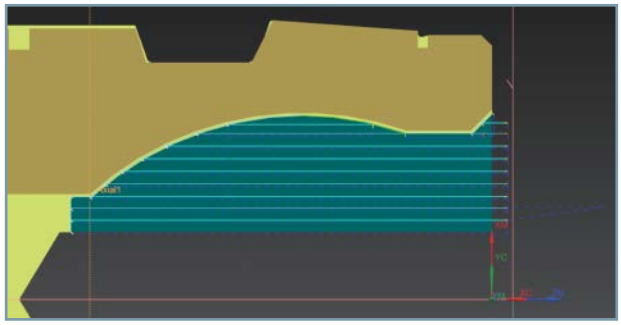


Рис. 20.54. Траектория чернового внутреннего точения

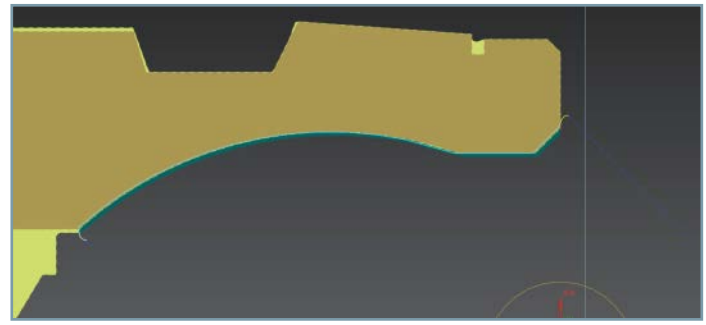


Рис. 20.55. Траектория чистового внутреннего точения

Обработка канавок

Для обработки канавок создадим новый инструмент.

- Создайте канавочный резец для наружных канавок OD_GROOVE_L.
- Геометрию пластины задайте как на рис. 20.56, держатель – рис. 20.57.

Для канавочных резцов заданы две точки трассировки (рис. 20.58), точку трассировки можно изменить в операции. В операции обработки канавок для некоторых стратегий возможна автоматическая смена этих точек при обработке боковых стенок.

- Создайте операцию обработки наружной канавки.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 20.59), параметры настройки траектории развернуты в правой части рисунка.

В токарных операциях движение в начальную точку текущей операции производится из конечной точки предыдущей операции. Мы снова переходим к наружной обработке, поэтому в новой операции зададим дополнительную точку для безопасного перемещения.

- Выполните команду **Вспомогательные перемещения – Подход** (рис. 20.60) и задайте **Исходную точку** (1), **Начальную точку** (2). Положение точек показано на рис. 20.61.
- Также задайте осевое ограничение **Подобласти обработки**, как показано на рис. 20.61.
- Сгенерируйте операцию.

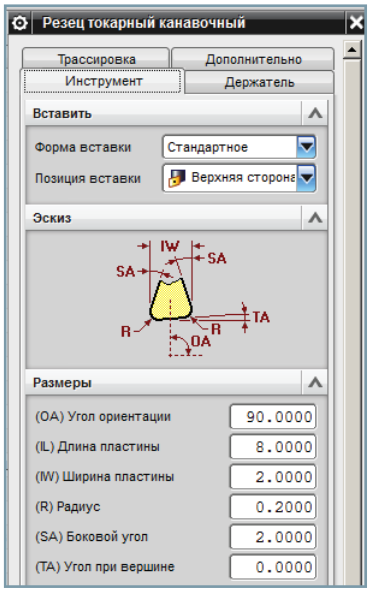


Рис. 20.56. Геометрия режущей пластины канавочного резца

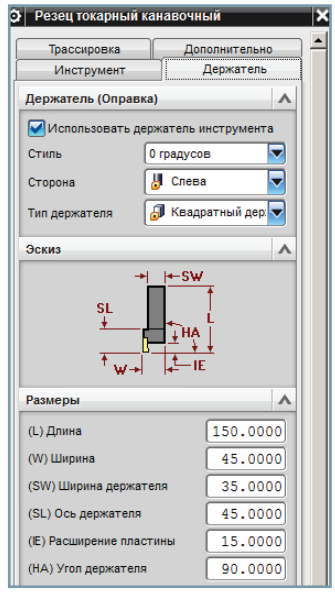


Рис. 20.57. Геометрия держателя канавочного резца

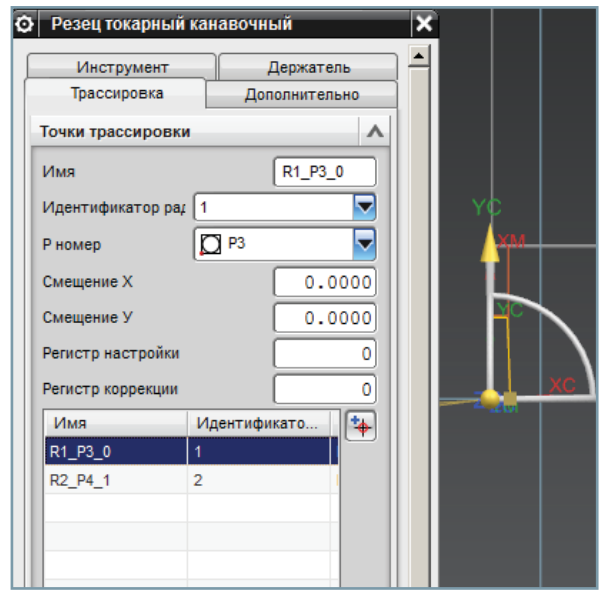


Рис. 20.58. Вкладка диалогового окна для задания точек трассировки

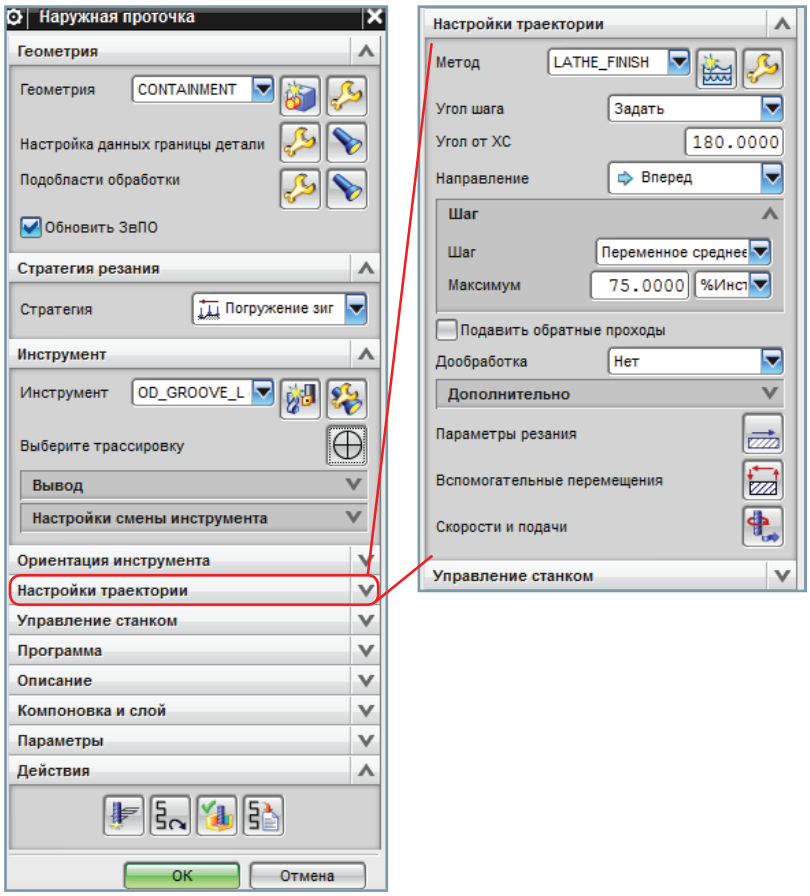


Рис. 20.59. Диалоговое окно операции обработки наружной канавки

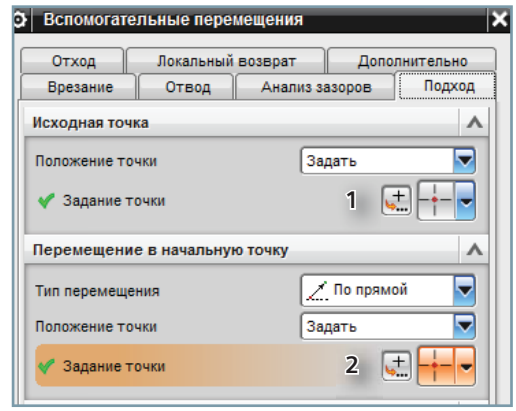


Рис. 20.60. Задание исходной и начальной точек для правильного подхода к канавке

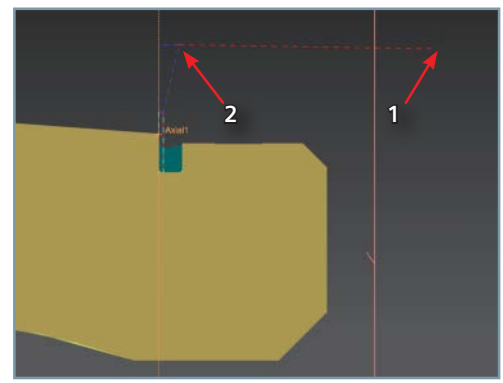


Рис. 20.61. Траектория обработки наружной канавки

В операциях обработки канавок имеются дополнительные параметры по обработке углов, по управлению стружколоманием (рис. 20.62) и др. Они находятся в диалоговом окне Параметров резания. Контекстно-зависимые рисунки поясняют их назначение.
Покажем текущее состояние заготовки после операции GROOVE_OD.

- Из контекстного меню операции GROOVE_OD выполните **Заготовка – Показать 3D с вырезом** (Показать Вращение 3D).
- Включите режим отображения **Закраска с ребрами**. Должно быть как на рис. 20.63.

Нарезание резьбы

- Создайте резьбовой резец OD_THREAD_L. Геометрию пластины задайте как на рис. 20.64.
- Создайте операцию нарезания наружной резьбы THREAD_OD.

Диалоговое окно операции показано на рис. 20.65, некоторые параметры задаются в окне **Параметры резания** (рис. 20.66). Результат операции дан на рис. 22.67, этот же рисунок используется для некоторых пояснений.

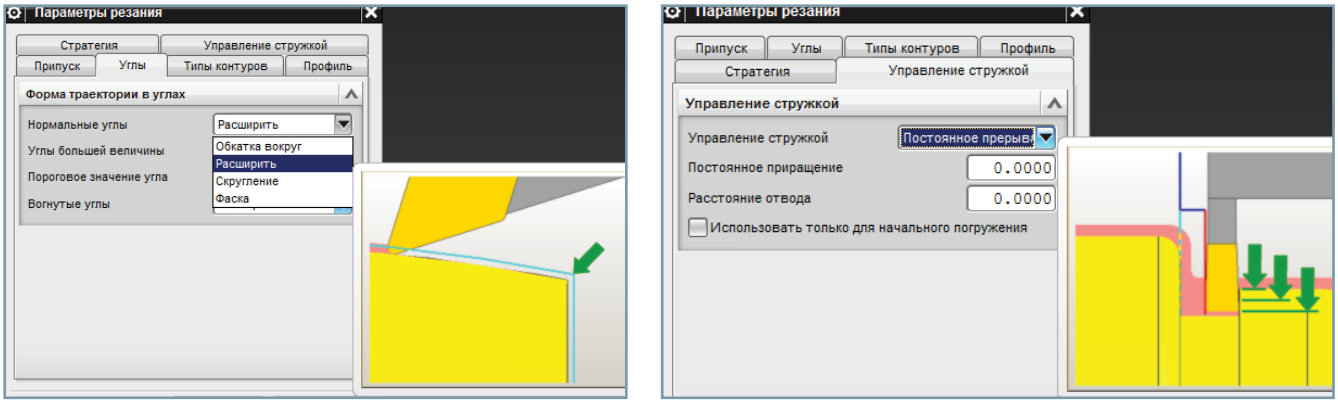


Рис. 20.62. Параметры по обработке углов и управлению стружколоманием

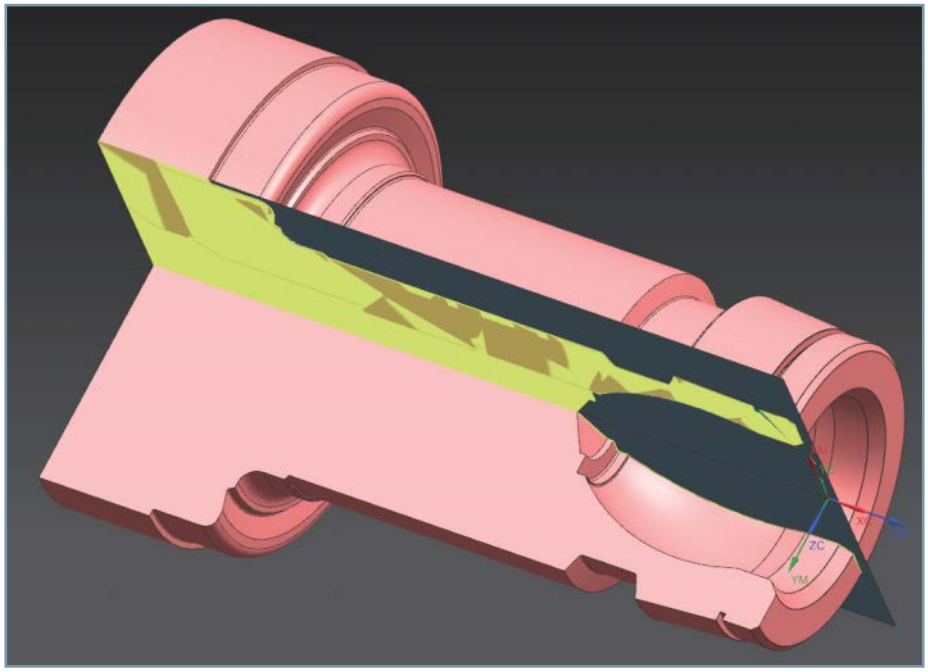


Рис. 20.63. Результат работы всех операций в режиме Показать 3D с вырезом

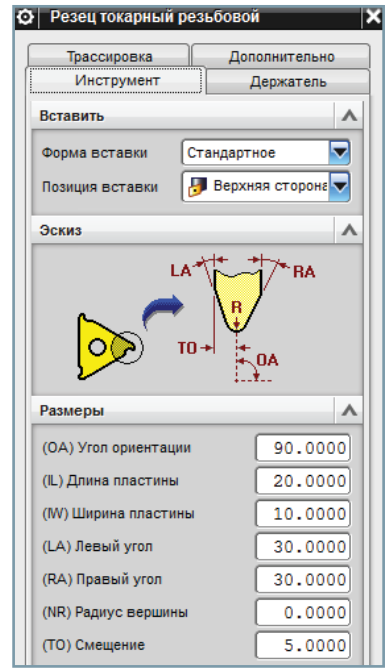


Рис. 20.64. Геометрия режущей пластины резьбового резца

Резьба может задаваться разными способами. Здесь задан наружный диаметр резьбы (1), задается путем указания линии контура. Также заданы глубина резьбы и угол (2). Имеются параметры Смещение в начале (3) и Смещение в конце (4), используемые для входа и выхода резца. Шаг резьбы задается в параметрах резания (5). Глубина резания задается разными способами, здесь задана постоянная 1 мм (6), что дает нам два прохода.
Токарные операции рассмотрены очень кратко, углубить знания можно по документации. Рассмотрение токарной обработки было необходимо для перехода к токарно-фрезерной обработке.

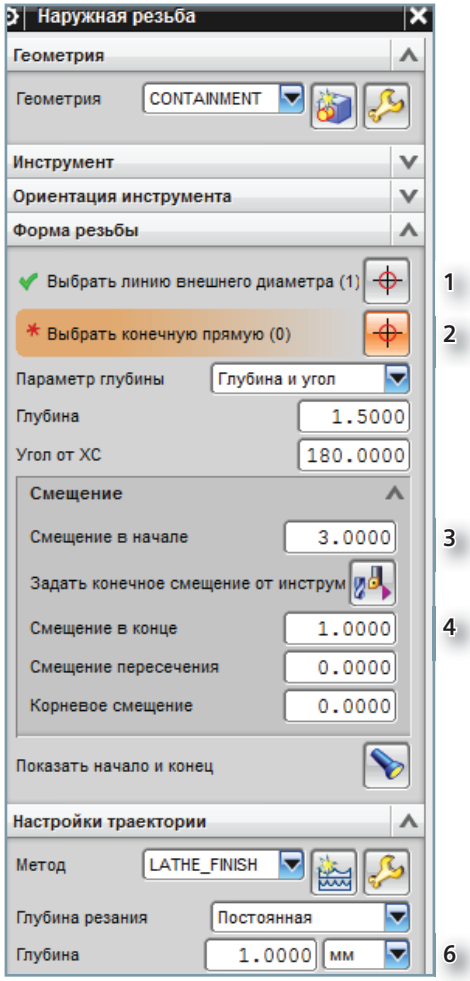


Рис. 20.65. Диалоговое окно операции нарезания наружной резьбы

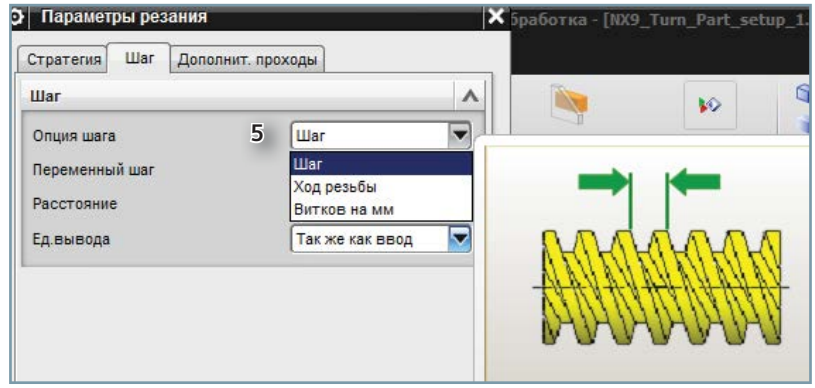


Рис. 20.66. Параметры шага резьбы в диалоговом окне параметров резания

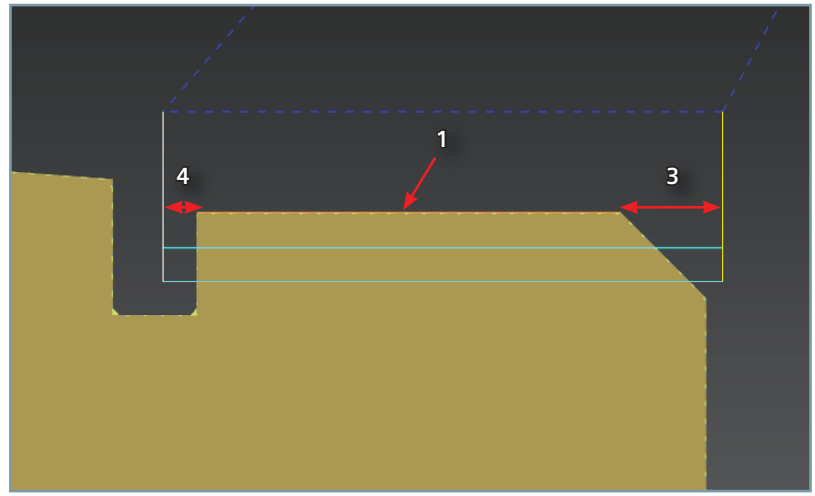


Рис. 20.67. Траектория нарезания резьбы и пояснение некоторых параметров операции

Глава 21

Токарно-фрезерная обработка

Содержание главы

- Инициализация для токарно-фрезерной обработки
- Задание систем координат и геометрии
- Обработка в главном шпинделе
- Обработка в контршпинделе
- Работа в контексте 3D модели станка и симуляция обработки
  - Загрузка готового проекта
  - Замена компонента
  - Обновление операций и новые операции
  - Использование револьверной головки
  - Менеджер синхронизации

Токарно-фрезерная обработка

Ряд токарных станков имеют возможность использовать приводной инструмент, расположенный в револьверной головке, для осевого или радиального фрезерования и сверления, поэтому их называют токарно-фрезерными. Более сложные токарно-фрезерные станки (рис. 21.1), помимо главного токарного шпинделя (1), могут иметь второй токарный шпиндель – контршпиндель (2), в них обеспечивается возможность перехвата детали для обработки ее с противоположной стороны. Помимо основной револьверной головки (3), станки могут иметь вторую револьверную головку, что дает возможность параллельной работы двумя инструментами. Некоторые станки вместо револьверной головки (или дополнительно) имеют фрезерный шпиндель (4) с возможностью его поворота. В такой шпиндель может устанавливаться как токарный, так и фрезерный инструмент, и появляется возможность сочетать токарную и непрерывную 5-осевую обработку на одном станке.

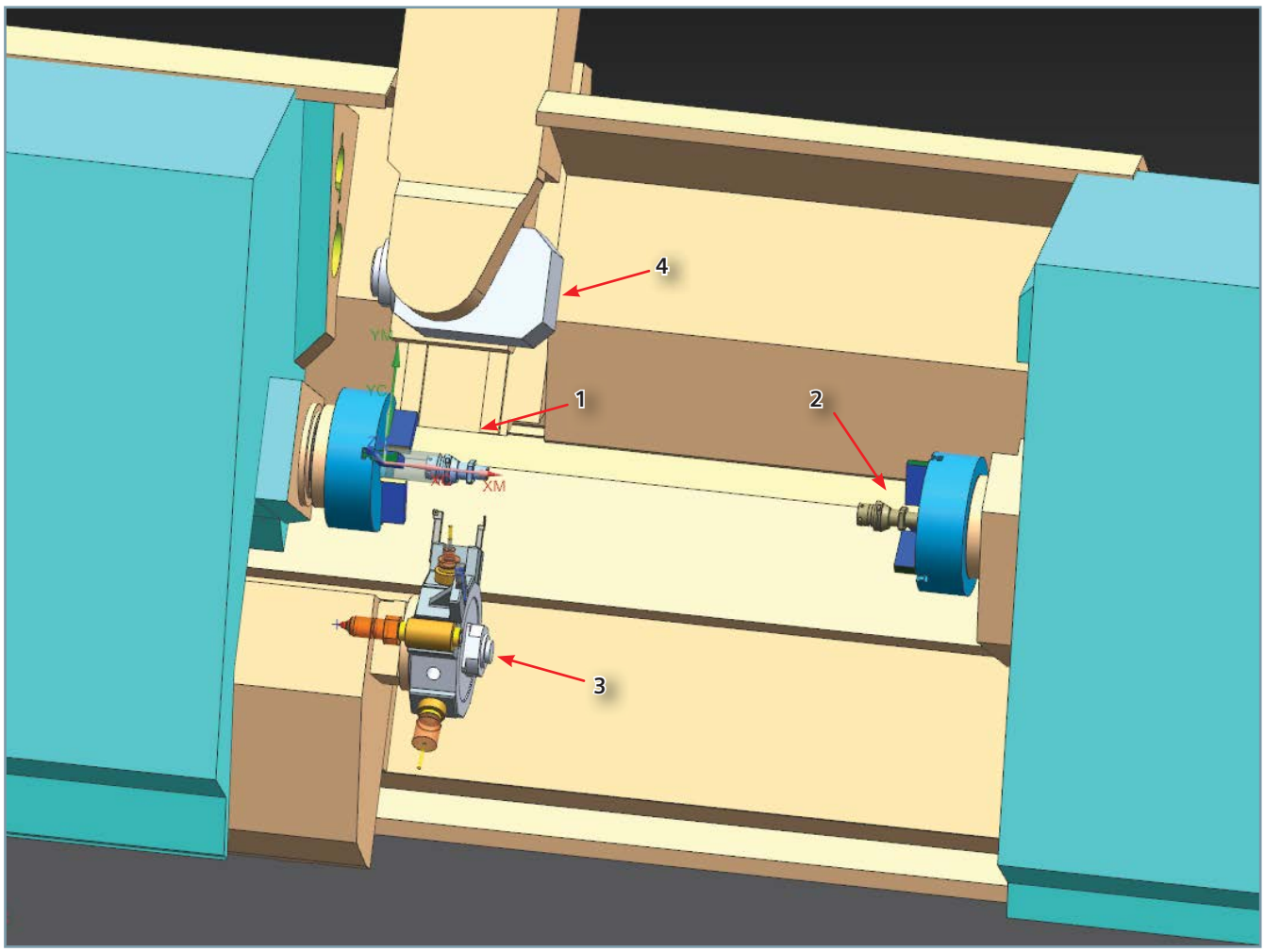


Рис. 21.1. Узлы токарно-фрезерного многофункционального станка

Вопросы программирования таких станков будут рассмотрены в этой главе. Также рассмотрим вопросы проверки управляющих программ и симуляцию работы станка. Использование виртуального станка для проверки программ позволяет выполнить их отладку вне станка, освободив станок для производительной работы.

Инициализация для токарно-фрезерной обработки

Для этого вида обработки важна правильная организация геометрических и других CAM-объектов в Навигаторе операций.

- Откройте файл NX9_Millturn_Part.prt.
- Выполните **Файл** – **Новый**.
- Выберите вкладку **Обработка**, **Шаблон** – **Токарно-фрезерная** (Express) и нажмите **ОК**.

В соответствие 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.
Также будет создано несколько объектов обработки, все они нам знакомы по разделам токарной или фрезерной обработки. Навигатор операций показывает вновь созданные объекты (рис. 21.2). На верхнем уровне расположена геометрическая группа MASTER_BLANK, здесь надо будет задать исходную заготовку. Системы координат станка MSC_MAIN_SPINDLE и MSC_SUB_SPINDLE задают нулевую точку и другие настройки для главного шпинделя и контршпинделя соответственно. Геометрическая группа WORKPIECE_MAIN наследует заготовку из MASTER_BLANK (то есть в ней заготовка не задается), в ней мы зададим деталь, установленную в главный шпиндель. В геометрической группе WORKPIECE_SUB будет задана деталь, установленная в контршпиндель (сборка для обработки будет соделжать 2 одинаковых компонента детали). В ней заготовка также не задается. Геометрическая группа TURNING_WORKPIECE_MAIN будет автоматически рассчитывать токарное сечение детали и заготовки, геометрическая группа TURNING_WORKPIECE_SUB будет также автоматически рассчитывать токарное сечение детали. Для расчета токарной заготовки будет использоваться специальный механизм передачи ЗвПО из главного шпинделя, который ранее не рассматривался. При программирования фрезерных операций для главного шпинделя будет использоваться 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 отдельно для каждого шпинделя. MCS_HOLEMAKING не является обязательной, оставим ее без пояснения.
По сравнению с чисто токарной обработкой, здесь создается больше методов по умолчанию (рис. 21.3). Например, методы DRILL_XYZC и DRILL_POLAR содержат дополнительную информацию по выводу координат, один из них будет разрешать использование оси Y при программировании сверления, а другой – нет. Аналогичный подход используется и для фрезерования. Эта информация применяется постпроцессором на стадии постпроцессирования.
Кроме этого, создается магазин инструментов на 12 позиций, что характерно для револьверных головок. Напомним, что инициализация выполняет некий настроенный шаблон, данный шаблон предназначен для станка без фрезерного шпинделя. Для станка с фрезерным шпинделем необходимо будет его добавить.

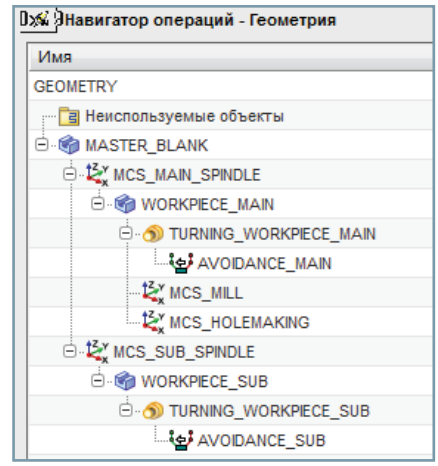


Рис. 21.2. Иерархия геометрических объектов при инициализации токарно-фрезерной обработки

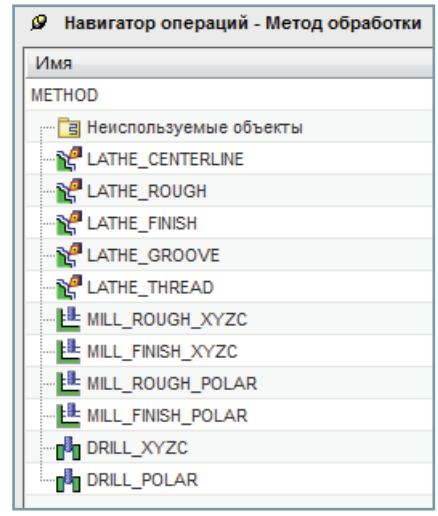


Рис. 21.3. Методы обработки, созданные по умолчанию

- Переключите навигатор операций последовательно на разные виды и посмотрите, какие объекты созданы.
- Убедитесь, что созданы два резца для наружного точения с разной геометрией режущей пластины и программная группа 1234.

Задание систем координат и геометрии

Привяжем систему координат главного шпинделя к правому торцу детали.

- Установите MSC_MAIN_SPINDLE, как показано на рис. 21.4, в эту же точку перенесите рабочую систему координат (соответствие осей должно выдерживаться, как принято в токарной обработке).
- Создайте цилиндр диаметром 127 мм, длиной 150 мм, расположенный в точке X=–148.
- Создайте новый компонент сборки и перенесите туда вновь созданный цилиндр.
- Это будет заготовка.
- Выполните команду Добавить компонент в модуле сборки и добавьте еще раз NX9_Millturn_Part, способ позиционирования задайте **Перемещение**, задайте смещение 1250 мм.

- Должно быть как на рис. 21.5, в левой части рисунка показан навигатор сборки, содержащий два компонента NX9_Millturn_Part (деталь) и компонент NX9_turnmill_blank1 (заготовка).
- Задайте заготовку в геометрической группе MASTER_BLANK, задайте деталь, установленную в главном шпинделе в геометрической группе WORKPIECE_MAIN, а деталь в контршпинделе – в геометрической группе WORKPIECE_SUB.
- Систему координат MSC_SUB_SPINDLE привяжем к левому торцу детали, установленной в контршпинделе. Так как левый торец детали не имеет характерной точки для привязки, зададим СК смещением от текущей позиции на 1180 миллиметров по оси XC (полагая, что здесь будет торец заготовки после передачи ее из главного шпинделя).
- После этого выключите отображение компонентов в навигаторе сборки и выберите геометрическую группу TURNING_WORKPIECE_MAIN . Будут отображены токарные контуры детали и заготовки.

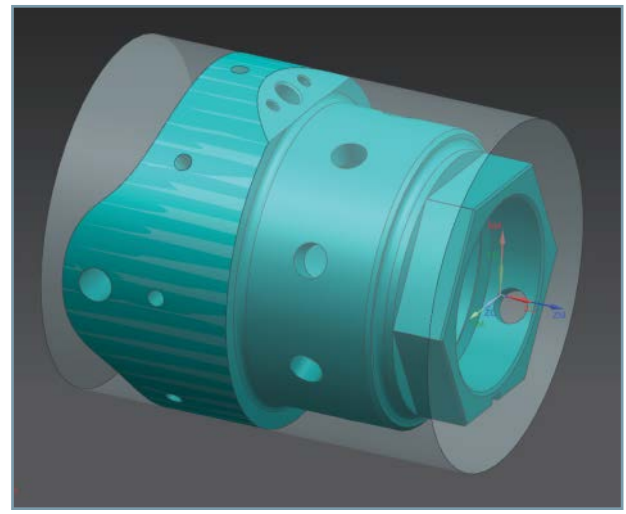


Рис. 21.4. Расположение СКС и РСК относительно детали

Замечание: при появлении сообщения о проблемах при создании токарных контуров автоматически скажите **Нет**, при этом система сама будет использовать другой алгоритм создания контуров (тоже автоматически).

Все готово для создания операций обработки в главном шпинделе.

Обработка в главном шпинделе

- Создайте токарные операции самостоятельно.
- Альтернативно можно открыть файл NX9_Millturn_Part_setup_2.prt, где эти операции созданы и сохранены.

Результат показан на рис. 21.6.

- Выполним фрезерные операции в главном шпинделе.

Токарные контуры на этом этапе лучше скрыть (для наглядности). Это можно сделать, скрыв автоматически созданные объекты в Навигаторе модели. Какие это объекты, можно выяснить, выбрав их поочередно. Для примера на рис. 21.7 выбран закрашенный контур детали. Попутно можно убедиться, что токарный контур детали получен не простым сечением, он отражает именно токарную заготовку перед фрезерными операциями (об этом шла речь в главе 20).

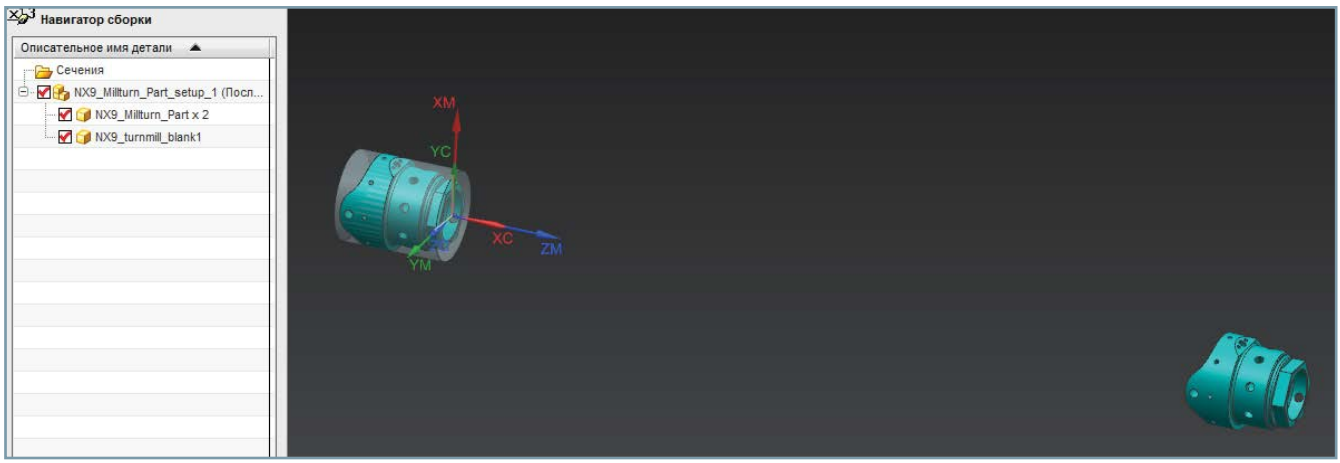


Рис. 21.5. Второй компонент –деталь – добавлен и позиционирован в контршпиндель

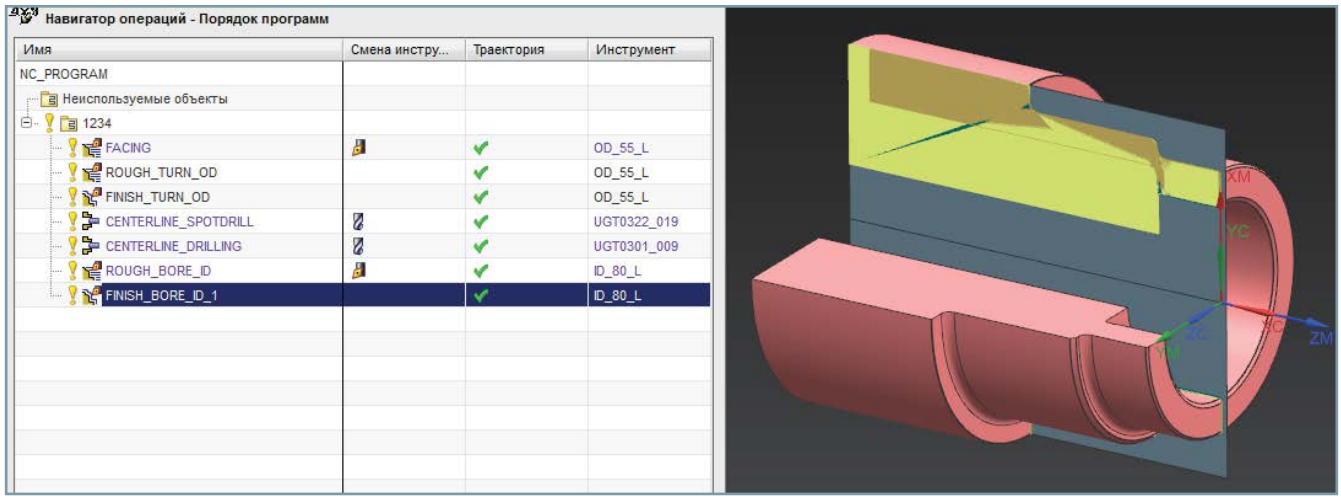


Рис. 21.6. Текущее состояние заготовки после токарных операций

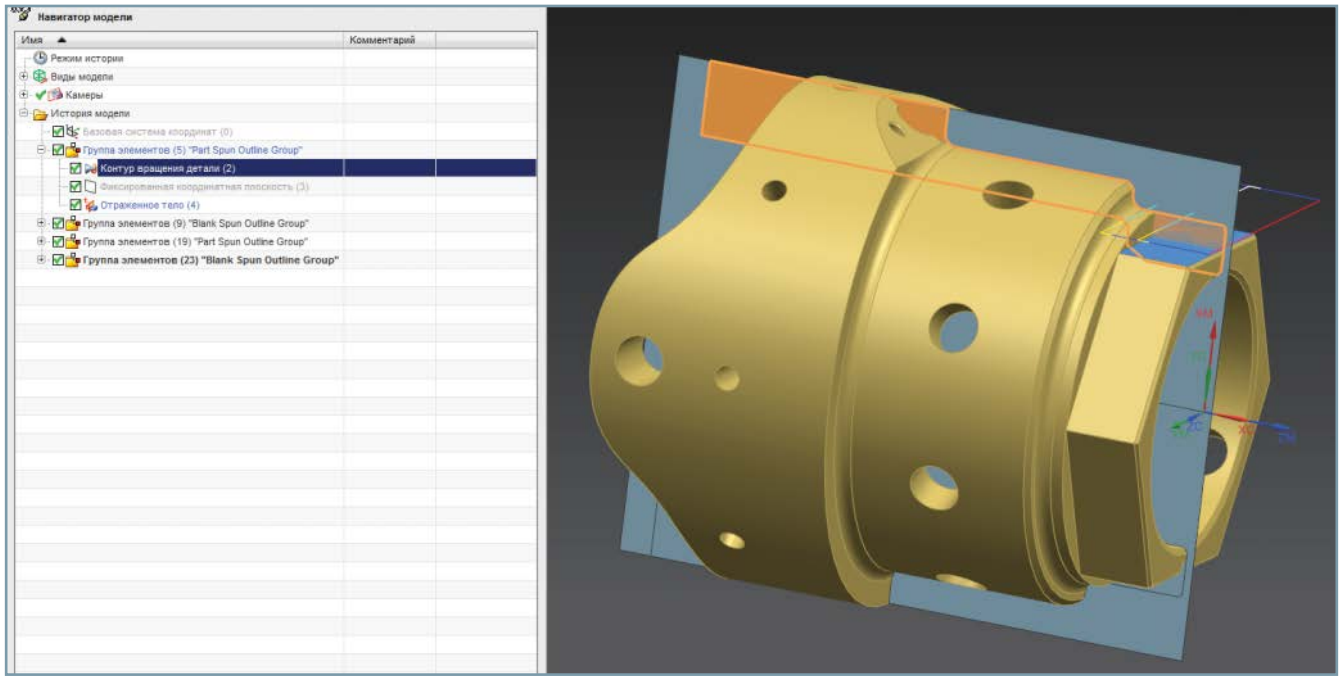


Рис. 21.7. Токарные контуры можно скрыть в Навигаторе модели

- Скройте все токарные контуры.
- Создайте или вызовите из библиотеки концевую фрезу диаметром 16 мм.

Для обработки шестигранника можно использовать различные операции. Мы будем использовать операцию SOLID_PROFILE_3D, обеспечивающую обработку грани боковой стороной фрезы. При необходимости может использоваться ее многопроходный вариант.

- Создайте операцию SOLID_PROFILE_3D для обработки грани, указанной на рис. 21.8.
- Настройки операции, на которые надо обратить внимание, показаны на рис. 21.9.
- Родительская геометрия должна быть MCS_MILL (1), ось инструмента – ось Z (2).

Фрезерный инструмент с ориентацией по оси Z может быть установлен в револьверную головку в позицию с поддержкой приводного инструмента или фрезерный шпиндель (при наличии). Связывание операции и конкретного рабочего органа станка рассмотрим далее.

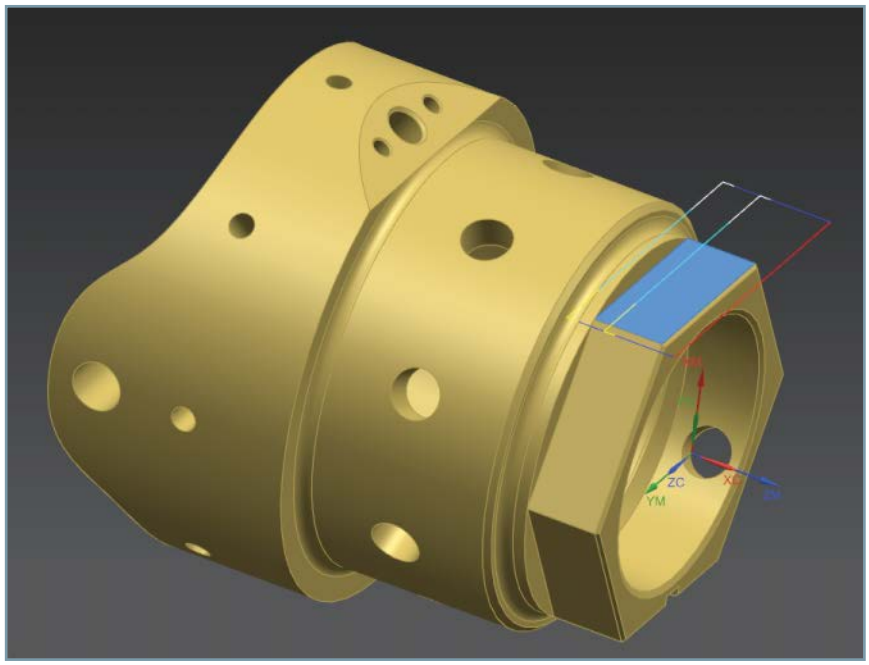


Рис. 21.8. Операция фрезерования грани шестигранника

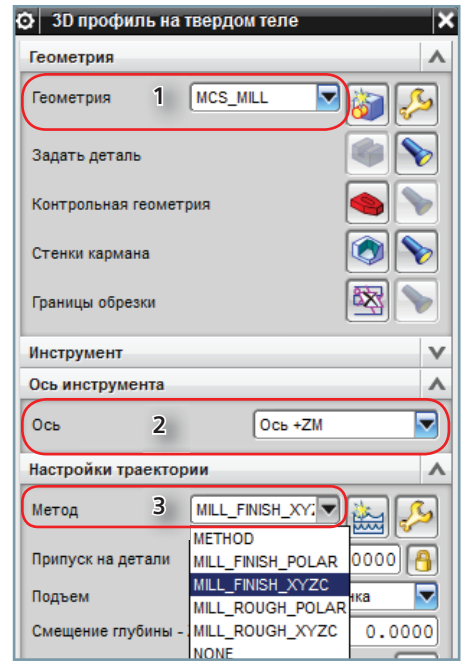


Рис. 21.9. Настройки операции SOLID_PROFILE_3D для траектории на рис. 21.8

Токарно-фрезерные станки при фрезеровании или могут использовать только оси XZC, или могут дополнительно использовать ось Y (при наличии). Какой вариант применяется в конкретной операции, задается выбором соотверствующего метода (3). Методы, созданные при токарно-фрезерной инициализации, содержат дополнительную настройку (событие пользователя), указывающую постпроцессору, какие координаты использовать.

- Задайте метод MILL_FINISH_XYZC и генерируйте операцию.

Для обработки остальных граней шестигранника создадим массив операций. Операции-копии при этом сохраняют ассоциативную связь с исходной операцией. Можно настроить постпроцессор таким образом, что он будет выводить массив операций в виде подпрограмм, это сократило бы длину УП и улучшило ее читаемость.

- Из контекстного меню операции SOLID_PROFILE_3D выполните **Объект – Преобразование**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 21.10).
- Задайте тип преобразования – Вращать относительно прямой (1), точку задайте любую, лежащую на оси Z, вектор – ось Z (2), угол – 60 градусов (3), число экземпляров – 5 (4), установите признак массива (5).
- Угол можно вычислять, используя параметр Деление расстояния/угла (угол = 60 и Деление расстояния/угла = 1 дают тот же результат, как 360 и 6 соответственно).
- Операции, полученные преобразованием (а не расчетом), имеют специальный значок статуса (6, рис. 21.11).

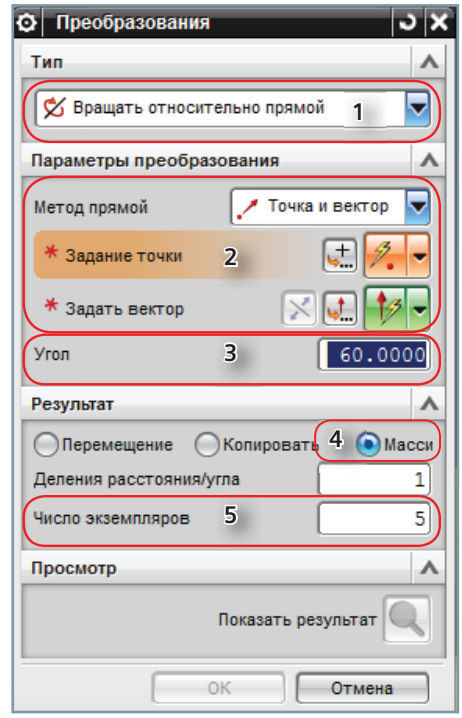


Рис. 21.10. Диалоговое окно команды преобразования и параметры создания массива операций

Фрезерование наклонной грани возможно только на станке с фрезерным шпинделем, имеющем возможность управляемого поворота осью B. Поскольку на данном этапе мы не связаны конкретным станком, создадим такую операцию.

- Создайте операцию FLOOR_WALL как на рис. 21.12.
- Ось инструмента можно специально не указывать, она по умолчанию будет установлена перпендикулярно первой указанной грани.

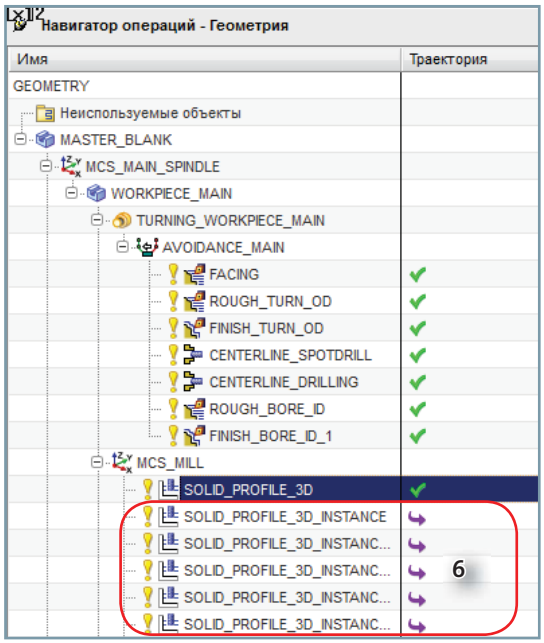


Рис. 21.11. Операции, полученные преобразованием, имеют специальный значок статуса

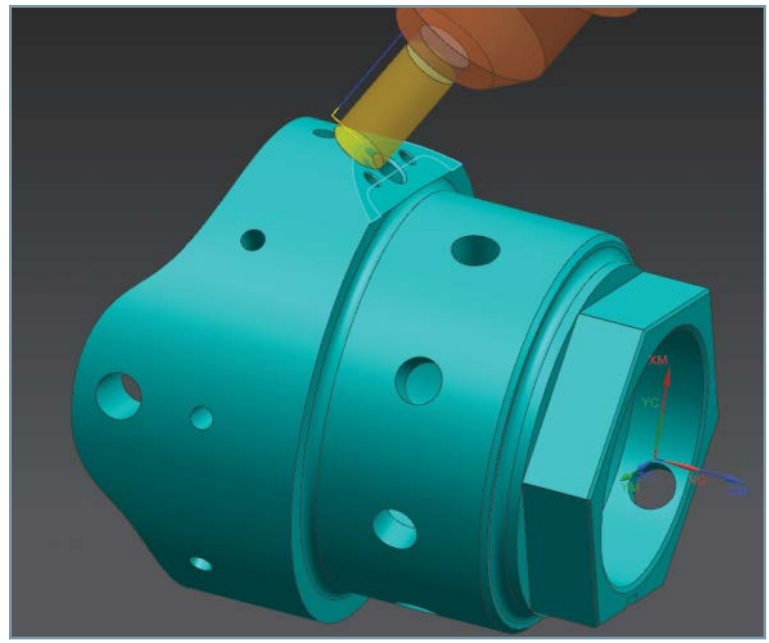


Рис. 21.12. Операция фрезерования наклонной грани

Эта операция в NX 9.0 заменила операции FACE_MILL_AREA, и она также может быть многопроходной.

- Операции сверления, при необходимости, создайте самостоятельно.

Обработка в контршпинделе

Для передачи токарной заготовки из главного шпинделя в контршпиндель используется специальный способ задания заготовки в геометрической группе TURNING_WORKPIECE_SUB, который называется **Из рабочего пространства**.

- Откройте диалоговое окно геометрической группы TURNING_WORKPIECE_SUB (рис. 21.13).
- Граница детали (1) рассчитывается автоматически на основе 3D-детали, установленной в контршпиндель.
- Граница заготовки (2) не задана, так как мы не задавали 3D-заготовку для контршпинделя.
- Выполните команду задания границы заготовки (2), появится новое диалоговое окно.
- В нем укажите способ создания заготовки – **Из рабочего пространства** (3) и включите флаг **Автоматическое позиционирование** (4).
- Система при этом автоматически рассчитывает перенос заготовки, руководствуясь старым и новым положениями компонента.

Если автоматическое позиционирование не работает, то возможно явное указание одинаковых точек на границах детали для первого и второго положений (5). Параметр **Сменить направление** (6) используется в случае переворота заготовки на 180° при передаче ее в новое положение. В нашем случае это не требуется.

- Для операций на контршпинделе создайте копии инструмента OD_55_L и ID_80_L, копии будут работать с другой ориентацией (повернутой вокруг оси держателя на 180°).
- Переименуйте их в OD_55_L_SUB и ID_80_L_SUB.

Для смены ориентации инструмента в операции есть два параметра (рис. 21.14), уже известный нам **Переориентировать держатель инструмента**, задающий угол в плане, и **Повернуть инструмент относительно держателя**, который обычно используется при работе в контршпинделе.
Станки с фрезерным шпинделем имеют возможность программного поворота инструмента относительно держателя. Для таких станков копию инструмента можно было не создавать, а опцию **Повернуть инструмент относительно держателя** использовать только в тех операциях, где требуется.

- Создайте операции подрезки торца и чернового растачивания как на рис. 21.15 и 21.16.
- Для этих операций используйте новые начальную и конечную точки, заданные в группе AVOIDANCE_SUB.
- Также обратите внимание, что угол проходов в операции чернового растачивания равен 0°, а не 180, как в главном шпинделе, что обеспечивает проходы слева направо.
- Выполните визуализацию съема материала в 2D как на рис. 21.16.

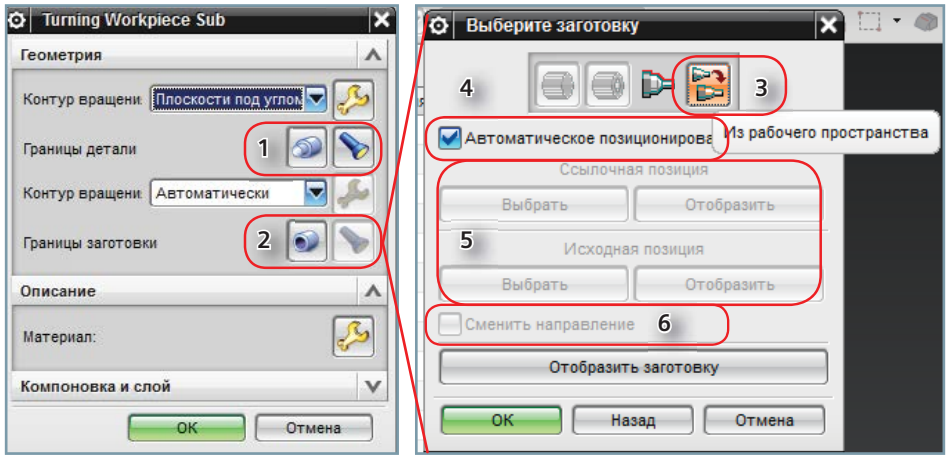


Рис. 21.13. Заготовка в контршпинделе задана значением Из рабочего пространства, что обеспечивает ее перенос из главного шпинделя

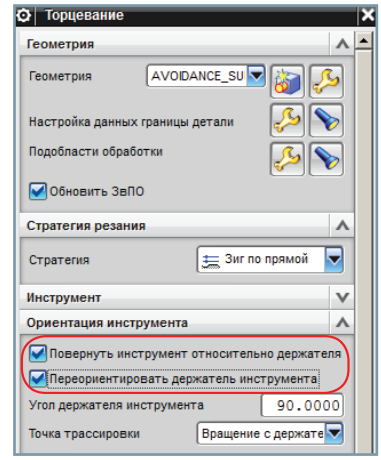


Рис. 21.14. Параметры переориентации инструмента в диалоговом окне операции

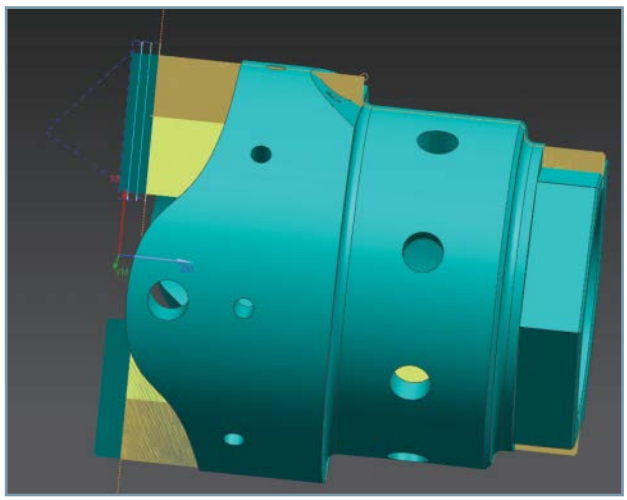


Рис. 21.15. Операция торцевания в контршпинделе

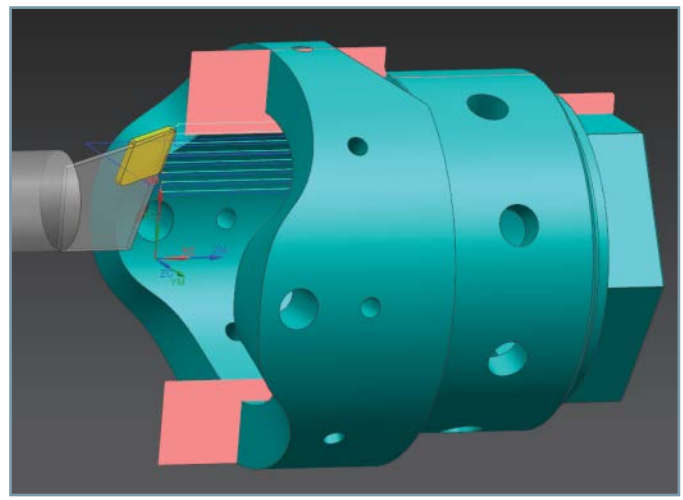


Рис. 21.16. Операция чернового растачивания в контршпинделе

Для обработки фасонной поверхности кулачка фрезерованием требуется еще одна система координат. Новый фрезерный инструмент создавать не будем, полагая, что он установлен во фрезерный шпиндель и возможна его переориентация.

- Создайте систему координат MCS_MILL_SUB с родительским объектом как на рис. 21.17.
- Ориентируйте ее как на рис. 21.18, так как в 3-осевых фрезерных операциях инструмент обычно выполняет обработку со стороны оси Z. Эта СК будет использоваться только для расчета, для вывода в УП будем использовать родительский объект MCS_SUB_SPINDLE.
- Создайте операцию чернового фрезерования CAVITY_MILL как на рис. 21.18. Операция правильно распознает заготовку, так как она берется из

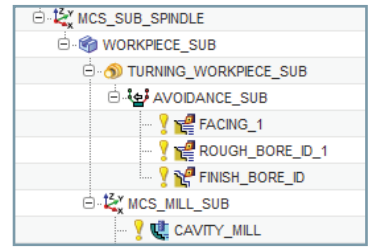


Рис. 21.17. Расположение новой системы координат в навигаторе операций, используемой для фрезерования в контршпинделе

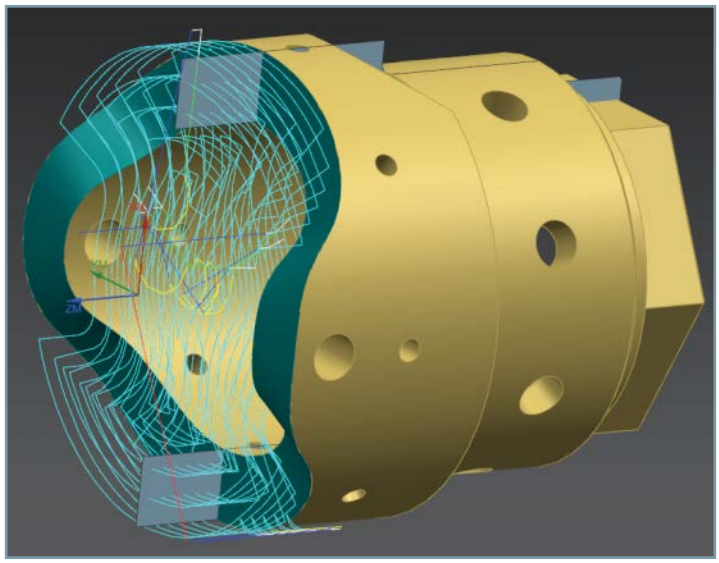


Рис. 21.18. Операция чернового фрезерования CAVITY_MILL использует новую СКС

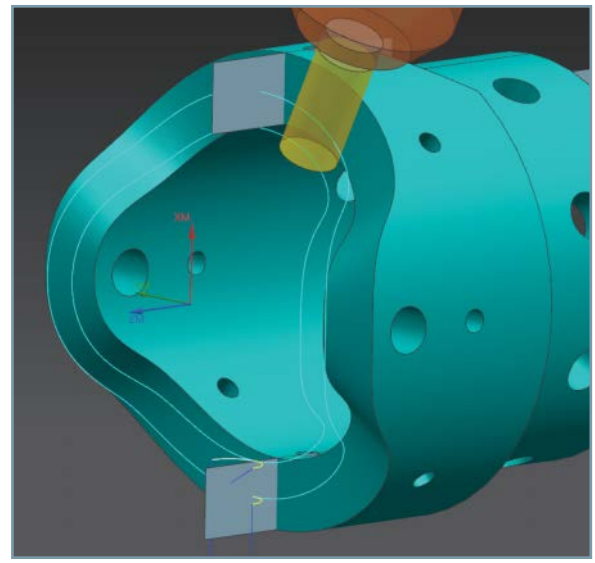


Рис. 21.19. Операция VARIABLE_CONTOUR для чистовой обработки поверхности кулачка

WORKPIECE_SUB, которая, в свою очередь, наследуется из группы MASTER_BLANK с учетом изменений, выполненных в WORKPIECE_MAIN.

Для чистовой обработки поверхности кулачка будем использовать операцию VARIABLE_CONTOUR и обработку будем вести боковой стороной фрезы.

- Создайте операцию VARIABLE_CONTOUR как на рис. 21.19. Используйте те же инструмент и систему координат.

Обработка закончена.

Работа в контексте 3D модели станка и симуляция обработки

При наличии модуля симуляции обработки и настроенной 3D-модели станка работа с токарно-фрезерными станками строится иначе, чем с фрезерными. Для фрезерных станков можно выполнить программирование обработки без станка, а затем загрузить станок для проверки УП. Для токарно-фрезерных станков модель станка загружается из шаблона с самого начала, и программирование идет в контексте станка и установленной оснастки. Это связано с тем, что во фрезерных станках инструмент всегда ставится в одно место (в шпиндель) в определенной ориентации (по оси шпинделя). В токарно-фрезерных станках, особенно при использовании револьверной головки, инструмент ставится в разные позиции, в разной ориентации, с разным вылетом и т. п. И это лучше учесть сразу при программировании.
Работа с модулем симуляции была описана в главе 15, здесь больше будем обращать внимание на особенности симуляции токарно-фрезерных станков.

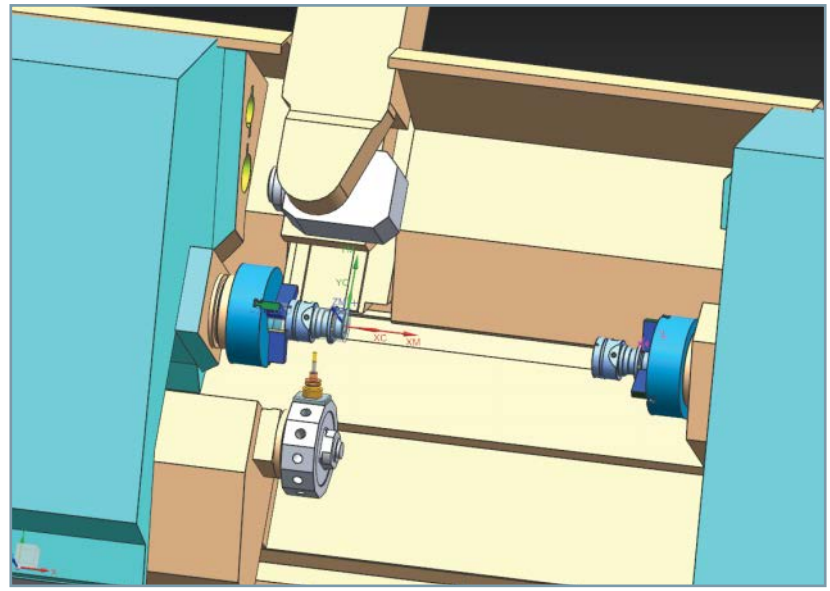


Рис. 21.20. Станок с установленной деталью-шаблоном, который будет использоваться для обработки

Загрузка готового проекта

- Установите **Опции загрузки сборки** в значение **Из каталогов поиска**. Добавьте папку MACH из каталога инсталляции NX, не забудьте приписать к имени три точки, что означает поиск во всех вложенных каталогах.
- Откройте пример sim15_millturn_book_setup1.prt. Этот упрощенный пример сделан на основе стандартного примера sim15_millturn_sinumerik_mm_setup.prt, из которого удалены объекты, которые не требуются для дальнейшего изложения.
- Включите отображение компонентов MILLTURN_PART_4SIM. Можно видеть, что таких компонентов два: один установлен в главном шпинделе, второй – в контршпинделе (рис. 21.20).
- Установите **Вид геометрии Навигатора операций**.
- Как можно видеть, структура геометрических объектов подобна рассмотренной в предыдущем параграфе, но на верхнем уровне имеется еще одна система координат, задающая нуль станка – MACHINE_ZERO_G53 (рис. 21.21).
- Она является главной и необходима для правильной симуляции станка, нулевая точка в ней задана 0, что соответствует команде станка G53.
- Выберите ее, она будет отображена в графической области. Как можно убедиться, для данного станка она расположена на правом торце главного шпинделя (без учета токарного патрона).
- Перейдите на вид программ и выполните симуляцию обработки для программной группы MILL-TURN. Для токарно-фрезерных станков поддерживается только симуляция на основе УП (машинного кода).
- Новым для нас является реализация перехвата детали и передачи заготовки в контршпиндель, которые совмещены с операцией отрезки (рис. 21.22).
- Причем деталь должна быть зажата в контршпинделе до операции отрезки. Команды перехвата детали сильно зависят от конкретного станка.
- В данном случае они определены через события пользователя, заданные в конце операции FACE_MILLING_AREA, которая предшествует операции отрезки PARTOFF (рис. 21.23).
- Откройте диалоговое окно операции FACE_MILLING_AREA, в группе параметров **Управление станком** видно, что имеются события пользователя, которые должны выполняться в конце траектории (1).
- Выполните команду **Изменить (2),** откроется новое диалоговое окно, где и можно видеть подключенные события (3). Они реализованы как простой текст, который вставляется в УП, в чем можно убедиться, нажав на кнопку редактирования (4) уже в этом окне.

События пользователя можно копировать из других операций, используя команду **Копировать из** (5), это мы будем использовать в дальнейшем.
Другой особенностью примера является использование 3D-моделей держателей инструмента.

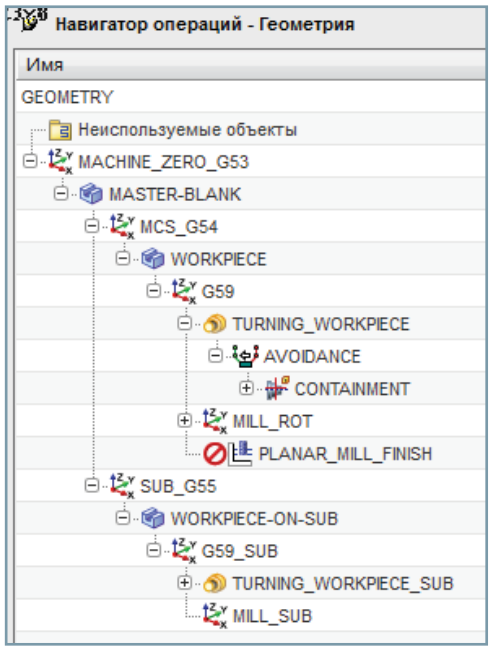


Рис. 21.21. Еще одна система координат, задающая нуль станка, требуется для симуляции

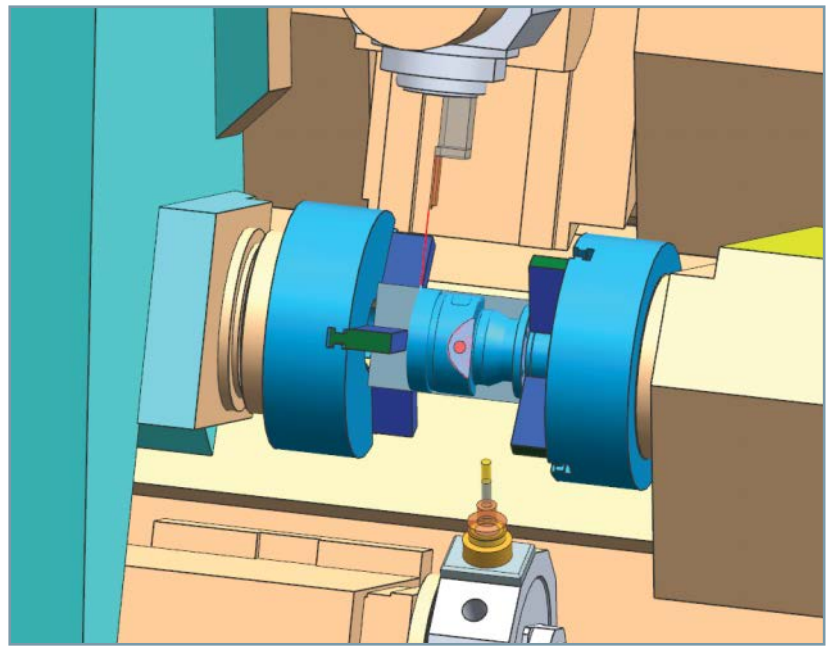


Рис. 21.22. Перехват детали и передача заготовки в контршпиндель здесь совмещены с операцией отрезки

- Выберите инструмент UGT0101_101 в навигаторе операций. Инструмент отображается во фрезерном шпинделе вместе с держателем (рис. 21.24).
- Откройте диалоговое окно задания инструмента, здесь можно убедиться, что держатель не задан.

Дело в том, что NX может работать как с параметрически заданными держателями, так и с держателями, заданными 3D-моделью. Чтобы NX нашел 3D- модель инструмента, надо, чтобы файл с таким же именем, как имя инструмента, был размещен в специальной папке (по умолчанию это ...\MACH\resource\library\tool\graphics). Есть определенные соглашения по ориентации 3D-моделей относительно систем координат и другие требования, детали смотрите в документации. Также обратите внимание, что в навигаторе сборки загрузился компонент, определяющий держатель. Если отменить выбор инструмента, то инструмент и держатель больше не отображаются, а компонент с держателем выгружен из сборки. Это потому, что фрезерный шпиндель поддерживает смену инструмента и потому задан как динамическая ячейка, в отличие от револьверной головки, где ячейки статические и держатели инструмента загружены постоянно. Это иллюстрирует инструмент UGT0321_009.
3D-модель держателя используется для визуализации, для контроля столкновений. Для расчета траекторий применяется только геометрия режущей части. Для задания положения режущей части относительно станка используются

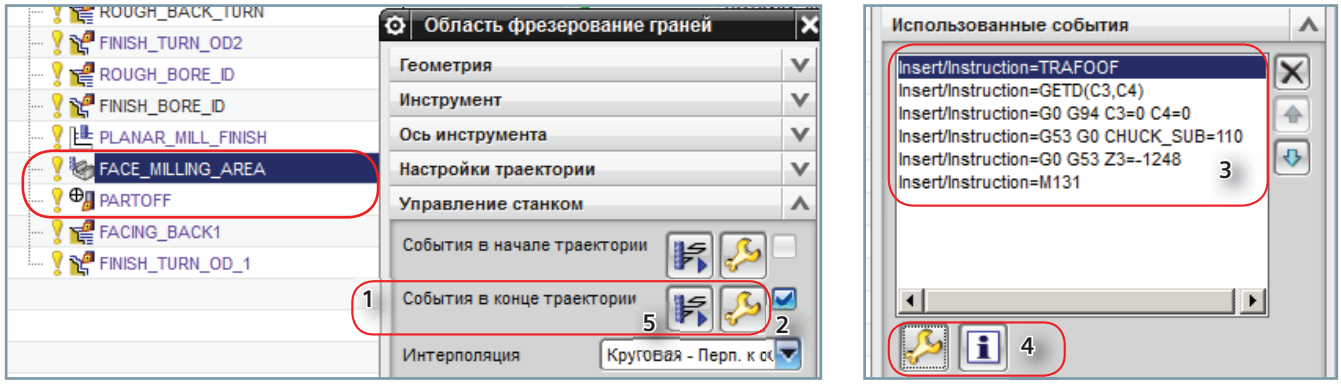


Рис. 21.23. Команды перехвата определены через события пользователя, заданные в конце предыдущей операции

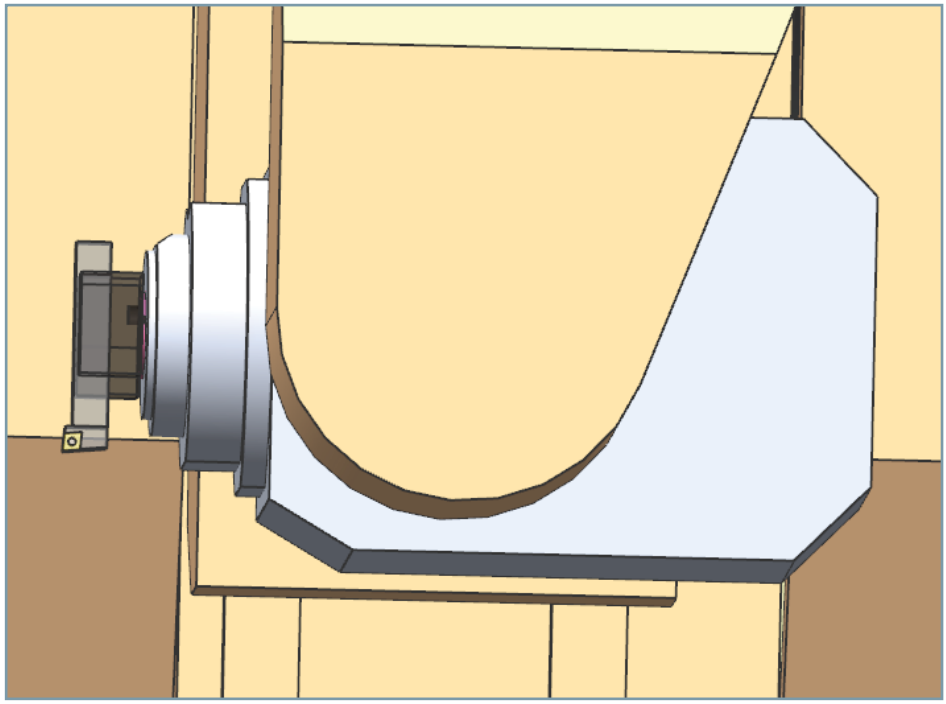


Рис. 21.24. Инструмент отображается во фрезерном шпинделе вместе с 3D-держателем

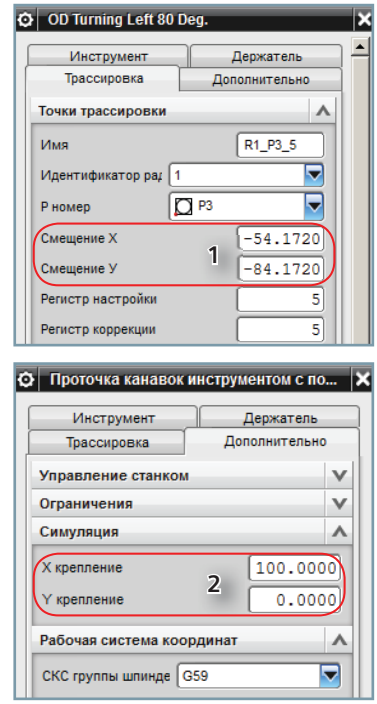


Рис. 21.25. Дополнительные настройки смещения используются для задания положения режущей части относительно станка

дополнительные настройки (рис. 21.25): смещение точки трассировки относительно системы координат крепления инструментальной ячейки (1) и смещение держателя для инструмента (2), заданного параметрически (это в основном актуально для токарных резцов, у которых нет понятия оси инструмента).

Замена компонента

Дальнейшая наша задача – выполнить обработку детали из предыдущего параграфа на этом станке. Для этого используем команду **Замена компонента** модуля сборки.

- В навигаторе сборки выберите компонент MILLTURN_PART_4SIM и из контекстного меню выполните команду **Заменить компонент**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 21.26).
- Так как наш компонент не загружен в NX, выполните команду **Обзор** (1), выберите файл NX9_Millturn_Part.prt и нажмите **Применить**.
- NX автоматически отслеживает ассоциативные связи, поэтому появится предупреждение о разрыве связей компонента и его WAVE-копии (связанного тела) с указанием имен этих связанных тел. Скажите **ОК**.
- Для обновления этих связей выберите поочередно Связанное тело 1 (главного шпинделя) и 976 (контршпинделя) в навигаторе модели и из контекстного меню выполните команду **Изменить параметры** (рис. 21.27). Укажите новые соответствующие компоненты для замены и нажмите **ОК**.
- При замене компонента таким способом новый компонент уже назначен в геометрических группах WORKPIECE. Теперь уже модуль CAM старается автоматически обновить токарные контуры в группе TURNING_WORKPIECE. Если автоматическое обновление не срабатывает, то появляется сообщение об этом. Если оно появится, то скажите **Нет** (не обновлять). Мы будем еще перемещать компоненты и затем обновим токарные контуры явно.
- Система координат MCS_G54 определяет 0 программы для главного шпинделя, обычно ее задают по правому торцу детали. Оставим СК на прежнем месте, полагая, что она выставлена на безопасный вылет детали с учетом станка и инструментальной наладки, и переместим деталь.
- Выполните команду **Переместить компонент** модуля сборки и переместите деталь, находящуюся в главном шпинделе, на –76 мм по оси XC (необходимое расстояние можно определить командой измерения). Деталь, находящуюся в контршпинделе, переместите на –130 мм также по оси XC, чтобы СК G59_SUB находилась по левому торцу детали (с некоторым припуском).
- Обновим токарные контуры деталей. Дважды щелкните по геометрической группе TURNING_WORKPIECE. В ответ на сообщение, что объект содержит подавленную геометрию и хотите ли вы ее удалить, скажите **Да**. (Возможно новое сообщение о невозможности создания токарного контура, оно упоминалось в предыдущем параграфе. На такое сообщение скажите **Нет**, и NX предложит другой алгоритм работы, с чем следует согласиться.) Новое токарное сечение будет создано.
- Аналогично обновите токарное сечение детали для контршпинделя. Скройте отображение компонентов деталей и связанных с ними тел, чтобы увидеть результат.

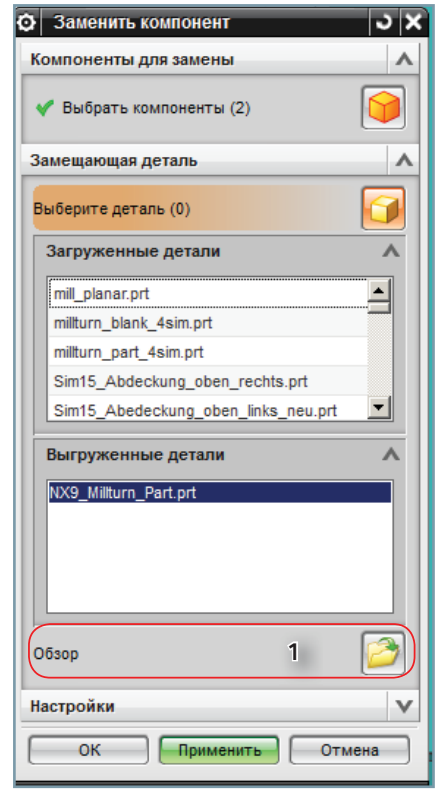


Рис. 21.26. Диалоговое окно команды Заменить компонент

Заготовку поменяем другим способом. Просто добавим новый компонент и укажем его в геометрической группе MASTER-BLANK.

- Добавьте компонент NX 9_turnmill_blank1.prt в сборку, позиционируйте его по абсолютной системе координат. Это та же заготовка, что использовалась в предыдущем параграфе. Перезадайте новый компонент как заготовку в группе MASTER-BLANK.
- Скройте отображение компонента заготовки. Должно быть как на рис. 21.28.
- Статус операций в **Навигаторе операций** изменился на **Требуется пересчет**.
- Это вполне логично, так как сменились обрабатываемая деталь и заготовка.

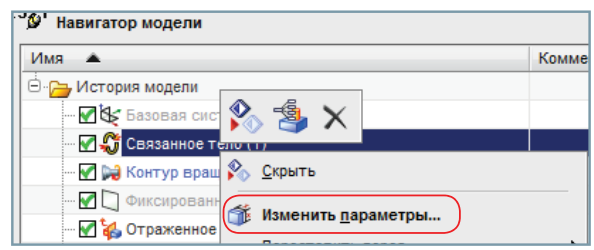


Рис. 21.27. Расположение команды Изменить параметры

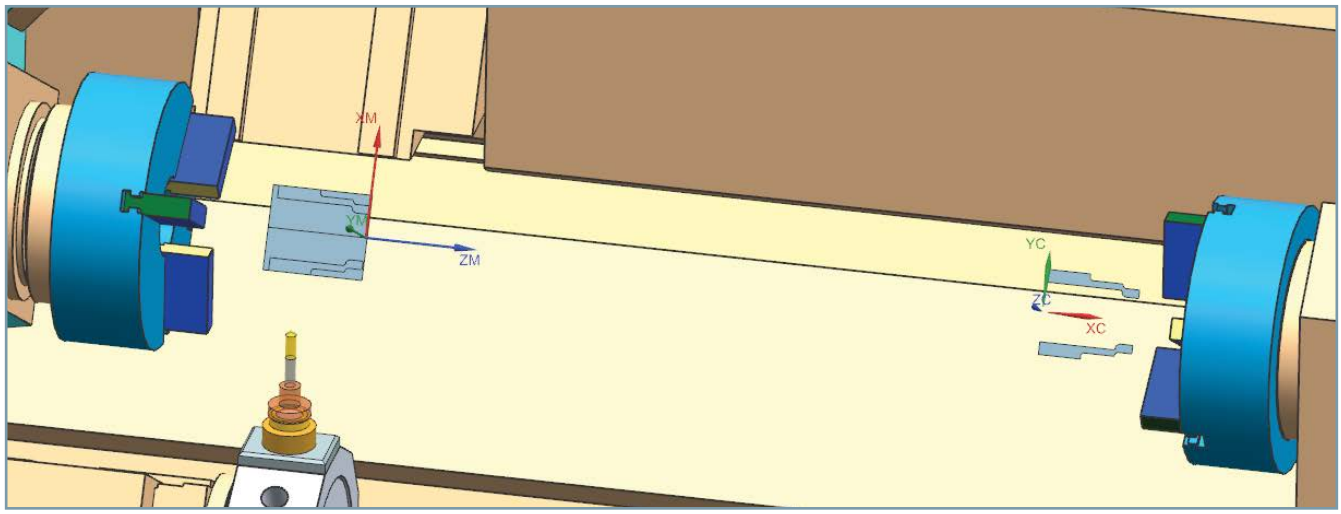


Рис. 21.28. Деталь и заготовка перезаданы на станке на новые

Обновление операций и новые операции

- Обновите операции, руководствуясь примером из начала этой главы.
- По возможности, используйте инструменты, уже установленные на станок. Некоторые операции можно просто перегенерировать (например, CENTERLINE_SPOTDRILL), для других надо проверить область резания и перезадать ограничения (например, FACING), если необходимо.
- Некоторые надо создать заново.

Можно использовать копирование операций из проекта NX9_Millturn_Part_setup_2fin.prt. Однако будьте внимательны, операции копируются вместе со своими родительскими объектами, в том числе инструментами. Инструменты в том проекте были заданы без учета системы крепления. При копировании они окажутся в револьверной головке, их надо перенести во фрезерный шпиндель (работу с револьверной головкой рассмотрим позже) и дать им новый уникальный номер.

- Обратите внимание на операцию, которая будет перед операцией PARTOFF (на виде программ), в нее надо скопировать события пользователя из операции FACE_MILLING_AREA, которые обеспечивают перехват детали.
- Одна из инструкций (G0 G53 Z3=-1215.5) указывает перемещение контршпинделя при перехвате детали, значение перемещения надо также скорректировать, так как у нас изменилось расстояние между деталями (после замены компонентов).

Перед выполнением симуляции, возможно, понадобится перезадать заготовку в Навигаторе станка. Заготовку мы добавили как компонент, а не методом замены, поэтому она как компонент кинематики не обновится автоматически.

- Альтернативно можно открыть проект sim15_millturn_book_setup2fin.prt, где это уже сделано.

На примере операции SOLID_PROFILE_3D для обработки одной грани шестигранника (операция аналогична показанной на рис. 21.8) рассмотрим влияние события пользователя на вывод координат в УП и на симуляцию обработки. Теоретически мы это обсуждали и ранее, но сейчас у нас есть настроенный постпроцессор, связанный с загруженным станком.

- Выполните симуляцию обработки только для этой операции. Как можно видеть, ось C главного шпинделя не используется.
- Добавьте событие пользователя Set TRANSMIT к операции (рис. 21.29) и нажмите **OK**.

Этот функционал предназначен для выполнения фрезерных операций на токарных деталях. Часто станки не имеют оси Y или ход по ней ограничен, использование поворотной оси снимает это ограничение.

- Операцию можно не перегенерировать, так как новое событие пользователя будет применяться на стадиях постпроцессирования и симуляции.

- Выполните симуляцию обработки этой операции снова. Как можно видеть, ось C станка теперь используется в обработке.

Операция FLOOR_WALL для обработки наклонной грани (операция аналогична показанной на рис. 21.12) использует другой механизм задания трансформации координат. Для задания трансформации применяется специальная родительская система координат MILL_ROT (рис. 21.30), где **Специальный вывод** задан как **Вращение СК.** Операция наследует эти настройки, а постпроцессор обеспечивает вывод команд трансформации (рис. 21.31).

- Выполните указанные настройки и постпроцессируйте операцию.

Использование револьверной головки

В нашем примере имеется один инструментодержатель, установленный в револьверную головку, – RADIAL_MILL_TOOLHOLDER_1. Используем его для создания операции сверления. Однако в нем установлено сверло неподходящего диаметра.

- Переместите инструмент UGT0321_009, установленный в револьверную головку, в группу **Неиспользуемые объекты**, а на его место переместите инструмент UGT0321_008, который уже имеется в проекте.

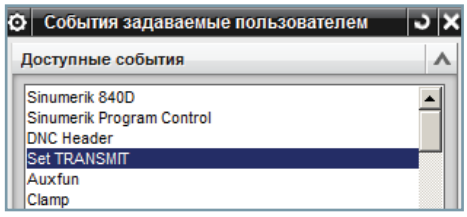


Рис. 21.29. Событие пользователя TRANSMIT используется в операции для преобразования координат

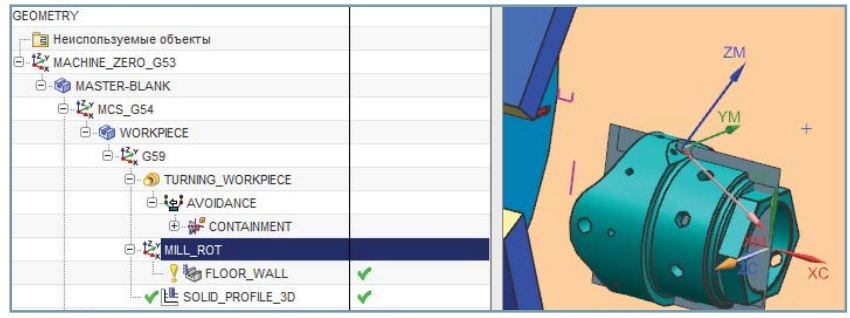


Рис. 21.30. Для задания трансформации используется специальная система координат MILL_ROT

```
N120 D23
N130 ATRANS X58.738 Y0.0 Z-84.449
N140 AROT Z0.0
N150 AROT Y60.
N160 AROT Z180.
N170 G0 G90 X-20.53 Y-.634 Z57.349 S1=2000 D23 M1=3
N180 ;Approach Move
N190 Z3.
N200 ;Engage Move
N210 G94 G1 Z0.0 M8 F250.
N220 X-9.548 Y0.0
N230 ;Cutting
N240 X-9.329 Y-3.785
```

Рис. 21.31. Постпроцессор обеспечивает вывод команд трансформации в УП

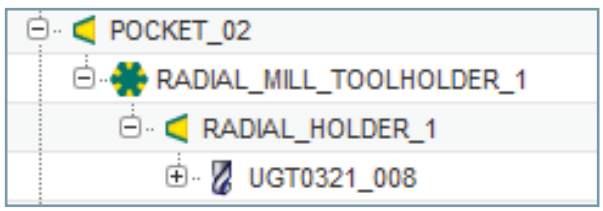


Рис. 21.32. Позиция установки нового инструмента

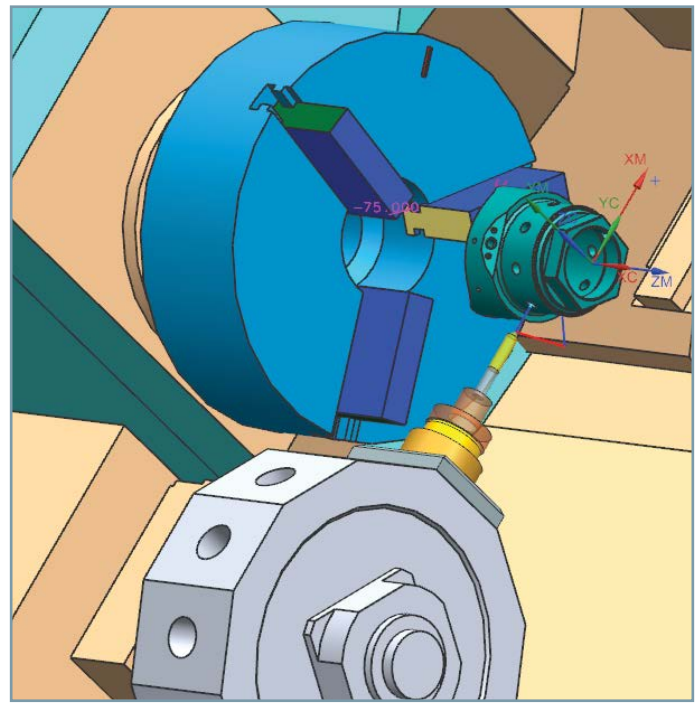


Рис. 21.33. Операция радиального сверления, выполняемая револьверной головкой

- Позиция установки показана на рис. 21.32. Как можно видеть, этот инструментодержатель имеет свою ячейку для установки инструмента.
- Создайте операцию сверления, как показано на рис. 21.33, с использованием этого инструмента. На рисунке дан вариант операции только для двух отверстий.
- Добавим новый инструментодержатель. Для этого на **Виде Станка Навигатора операций** выберите название станка и из контекстного меню выполните команду **Изменить**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 21.34).

Этой же командой мы загружали или изменяли станок в главе 15.

- Выполните команду **Вызвать устройство из библиотеки** (1), в новом диалоговом окне укажите класс устройства – Toolholder и нажмите **ОК**.
- Появится новое диалоговое окно (рис. 21.35).

В общем случае устройства могут быть несовместимы со станком, так как они отличаются способом установки и крепления на станке. В стандартной поставке NX 9.0 имеется несколько устройств, которые можно установить на наш станок (2). Модели устройств по умолчанию находятся в папке ...\MACH\resource\library\device\graphics. Как и для инструмента, есть определенные соглашения по ориентации 3D-моделей относительно систем координат и другие требования, детали смотрите в документации.

- Выберите Sim15_axial_mill и нажмите **ОК**.

Это держатель для установки сверл или фрез в осевом направлении. Держатель будет установлен в первую свободную ячейку револьверной головки, в нашем случае это ячейка номер 1. Этот инструментодержатель имеет две ячейки для установки инструмента – можно его использовать с ориентацией вправо или влево. В навигаторе операций (рис. 21.36) можно видеть структуру расположения компонентов: револьверная головка в целом называется LOWER_SPINDLE (1), в ее первой ячейке POCKET_01 (2) установлен инструментодержатель AXIAL_MILL_TOOLHOLDER (3), который имеет две ячейки для установки инструмента – AXIAL_HOLDER1 (4) и AXIAL_HOLDER2.

- Создайте копию инструмента UGT0201_008 и поместите ее в держатель AXIAL_HOLDER1.
- В графической области держатель с инструментом будет выглядеть как на рис. 21.37.
- На рисунке видны обозначения трех систем координат. Это так называемые системы координат крепления (Junction – термин, используемый при настройке кинематики).
- Они используются для автоматического позиционирования приспособления (держателя) на станке и инструментов в держателе. Библиотечные 3D-инструменты и приспособления их обязательно содержат.

Мы используем копию инструмента, а не оригинал, так как в дальнейшем переопределим одну операцию, где он будет использоваться. Другие операции могут использовать иную ориентацию инструмента, и лучше их выполнить с использованием фрезерного шпинделя.

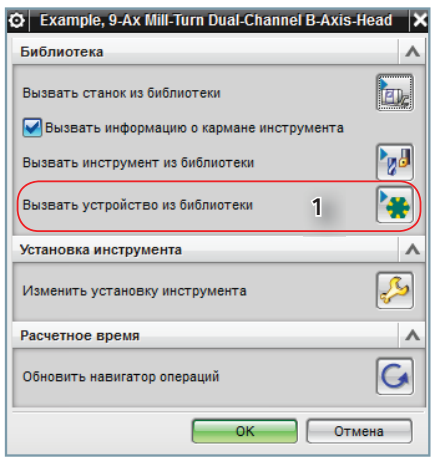


Рис. 21.34. Расположение команды Вызвать устройство из библиотеки

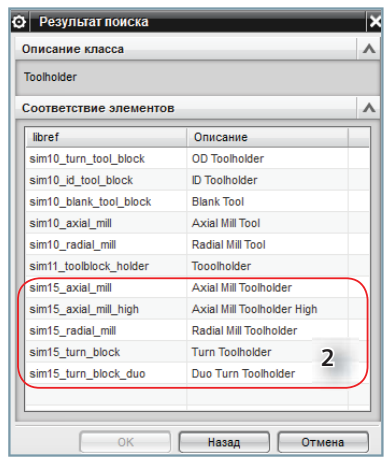


Рис. 21.35. Имена устройств, совместимых со станком, начинаются с sim15

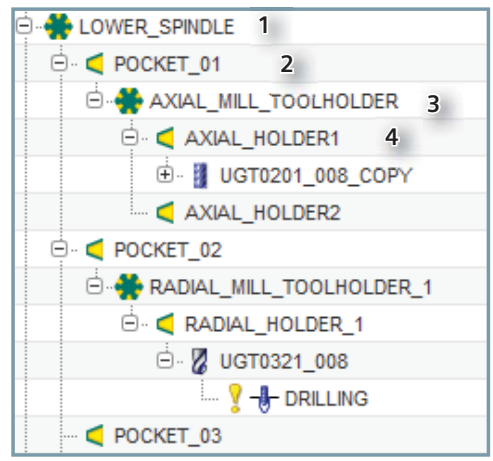


Рис. 21.36. Структура расположения компонентов РГ – инструментодержатель

- Еще раз выполните команду **Вызвать устройство из библиотеки** и выберите держатель SIM15_TURN_BLOCK.
- Устройство автоматически позиционируется. Переместите его в позицию 4 револьверной головки. Переместите инструмент UGT0111_001 в этот держатель.
- Задайте ориентацию держателя и необходимые смещения так, чтобы инструмент был установлен как на рис. 21.38. На этом рисунке также видны системы координат крепления.
- Именно от системы координат крепления инструмента и задаются смещения в диалоговом окне инструмента на вкладке **Дополнительно** – **Симуляция**.

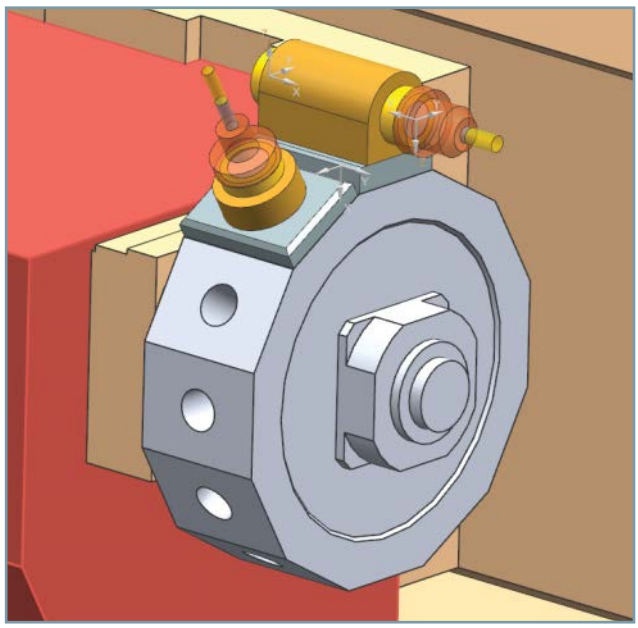


Рис. 21.37. Держатель с инструментом, установленный в РГ

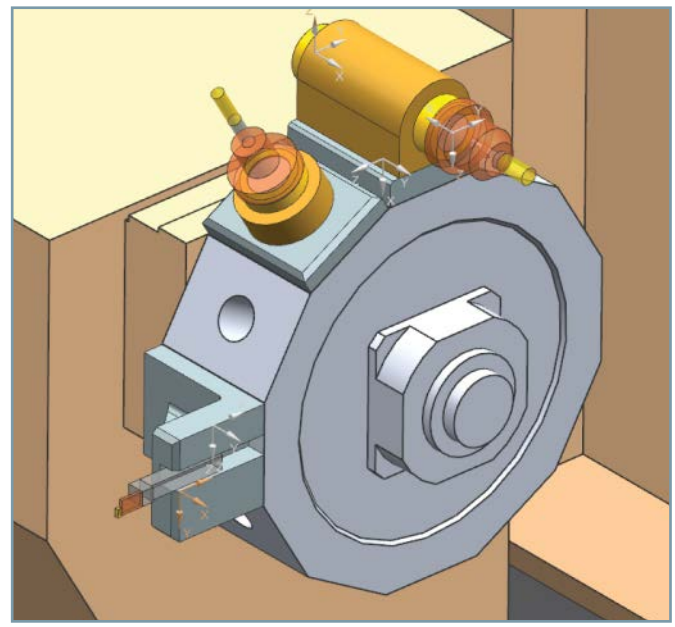


Рис. 21.38. Возможно редактирование ориентации держателя и смещений установки

Перед выполнением симуляции надо проверить, нет ли одинаковых номеров инструментов. Впрочем, симулятор выдаст предупреждение, если имеются одинаковые номера инструментов и если не задано число оборотов шпинделя в операциях.

- Переопределите инструмент в операции CAVITY_MILL на UGT0201_008_COPY и выполните симуляцию этой операции (рис. 21.39).
- Добавьте к операции событие пользователя Set TRANSMIT и повторите симуляцию. В этом случае в обработке используется ось С контршпинделя.
- Мы закончили работу с этим примером.

Менеджер синхронизации

В NX имеется специальный модуль, обеспечивающий параллельную работу нескольких рабочих органов токарно-фрезерного многофункционального станка. Модуль интегрирован с симуляцией станка. Для данного станка речь идет о параллельной работе фрезерного шпинделя и револьверной головки. Данный функционал позволяет максимально поднять производительность станка, упростить процесс изготовления за счет минимизации переустановов детали, в ряде случаев отказаться от дополнительной технологической оснастки, например люнета, за счет одновременной работы двух резцов с компенсацией взаимного отжатия детали и т. п.
Рамки книги не позволяют рассмотреть эту тему подробно, поэтому разберем ее на примере из стандартной поставки NX 9.0.

- Установите **Опции загрузки сборки** в значение **Из каталогов поиска** и добавьте папку MACH... в список путей поиска.
- Откройте пример sim15_millturn_setup_sinumerik_mm_dual_sync.prt из папки ...\MACH\samples\nc_simulation_samples (рис. 21.40).

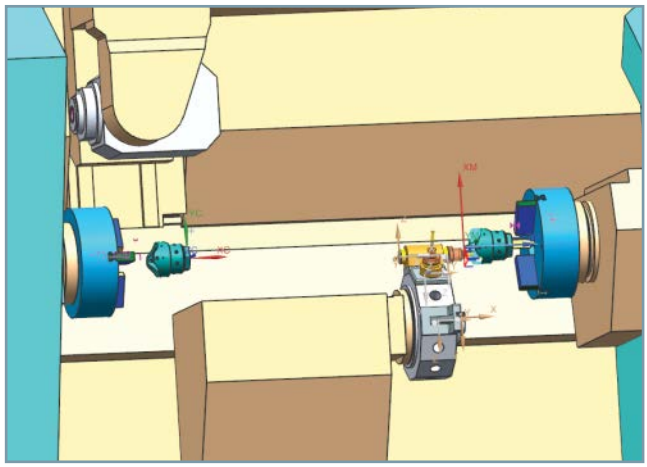


Рис. 21.39. Симуляция фрезерной операции, выполняемой в контршпинделе

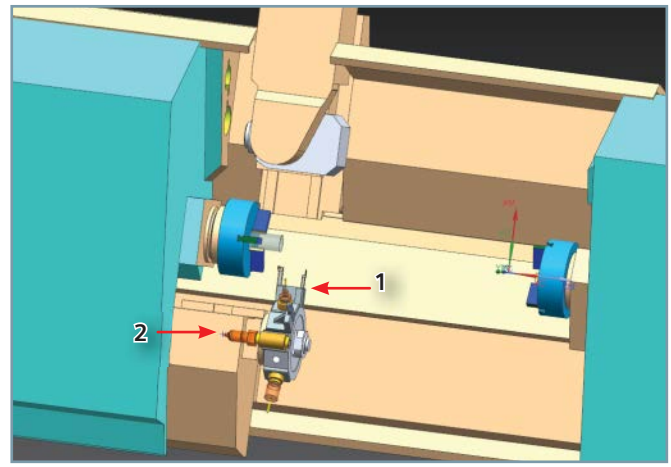


Рис. 21.40. Пример из стандартной поставки NX для иллюстрации использования менеджера синхронизации

В этом примере будут также использоваться держатель для установки двух резцов одновременно (1) и задний центр, установленный в одну из позиций револьверной головки (2). Также контршпиндель будет применяться для перестановки прутка (заготовки) в токарном патроне.

- Запустите менеджер синхронизации из контекстного меню программной группы SYNCH-GROUP – **Траектория – Синхронизация** (рис. 21.41).
- Появится новое диалоговое окно (рис. 21.42).

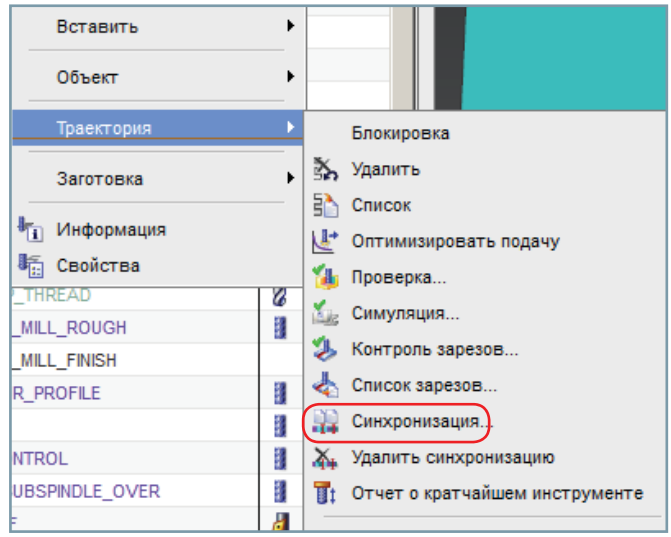


Рис. 21.41. Менеджер синхронизации запускается из контекстного меню программной группы

Признак синхронизации связывается именно с программной группой. При необходимости он может быть удален также из контекстного меню. При попытке запустить просто симуляцию для синхронизированной программной группы или операции происходит автоматический переход в **Менеджер синхронизации**. Поскольку симуляция в NX выполняется в кодах УП, в момент открытия менеджера синхронизации происходит постпроцессирование траекторий, и это может занимать некоторое время.

Панель управления симуляцией (1) находится в средней части окна. Там же есть команды **Показать 3D удаление материала** (2) и **Опции симуляции** (3), аналогичные тем, что были рассмотренны в главе 15. Этих команд достаточно, чтобы выполнить симуляцию готового проекта.

Операции распределены по каналам (рабочим органам станка, 4 и 5), и в процессе настройки синхронизации вставлены метки синхронизации (показаны зеленым цветом); метки ставятся в случае, если выполнение операций одного из каналов нежелательно для другого канала (например, существует опасность столкновения). Столбцы **Шпиндель** предназначены для указания шпинделя, на котором выполняется операция. Метки при постпроцессировании обеспечивают вывод команд ожидания в текст УП. Текст УП для каждого канала показан в отдельном окне (6 и 7), там же дается текущая информация по координатам, режимам резания и т. п. Левая колонка показывает Время обработки. В нижней части окна имеется вкладка **Временной график** (8), которую можно развернуть для показа временного графика и оценки степени запараллеливания операций. В верхней части окна имеется панель инструментов (9), которую рассмотрим на отдельном рисунке (рис. 21.43).

Временной график показан на рис. 21.44.

- Включите опцию **Показать 3D удаление материала** и выполните симуляцию.
- В процессе симуляции обратите внимание на параллельную работу двух резцов (рис. 21.45), на использование заднего центра для закрепления заготовки (рис. 21.46).

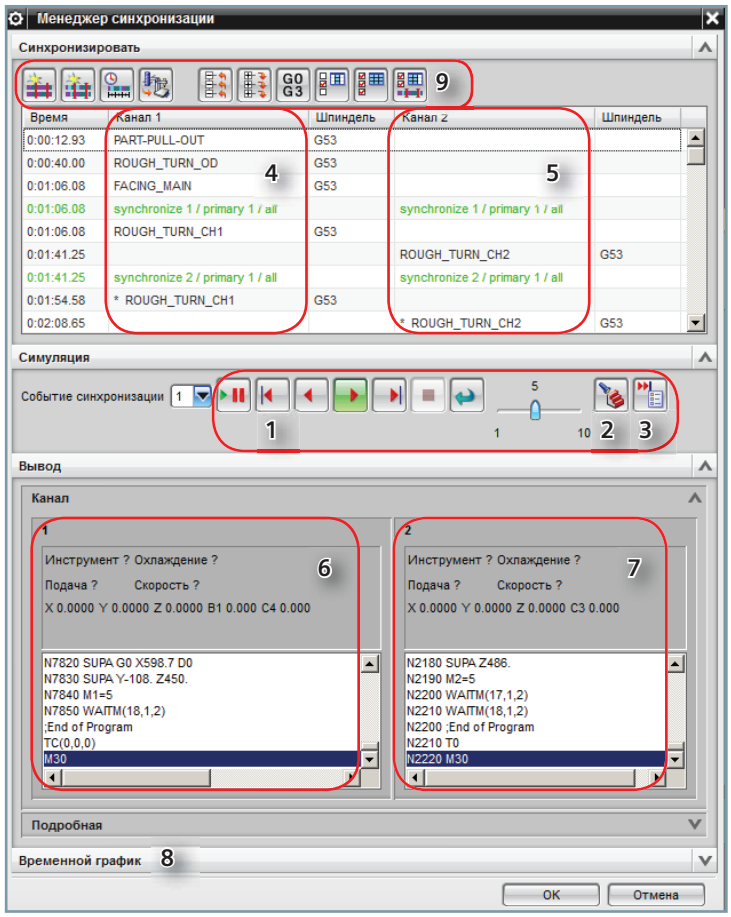


Рис. 21.42. Диалоговое окно менеджера синхронизации

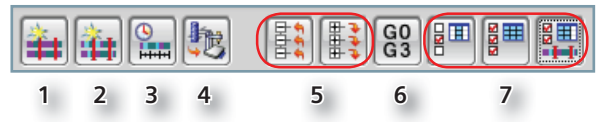


Рис. 21.43. Верхняя панель инструментов менеджера синхронизации: 1 – Вставить событие синхронизации (ожидание другого канала); 2 – Вставить событие задержки; 3 – Пересчитать время; 4 – Постпроцессировать; 5 – Свернуть/развернуть строки; 6 – Показать в кодах УП (используется при синхронизации на уровне кадров УП, иначе – на уровне операций); 7 – Команды конфигурирования отображения столбцов и меток (полезно для станков, имеющих более двух каналов)

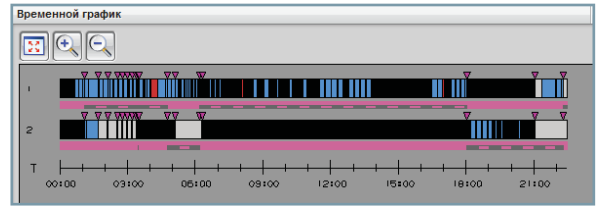


Рис. 21.44. Временной график работы каналов (рабочих органов) станка

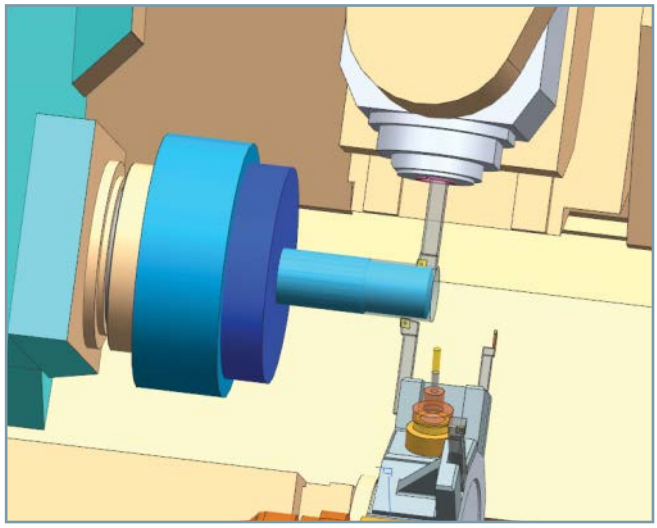


Рис. 21.45. Параллельная работа двух резцов при симуляции

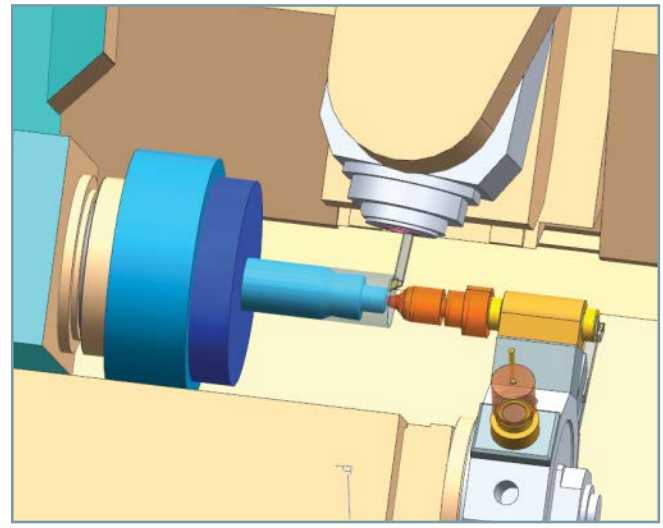


Рис. 21.46. Использование заднего центра при симуляции

Глава 22

Интеграция NX CAM и Teamcenter. Применение данных в производстве

Содержание главы

- Базовые настройки
- Пример обработки детали в NX CAM в среде Teamcenter®
- Отображение производственных данных в TC и NX CAM
- Применение данных в производстве

Интеграция NX CAM и Teamcenter. Применение данных в производстве

В общекорпоративном масштабе NX CAM можно рассматривать как составную часть единой интегрированной платформы, позволяющей управлять всеми данными конструкторско-технологической подготовки производства, а также обмениваться информацией с производственными системами.
Решение от компании Siemens PLM Software предлагает использование интегрированной платформы на базе собственной линейки продуктов, которые охватывают все процессы жизненного цикла изделия от подготовки 3D-модели детали до проверки качества ее изготовления (рис. 22.1).

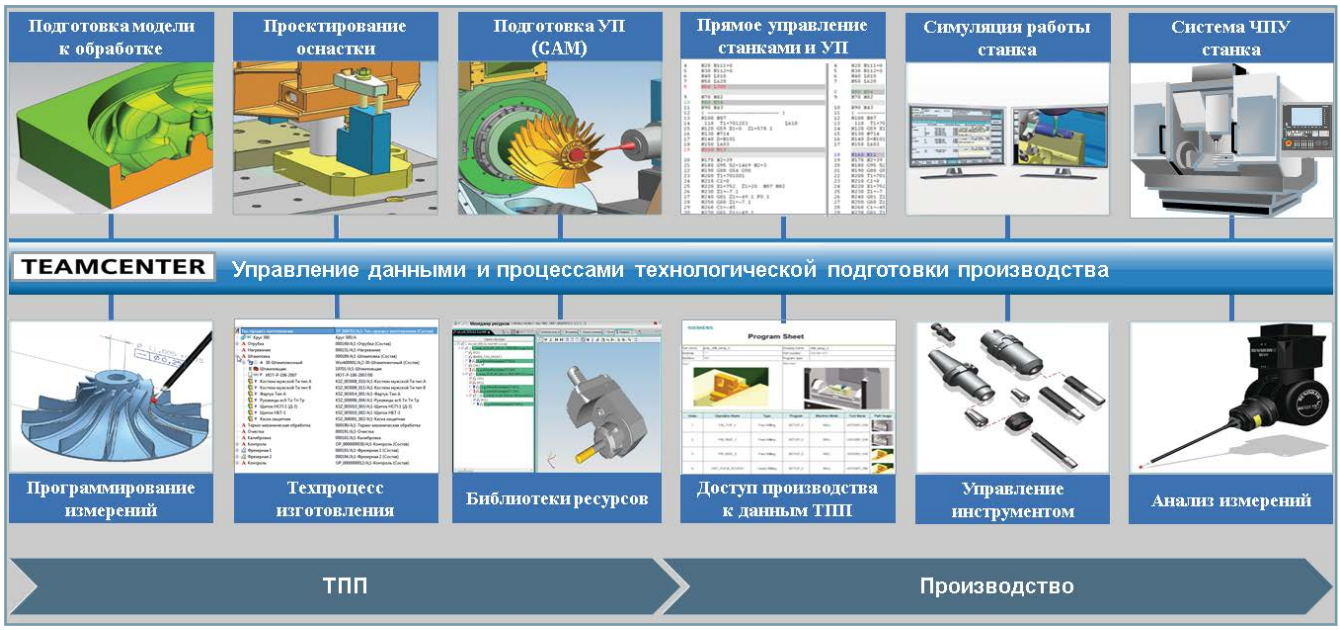


Рис. 22.1. Решения Part Manufacturing

В основе платформы лежит PLM-система Teamcenter для управления инженерными данными. Преимущества такого решения – в централизации данных, использовании единых ресурсов и шаблонов, легком доступе всех служб к данным, своевременном реагировании на внесенные изменения и обновления данных, а также возможности передачи данных в производство, в том числе на станки с ЧПУ.
Совместная работа NX CAM и Teamcenter позволяет использовать при подготовке управляющих программ библиотечные ресурсы и шаблоны из Teamcenter, а также сохранять все данные внутри соответствующей операции технологического процесса.

Примечание: некоторую путаницу может вызывать термин Операция: в Teamcenter это операция ТП на уровне маршрутной технологии. Связанный с этой операцией проект в NX CAM может содержать много операций по обработке конкретных элементов, в NX это определенная функция системы для расчета траектории.

Технологический процесс изготовления детали создается в модуле **Планировщик процессов изготовления** системы Teamcenter. В общем случае процесс описывается соответствующим маршрутом изготовления, а затем каждый элемент маршрута описывается соответствующими технологическими операциями (рис. 22.2).
Операция, связанная с обработкой в среде NX CAM, задается специальным типом объекта **Операция с ЧПУ** (1) (рис. 22.3). Объект содержит внутри себя одну или несколько модификаций (2). Номер модификации операции (A, B, ...) обычно соответствует номеру модификации детали, предназначенной для обработки и связанной с данной операцией (5). Сам проект обработки, созданный в среде NX CAM, хранится в наборе данных типа UGMASTER (3). В составе (4) операции обработки создаются все связанные с ней данные. Это обрабатываемая деталь, заготовка, оснастка, станок, инструмент и другие общетехнологические ресурсы. Пример отображения операции обработки с входящими компонентами и их 3D-визуализаций представлен на рис. 22.4. Возможность графической визуализации данных встроена в оболочку Teamcenter.
Операция с ЧПУ наравне с другими операциями, создаваемыми в Teamcenter, содержит и переходы. В терминологии Teamcenter – рабочие действия (рис. 22.5). Рабочие действия, связанные непосредственно с процессом обработки

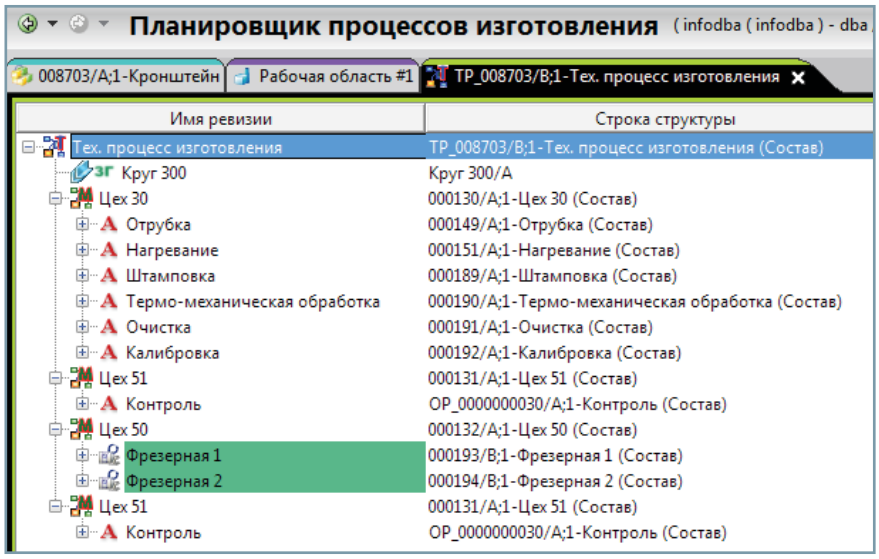


Рис. 22.2. Модуль – планировщик процессов изготовления

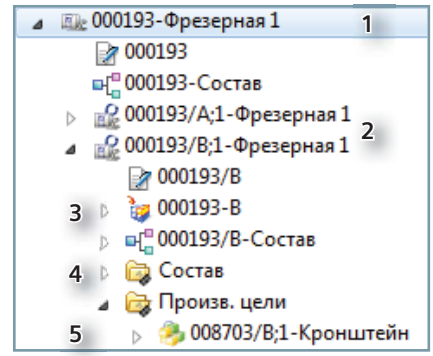


Рис. 22.3. Объект Операция с ЧПУ

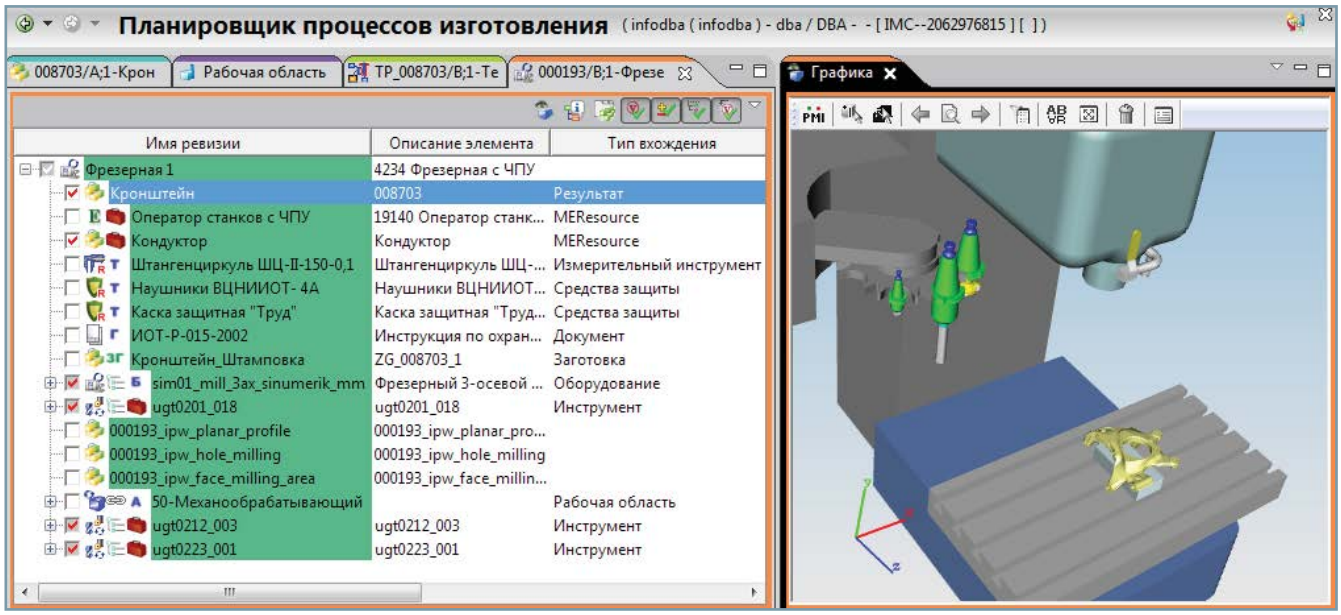


Рис. 22.4. Пример технологической операции с вложенными данными

в NX CAM, определяются объектами определенных типов: MENCProgram и MENCToolActivity. Эти объекты содержат как описательную часть (время, список инструмента, номер инструмента), так и данные по обработке (карты наладки, NC-программа) и создаются системой автоматически при сохранении проекта обработки в NX.

Также внутри операции с ЧПУ могут быть и рабочие действия (переходы), определяющие подготовительно-заключительные работы (установка заготовки, крепление к плите, снятие заготовки и т. д.). Общее время работы с учетом всех типов рабочих действий и их продолжительности определяется на уровне самой операции. А общее время и последовательность изготовления с учетом всех операций определяются на уровне технологического процесса в целом и могут быть подсчитаны и проиллюстрированы в виде наглядных диаграмм Ганта и Перта (рис. 22.6).

В общем случае при работе в NX CAM под управлением Teamcenter системы обмениваются между собой данными и информацией в синхронном режиме. Все производственные ресурсы, такие как станки, инструменты, технологическая оснастка, хранятся в базе данных Teamcenter и загружаются в проект NX CAM при создании управляющей программы. А данные по обработке, созданные в процессе работы средствами NX CAM (NC-программа, цеховая документация, время обработки), сохраняются в Teamcenter.

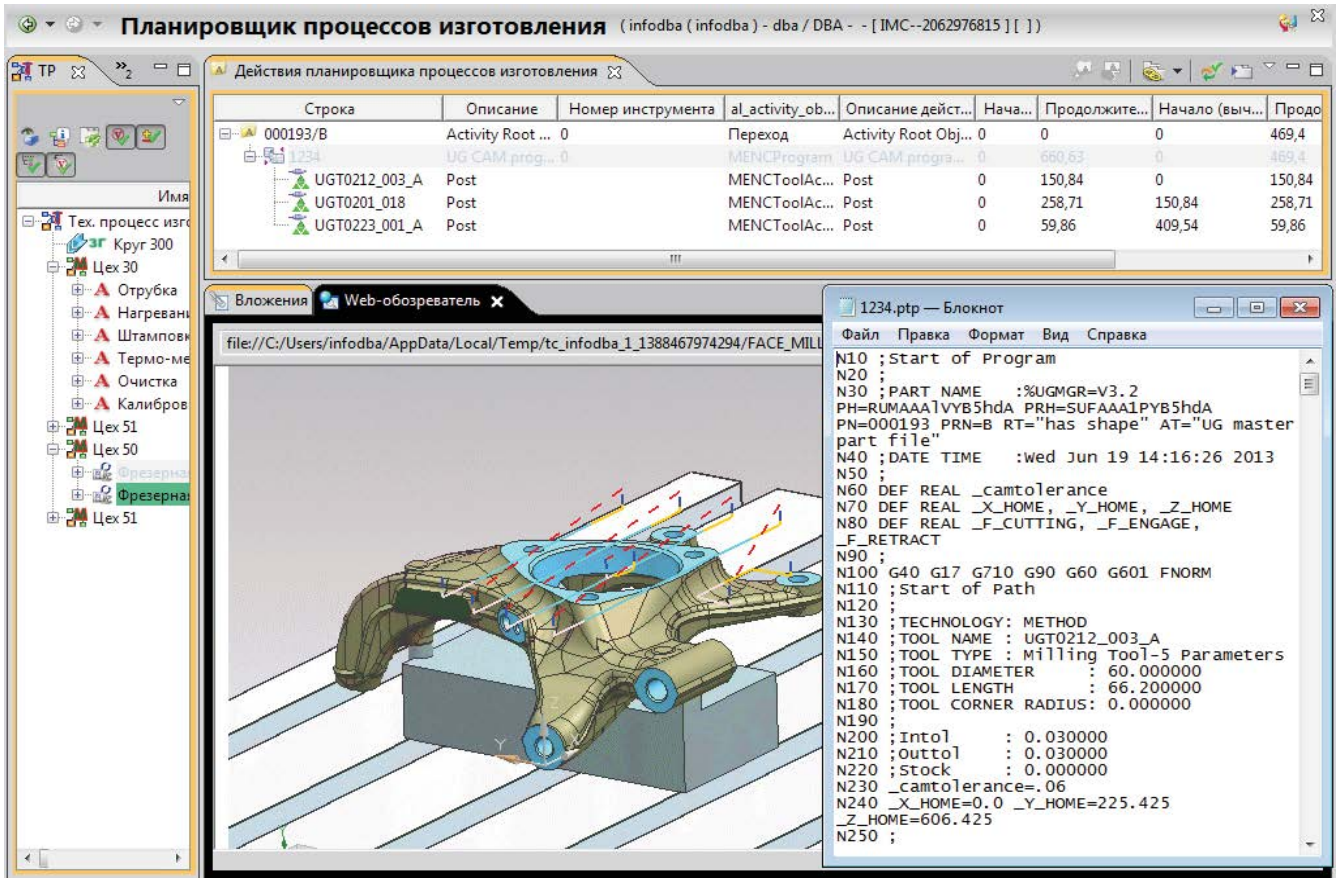


Рис. 22.5. Данные по обработке в Teamcenter

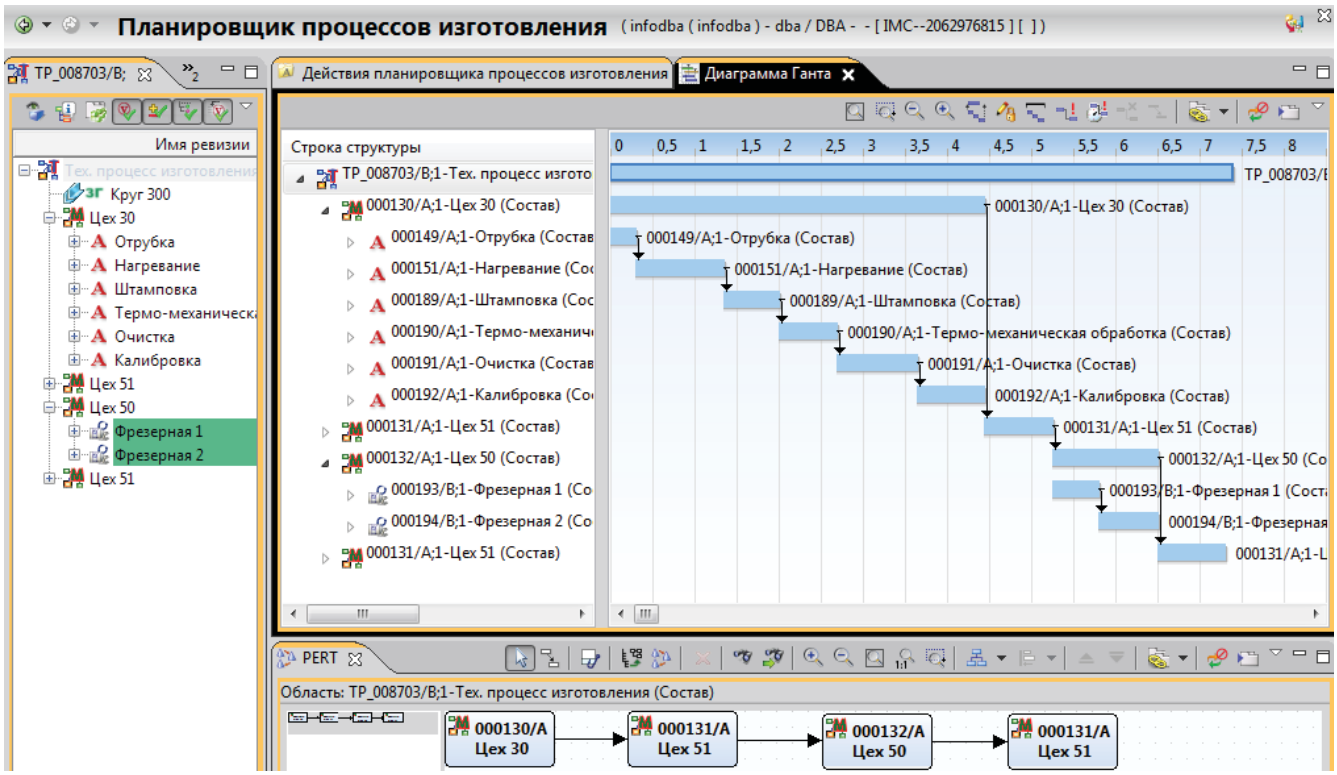


Рис. 22.6. Пример технологического процесса в виде диаграмм

Базовые настройки

Работа в NX CAM под управлением Teamcenter предполагает использование конфигураций, отличных от работы в локальной среде. Конфигурация определяется специальным текстовым файлом, хранящимся в каталоге %UGII_BASE_DIR%\MACH\resource\configuration.
Для использования совместно с библиотекой ресурсов MRL (подробнее о MRL рассказывается в главе 23) следует выбирать конфигурацию cam_part_planner_mrl.dat.
Просмотр и изменение текущей активной конфигурации доступен в диалоговом окне **Настройки обработки** системы NX, при вызове команды **Файл** – **Обработка** (рис. 22.7).
Рабочие наборы шаблонов обработки, подходящие для работы совместно с Teamcenter, хранятся в файле cam_teamcenter_general.opt в каталоге %UGII_BASE_DIR%\MACH\resource\template_set.
Сами шаблоны обработки хранятся в Teamcenter (рис. 22.8). Загрузить шаблоны можно из дистрибутива ресурсов библиотеки MRL, выбрав соответствующий раздел в процессе установки. Также новые версии шаблонов можно взять из каталога %UGII_BASE_DIR%\MACH\resource\template_part и загрузить их, используя стандартный механизм импорта данных в Teamcenter из интерфейса NX.

Примечание: все работы по установке и добавлению новых шаблонов должны выполняться специально уполномоченным пользователем с соответствующими правами доступа в системе Teamcenter.

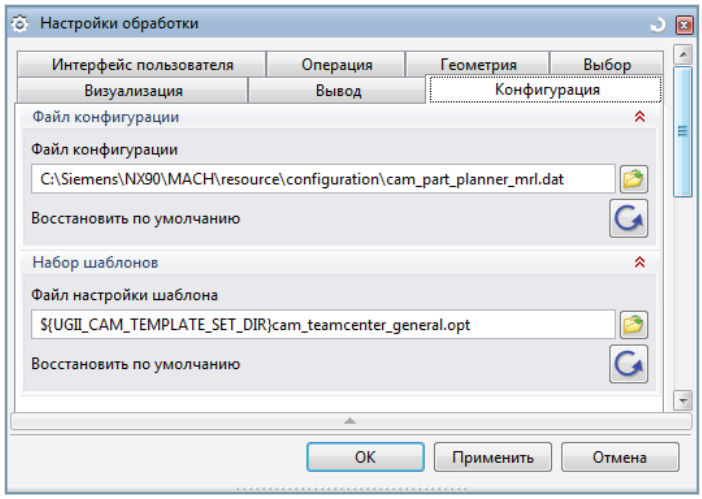


Рис. 22.7. Диалоговое окно Настройки обработки

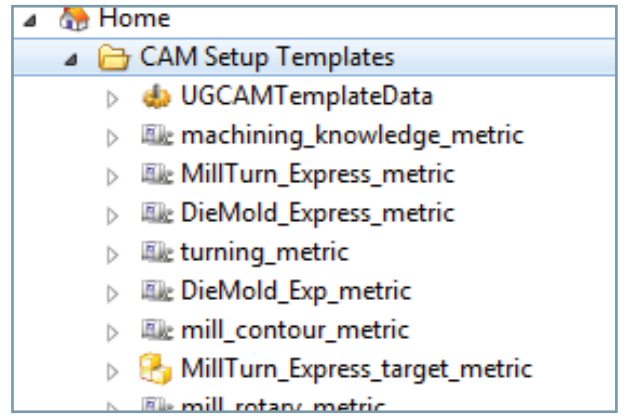


Рис. 22.8. Список шаблонов в Teamcenter

По умолчанию все шаблоны обработки загружаются в папку CAM Setup Templates. Кроме самих шаблонов, там же располагается и набор данных UGCAMTemplateData, в котором хранится dat-файл, описывающий каждый шаблон и необходимый для организации доступа к шаблонам из CAM-среды. В целях ускорения работы возможно создание собственных шаблонов обработки, заранее включающих некоторые ресурсы, например станок, оснастку или инструмент. Процесс создания собственных шаблонов удобнее начинать на базе существующих. Рассмотрим создание собственного шаблона на примере одного из распространенных стандартных шаблонов обработки mill_planar_assy_metric.
Откроем шаблон в NX (рис 22.9). Шаблон представляет собой сборку, состоящую из одного компонента mill_planar_target_metric. Компонент mill_planar_target_metric входит в шаблон mill_planar_assy_metric с типом вставки Target, что видно из окна свойств компонента. Тип вставки Target означает, что при инициации шаблона этот компонент заменится на целевую деталь для обработки. Примитивная 3D-геометрия, хранящаяся в компоненте mill_planar_target_metric, используется для позиционирования ресурсов.
Для создания собственного шаблона выполним в NX команду **Сохранить как**. В диалоговом окне команды (рис. 22.10) необходимо выбрать действие **Новая запись**, выбрать папку для расположения создаваемого шаблона (в общем случае **CAM Setup Templates**), а также ввести обязательные атрибуты, соответствующие идентификатору создаваемого объекта, номеру модификации и его имени. Значение идентификатора объекта должно быть уникальным в пределах всей базы объектов Teamcenter. После выполнения данной команды создастся новый объект с шаблоном обработки.
Добавим во вновь созданный шаблон станок из стандартной поставки классификатора MRL. Для этого выполним действия, аналогичные описываемым в разделе «Подключение модели станка» главы 15. Обратим внимание на диалоговое окно **Результаты поиска** (рис. 22.11), где в графе **Библиотечная ссылка** добавлен через слэш (косая черта) номер модификации станка, подтверждающий, что работа ведется в среде Teamcenter и выполнено обращение к классификатору

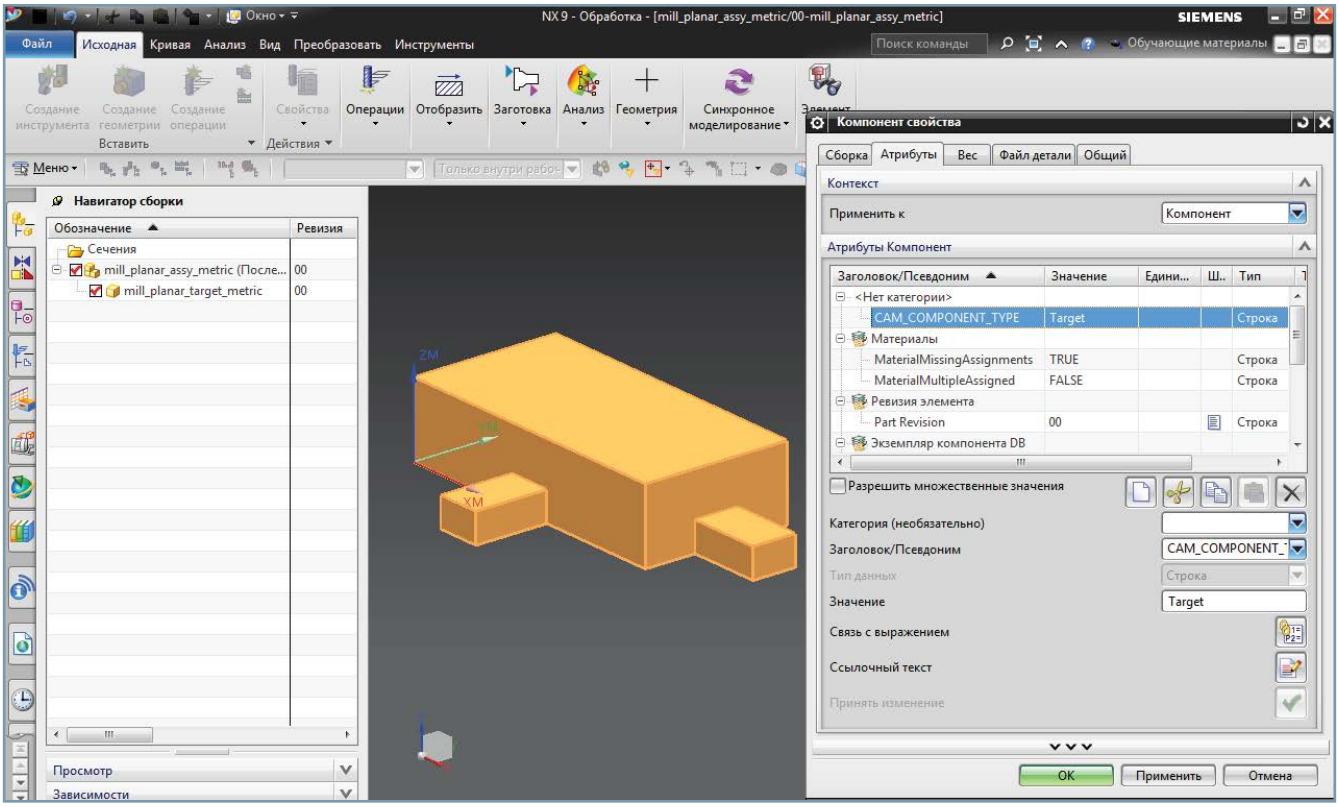


Рис. 22.9. Шаблон mill_planar_assy_metric

Teamcenter. Выберем станок sim01_mill_3ax_sinumerik_mm/A – станок компоновки 1, фрезерный 3-осевой, система ЧПУ Sinumerik, метрическая система. В следующем диалоговом окне в разделе **Позиционирование** выберем команду **Использовать точку крепления детали** и средствами системы NX позиционируем 3D-геометрию шаблона для установки на стол станка (так как шаблон создается на основе стандартного, то по умолчанию оси и их направление уже выставлены правильно). После выполнения команды в шаблон будет добавлен станок с правильно позиционированной геометрией на столе (рис. 22.12). После создания станка выделим его в меню **Навигатор операций** и перейдем в контекстное меню, нажав правую клавишу мыши. Выполним команду **Объект** – **Настройки шаблонов**. В открывшемся диалоговом окне сделаем активными оба параметра и нажмем **ОК** (рис. 22.13). Те же действия выполним и для компонентов станка: TOOL_MAGAZINE и POCKET_01...08. Сохраним шаблон, выполнив соответствующую команду.

Чтобы шаблон обработки был доступен для использования, его необходимо дополнительно описать в наборе данных UGCAMTemplateData. Для этого нужно выполнить команду **Файл** – **Экспорт** – **Шаблон настроек**. В диалоговом окне **Выбор класса библиотеки** выберем класс **GENERAL** и нажмем **ОК**. Откроется следующее диалоговое окно **Атрибуты шаблона**. В разделе **Описание шаблона детали** введем описание, характеризующее созданный шаблон, например **Сборка со станком 3-ax sinumerik**, и нажмем **ОК**. В следующем диалоговом окне **Список типов шаблонов** (рис. 22.14) необходимо выбрать типы обработки, доступные для данного шаблона. Выберем только метрические шаблоны, перенесем их в верхнюю панель заданных шаблонов и нажмем **ОК**. Шаблон обработки создан и готов к использованию.

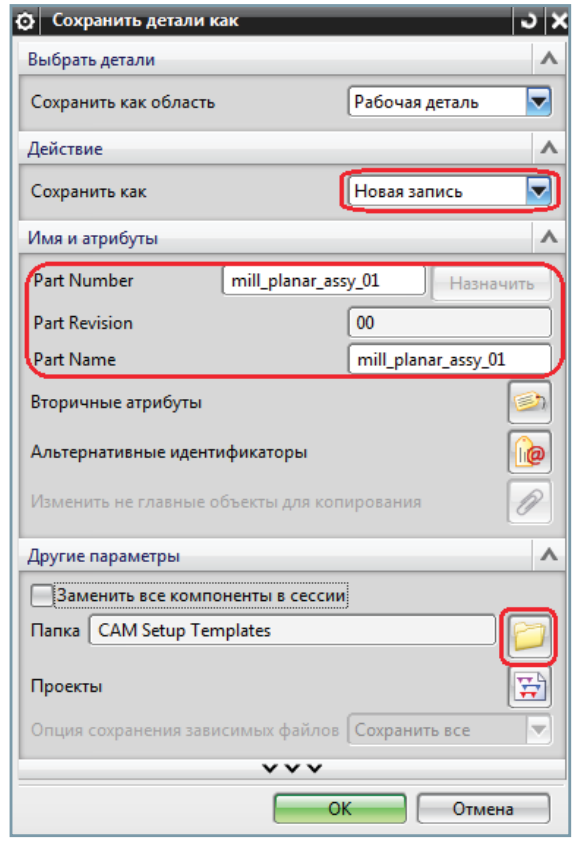


Рис. 22.10. Диалоговое окно Сохранить как

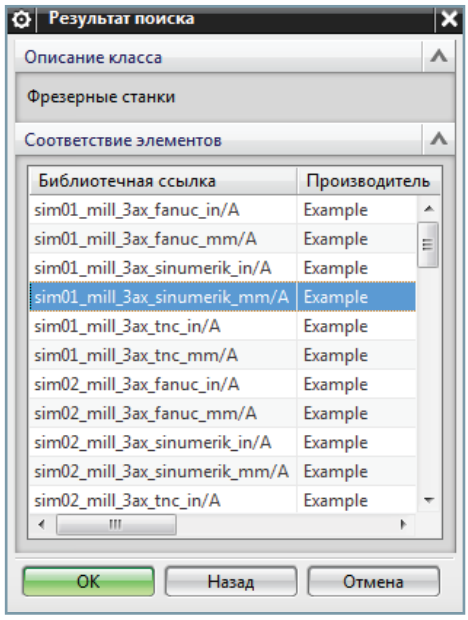


Рис. 22.11. Окно Результаты поиска

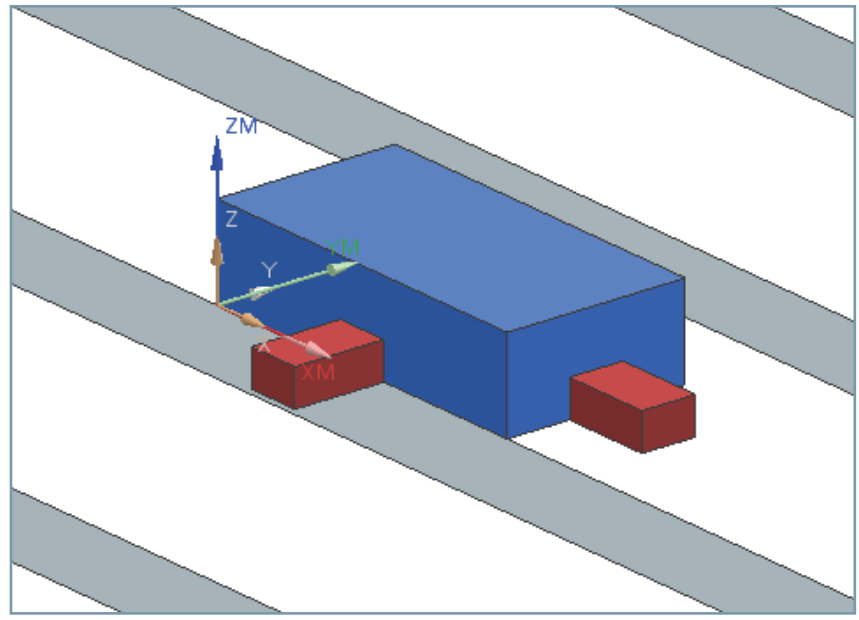


Рис. 22.12. Стол станка с геометрией

Пример обработки детали в NX CAM в среде Teamcenter

Пример обработки выполним на детали из файла game_remote.prt, предварительно загрузив ее в систему Teamcenter. В производственных условиях конструкторская деталь недоступна для изменения технологу и открывается только для чтения. Если необходимо выполнить подготовку детали к обработке, то следует создать ассоциативную WAVE-копию и вставить ее в виде компонента к проекту обработки, как это было описано в предыдущих главах книги.

В начале работы откроем деталь game_remote в NX, запущенном под управлением Teamcenter. После открытия детали выполним запуск приложения **Обработка**. В открывшемся диалоговом окне **Выбор класса библиотеки** выберем класс **GENERAL** и нажмем **ОК**. В следующем диалоговом окне (рис. 22.15) выберем созданный в предыдущем разделе шаблон **Сборка со станком 3-ах sinumerik** и нажмем **ОК**.

В процессе создания проекта обработки необходимо задать обязательные атрибуты, соответствующие идентификатору создаваемого объекта проекта обработки, номеру модификации и его имени. А также выбрать папку для расположения создаваемого проекта обработки в Teamcenter. После выполнения данного шага будет создан проект обработки с загруженным станком (рис. 22.16).

Если основание детали было расположено в начале абсолютной системы координат в плоскости X–Y, то деталь сразу встанет на стол станка. В ином случае необходимо будет позиционировать деталь (рис. 22.17).

На следующем этапе необходимо задать геометрию детали и заготовки. Выполним данное действие так же, как описано в главе 1. Еще, основываясь на анализе детали, проведенном в главе 1, примем решение о выборе инструмента для ее обработки, но инструмент будем не создавать, а выберем его из библиотеки, воспользовавшись командой **Вызвать инструмент из библиотеки** (рис. 7.1) главы 7.

При работе в среде Teamcenter и в соответствии с настройками, описанными выше, библиотека доступного для выбора инструмента подключается из классификатора Teamcenter. Выберем класс инструмента **End Mills** и с помощью критериев поиска найдем фрезу с диаметром режущей части 20 мм.

В NX встроена проверка совместимости державки инструмента со станком. Если типоразмер державки инструмента и типоразмер ячейки магазина инструмента

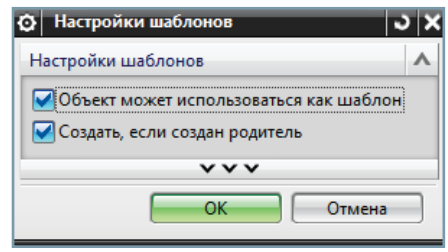


Рис. 22.13. Окно Настройки шаблонов

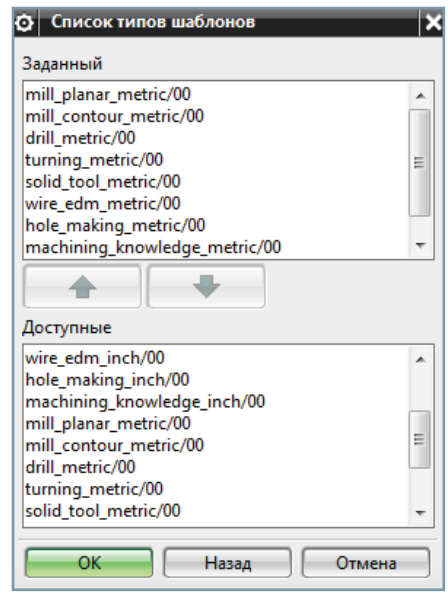


Рис. 22.14. Окно Список типов шаблонов

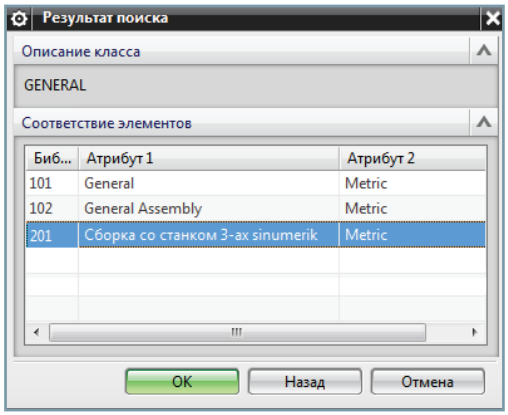


Рис. 22.15. Выбор шаблона обработки

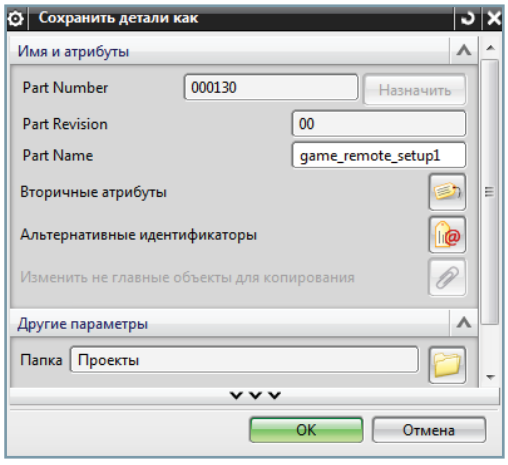


Рис. 22.16. Создание проекта обработки

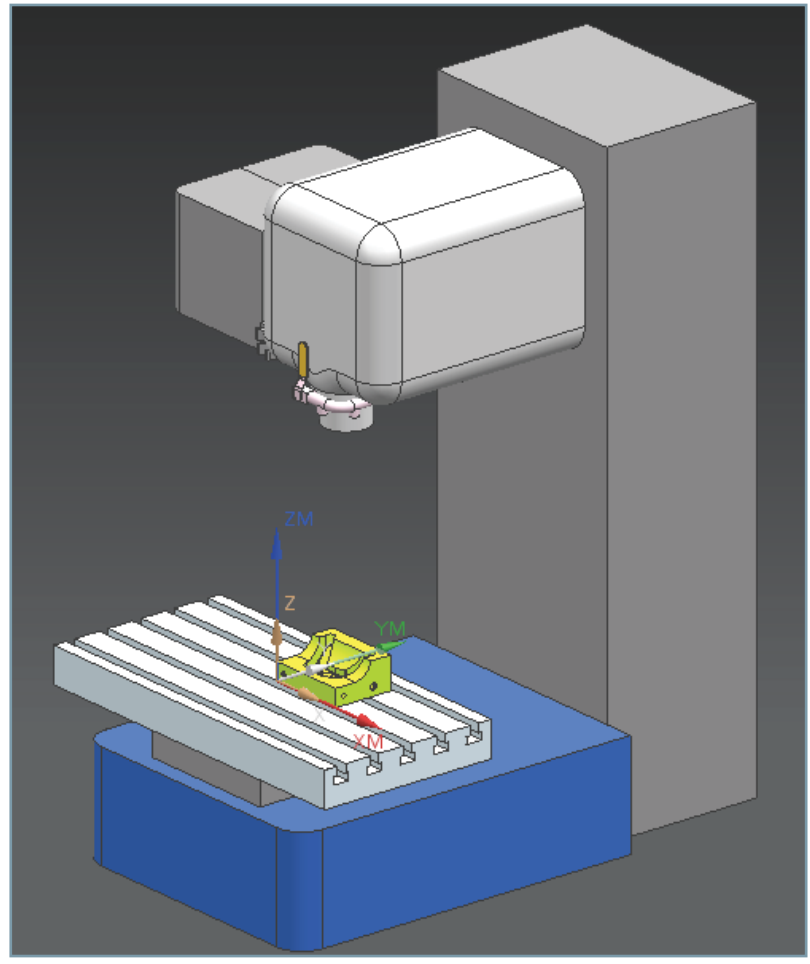


Рис. 22.17. Деталь на столе станка

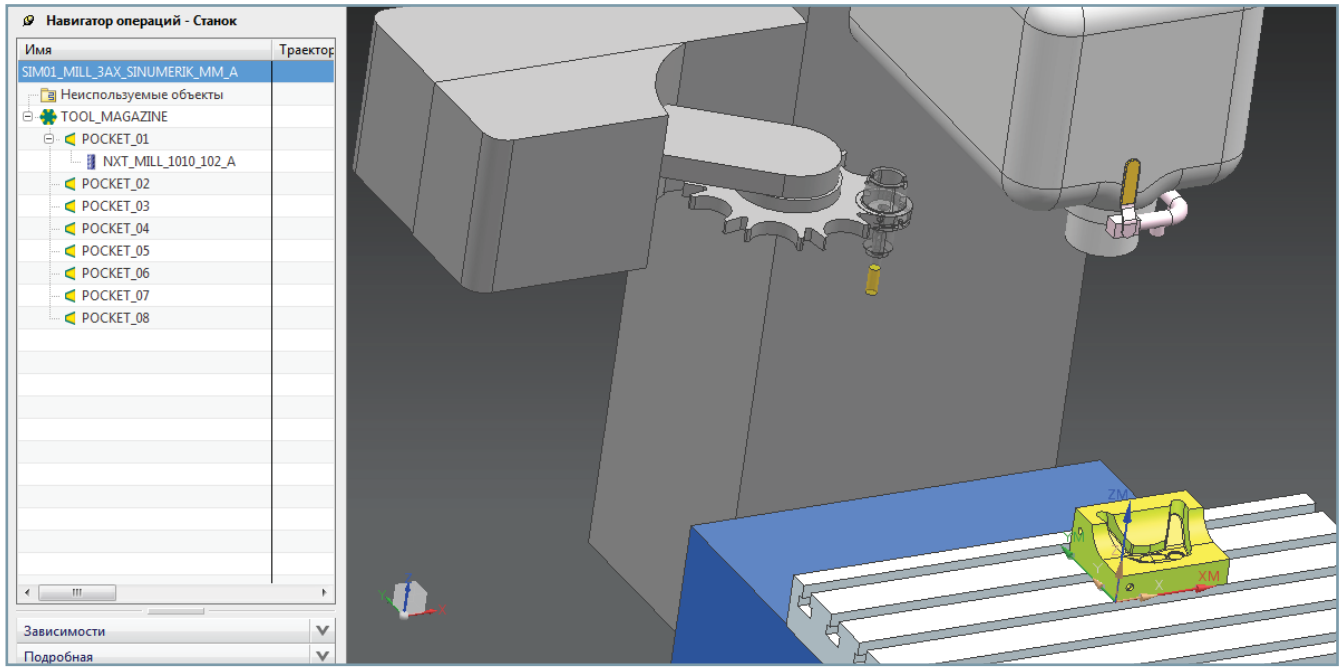


Рис. 22.18. Инструмент в ячейке магазина

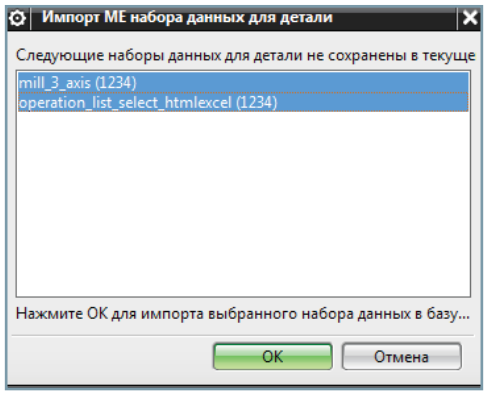


Рис. 22.19. Процесс сохранения данных

на станке имеют взаимосоответствующие параметры, то инструмент автоматически позиционируется в ячейку магазина (рис. 22.18).

Выполним создание операции черновой обработки CAVITY_MILL аналогично тому, как описано в главе 1, а также проверку траектории движения инструмента.

После завершения создания операций обработки перейдем на вкладку **Вид программы** навигатора операций. В ней отображены программная группа **1234** и операции обработки. Выберем программную группу и выполним команду **Постпроцессировать** для создания управляющей программы.

Аналогичным образом выполним команду **Цеховая документация**. Данная команда формирует стандартные отчеты (Tool list, Operation list) по проекту обработки. Создадим один или несколько отчетов и сохраним весь проект обработки.

В процессе сохранения необходимо подтвердить сохранение в Teamcenter новых типов данных (рис. 22.19), содержащих управляющую программу и отчет. Только после этого данные попадают в Teamcenter.

Отображение производственных данных в Teamcenter и NX CAM

Получить доступ к данным можно как из специализированных модулей Teamcenter (**Планировщик процессов изготовления** и др.), так и из общих приложений **Мой Навигатор** и **Навигатор Teamcenter** в NX.

Для открытия производственных данных в **Планировщике процессов изготовления** системы Teamcenter необходимо выбрать ревизию объекта **Обработка с ЧПУ**, созданную на предыдущем этапе и содержащую данные обработки, и выполнить команду из контекстного меню **Отправить в** – **Планировщик процессов изготовления**. После открытия объекта обработки в **Планировщике процессов изготовления** нужно выполнить команду контекстного меню **Открыть с помощью** – **Действия** и затем, выбрав группу программ (1234), выполнить команду контекстного меню **Открыть с помощью** – **Вложения** (рис. 22.20).

Для отображения данных обработки в приложении **Мой навигатор** необходимо дополнительно настроить правила отображения отношений для типа объекта **Операция с ЧПУ**. Выполним в Teamcenter команду меню **Правка** – **Параметры**. В открывшемся диалоговом окне в списке слева выберем **Ревизия элемента** и укажем тип **Ревизия обработки с ЧПУ**. В списке доступных отношений найдем отношение **root_activity** и переместим его в список показанных отношений (рис. 22.21). Выполним команду **ОК**.

Теперь внутри соответствующего объекта появился дополнительный объект типа **Переход** (Activity), содержащий данные обработки (рис. 22.22). Просмотр данных доступен при двойном клике мышкой на выбранном объекте с последующим открытием в соответствующем приложении Windows, ассоциированным с типом открываемого файла (текстовый редактор, HTML-браузер).

Отображение данных обработки можно настроить и во встроенном навигаторе Teamcenter внутри системы NX. Для этого в NX необходимо выполнить команду **Файл** – **Утилиты** – **Настройки по умолчанию** и в выбранном разделе **Интеграция NX с Teamcenter** отметить свойство **Отображать данные действия** (рис. 22.23).

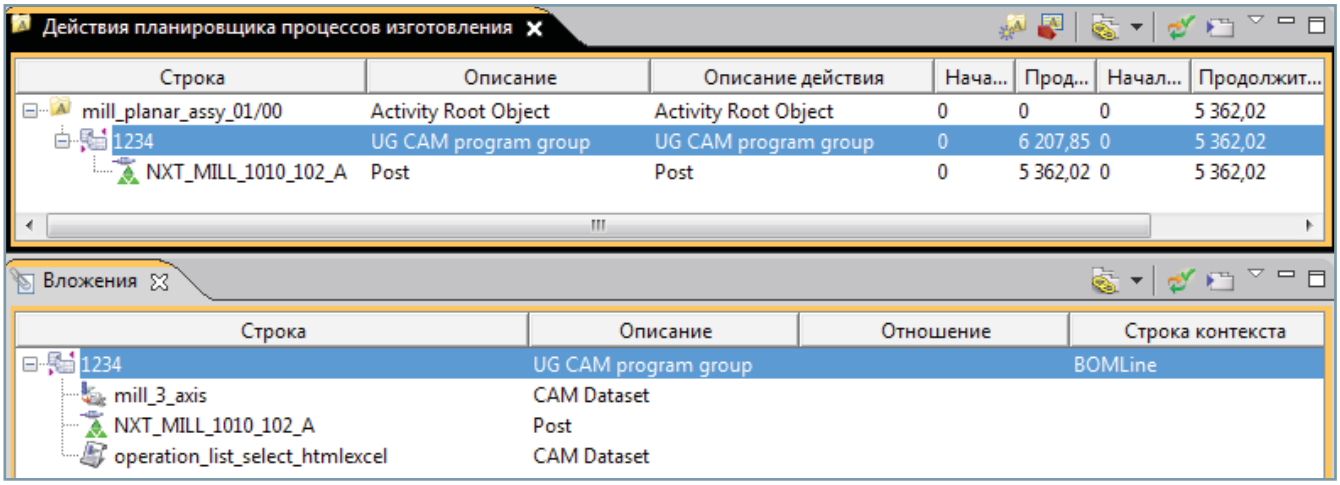


Рис. 22.20. Отображение данных обработки

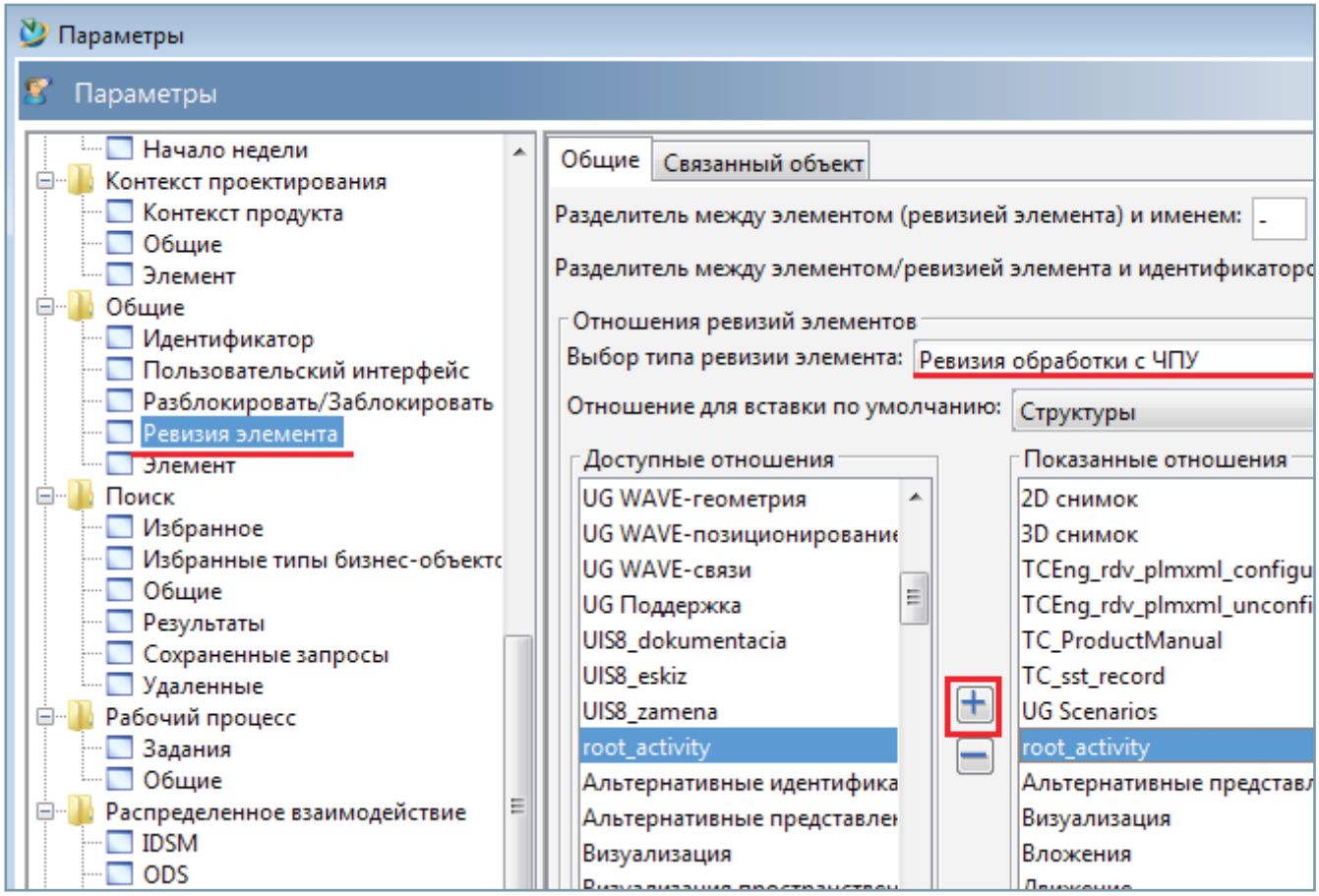


Рис. 22.21. Диалоговое окно Параметры

Теперь после перезагрузки NX внутри навигатора появится дополнительный раздел **Переходы производства**, в котором отображены переходы для выбранной ревизии обработки с ЧПУ (рис. 22.24). Данная возможность актуальна при работе в NX в режиме **NX Manager**. Режим **NX Manager** подразумевает работу с данными Teamcenter без использования его клиентской части. Вместо этого просмотр и управление всеми необходимыми данными осуществляются из интерфейса NX.

Применение данных в производстве

Все данные, необходимые для изготовления деталей и хранящиеся в Teamcenter, могут быть доступны непосредственно на производственных рабочих участках и загружены в системы ЧПУ станков. Такая возможность существует благодаря использованию специального модуля Teamcenter – DNC ShopFloor Connect.
Применение данного модуля позволит обеспечить персонал актуальной информацией в любой момент времени и снизит вероятность ошибок, связанных с использованием устаревших и неактуальных данных.
Функциональность этого модуля обеспечивает:

1) подключение к данным Teamcenter через веб-браузер;
2) поиск необходимой производственной операции;
3) просмотр всей сопроводительной информации, относящейся к выбранной операции (карты наладки, 3D-модель детали, эскизы и т. д.);
4) просмотр перечня инструмента, необходимого для выполнения операции;
5) просмотр, выгрузку/загрузку на станок и сравнение разных версий NC-программ (рис. 22.25);
6) выгрузку данных в MES-системы.

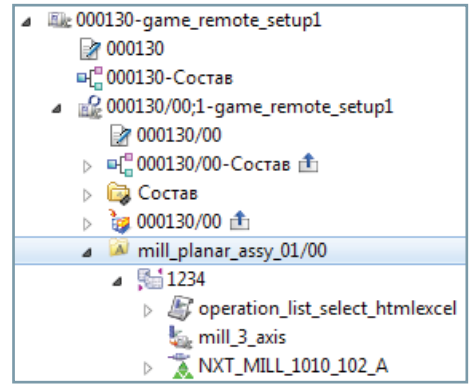


Рис. 22.22. Объект Переход

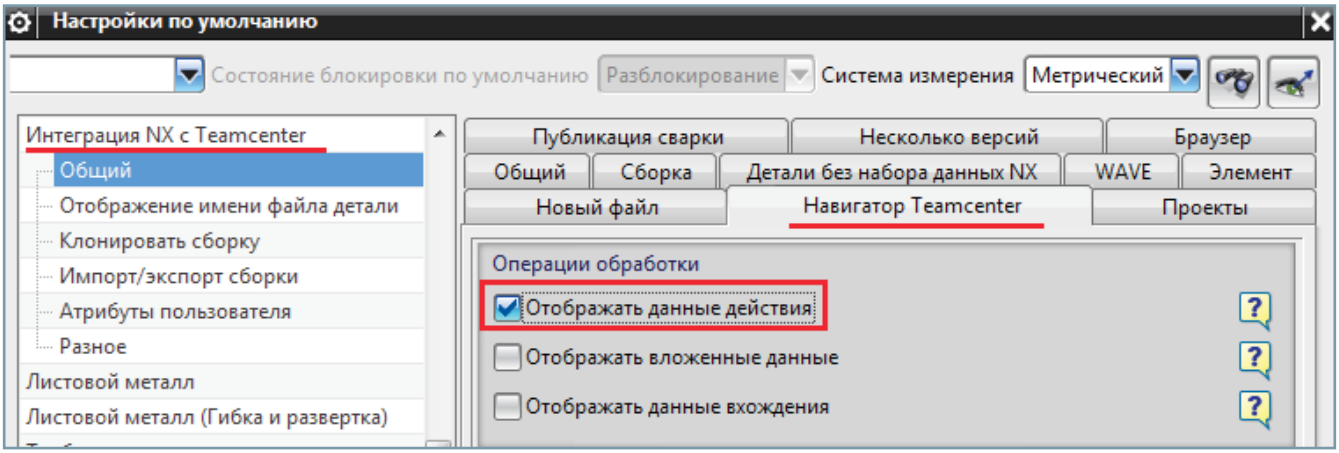


Рис. 22.23. Диалоговое окно Настройки по умолчанию

Данный модуль устанавливается в виде отдельного дополнения к существующей серверной части Teamcenter. Для настройки и конфигурирования модуля используется специальный административный веб-портал, через который задается список существующих на производстве станков и определяются их интерфейсы и адреса для организации сетевой передачи данных (рис. 22.26).

Станки могут быть подключены в единую информационную сеть различными способами:

1) напрямую по LAN;
2) через COM-Server;
3) через вспомогательные интерфейсы станков, как, например, TNCremoNT для систем ЧПУ Heidenhain.

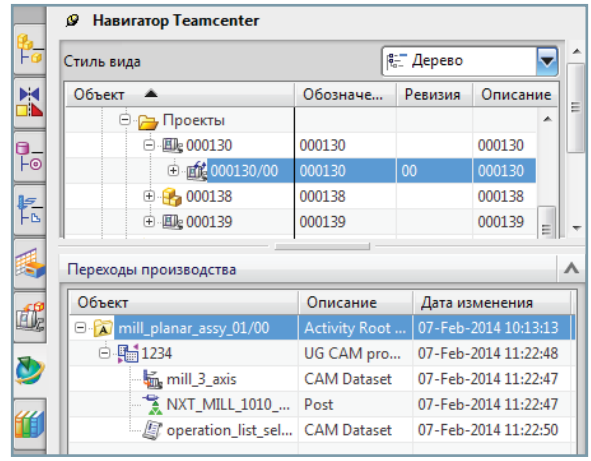


Рис. 22.24. Навигатор Teamcenter в NX

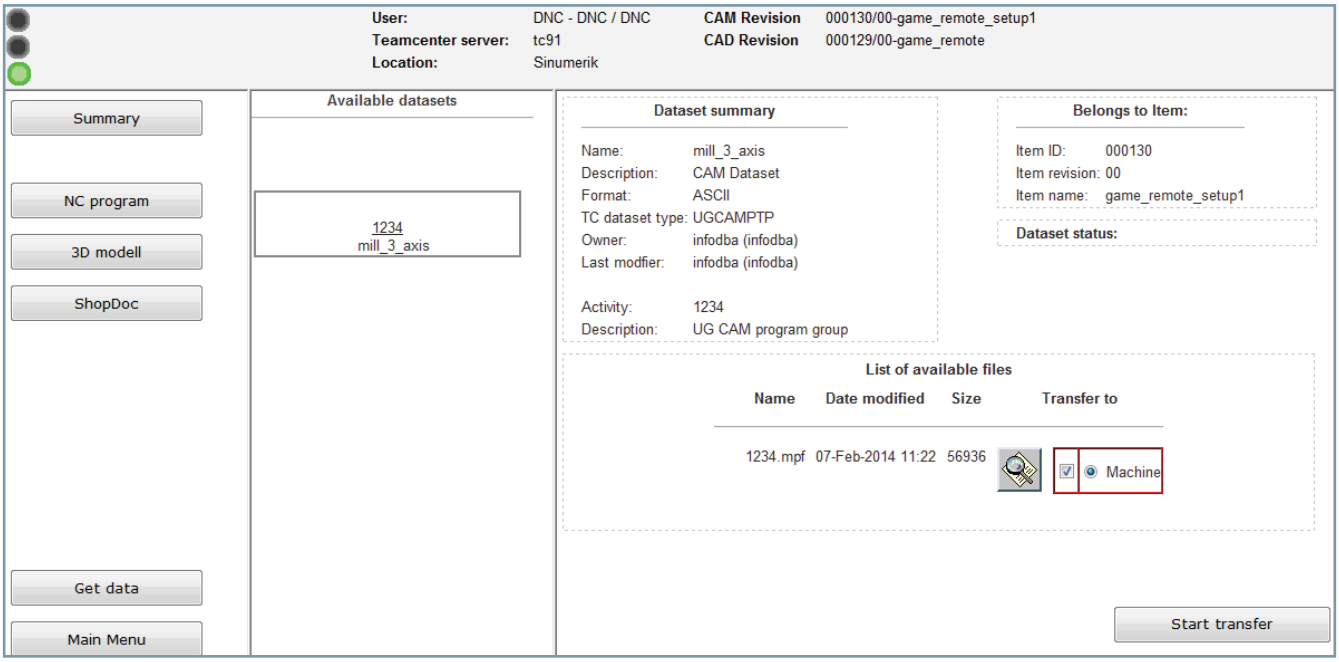


Рис. 22.25. Интерфейс просмотра и выгрузки данных

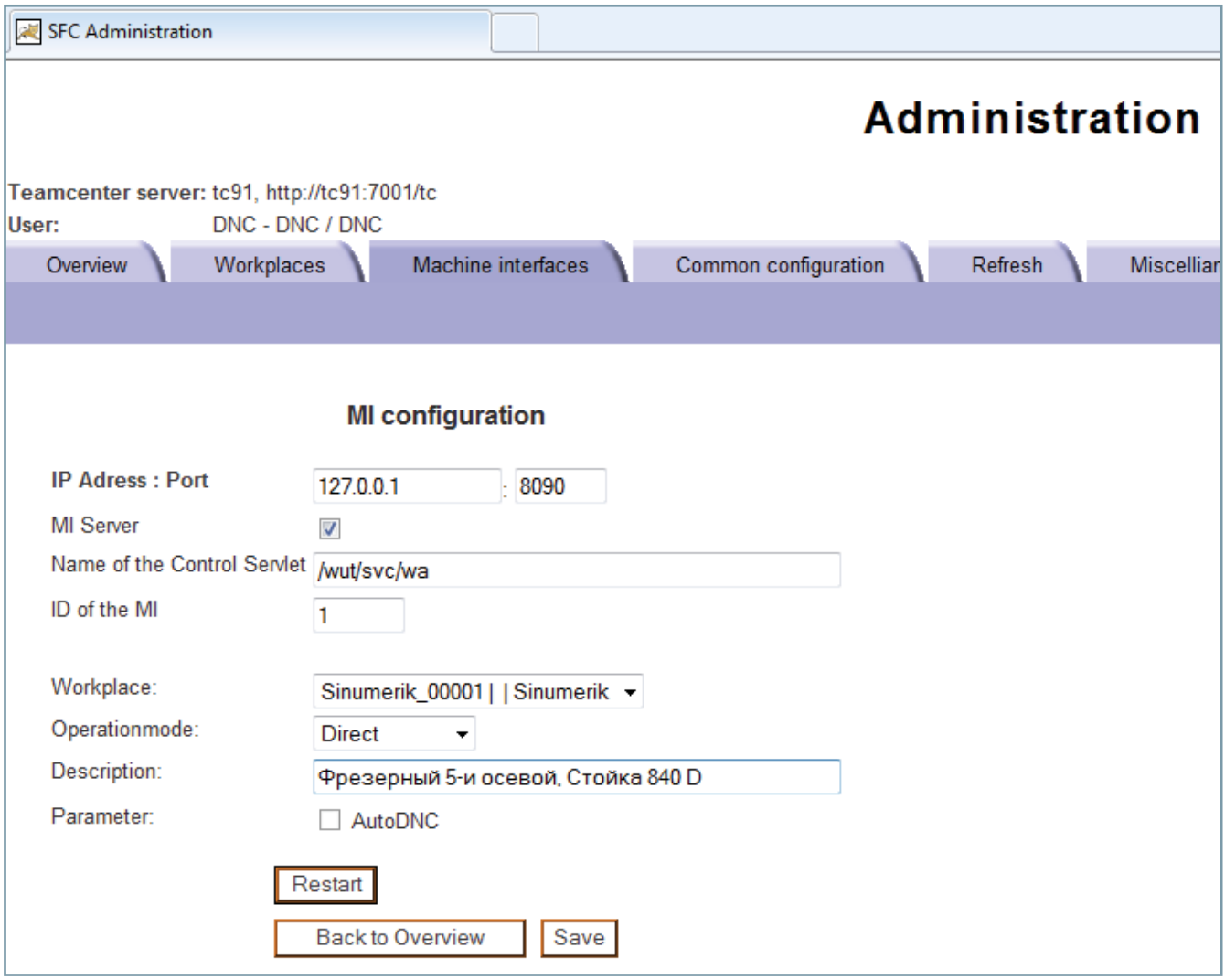


Рис. 22.26. Настройка сетевой конфигурации станка

Глава 23

Библиотека ресурсов MRL и каталоги поставщиков инструмента

Содержание главы

- Описание установки
- Описание установки библиотеки MRL
- Создание сборных инструментов
- MRL Connect for NX

Библиотека ресурсов MRL и каталоги поставщиков инструмента

В предыдущей главе было рассмотрено применение библиотеки производственных ресурсов при создании проекта обработки деталей. В справочных материалах, а также в приложениях Teamcenter и NX библиотека производственных ресурсов объединена под термином MRL (Manufacturing Resource Library). Библиотека MRL включает классификатор режущего инструмента, вспомогательного инструмента, станков и приспособлений, которые могут использоваться при разработке УП и их проверке.

Для работы и управления с библиотекой MRL используются приложения Teamcenter: **Классификатор**, **Администрирование классификатора**, **Менеджер ресурсов**.

Приложения **Классификатор** (рис. 23.1) и **Администрирование классификатора** используются для организации хранения многократно используемой информации об объектах конструкторско-технологической подготовки производства с целью экономии времени на ее поиск и исключения случаев ее дублирования. Вся информация, хранящаяся в Классификаторе, имеет иерархическую структуру. В процессе поиска и выбора данных можно использовать графическое изображение, различные фильтры и операции сортировки данных по различным критериям.

Приложение **Менеджер ресурсов** применяется для определения и управления взаимосвязями между объектами нормативно-справочной информации, неклассифицированными объектами Teamcenter и дополнительными данными в виде связанных импортированных файлов и ссылок на другую контекстную информацию.

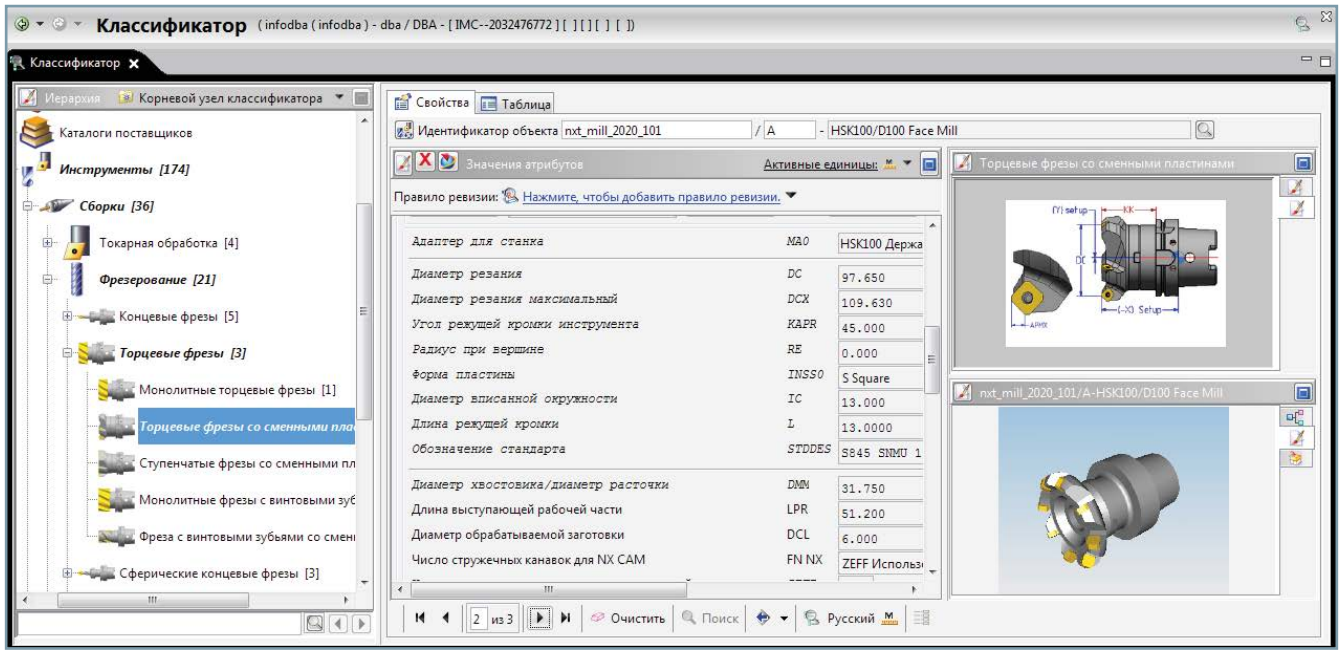


Рис. 23.1. Приложение Классификатор

Описание установки

Установочный пакет библиотеки MRL находится в каталоге advanced_installations дистрибутива Teamcenter.

После запуска инсталлятора открывается диалоговое окно с выбором возможных вариантов установки (рис. 23.2). Кроме самой библиотеки, в состав установщика входят настройки конфигурации NX и Teamcenter при работе с производственными ресурсами.

Выбор действия Manufacturing Resources – Database Population (1) производит установку библиотеки MRL. Действие Manufacturing Resources – Localization (2) выполняет установку локализации для библиотеки. Действие Configure NX Library (3) устанавливает в каталог MACH установки NX файлы конфигурации для работы с библиотекой MRL под управлением Teamcenter. Действие Configure TCL Graphics Macros (4) выполняет конфигурацию Teamcenter для возможности создания элементов 3D-графики. Действие MRL Connect for NX – Configure MRL Server (5) производит конфигурирование Teamcenter и NX для работы пользователей в локальном NX CAM, но с использованием библиотеки MRL, развернутой на сервере Teamcenter.

Описание установки библиотеки MRL

После выбора действия Manufacturing Resources – Database Population необходимо выбрать пути к установленной серверной части Teamcenter (к каталогам TC_ROOT и TC_DATA) и указать пользователя с правами администратора, под которым будет производиться установка библиотеки. На следующем этапе в диалоговом окне появится выбор типов библиотек, которые требуется установить (рис. 23.3).

Выбор элемента Tools (1) обеспечит установку библиотеки инструмента. В составе данной библиотеки поставляется пример, который содержит полную иерархическую структуру каталога компонентов и сборок инструмента, соответствующую стандарту ISO 13399. Данный стандарт описывает единые требования к структуре классификации, атрибутам и определениям, а также к 3D-моделям компонентов инструмента (рис. 23.4).

Поддержка данного стандарта позволяет импортировать каталоги инструментов производителей напрямую в классификатор Teamcenter. Данный пример может в дальнейшем масштабироваться до полнофункционального каталога путем импорта инструмента из каталогов производителей либо использоваться в качестве базы для создания собственного каталога инструмента.

Выбор элемента Machines (2) обеспечит установку библиотеки станков в классификатор Teamcenter, аналогичную библиотеке, поставляемой в стандартной поставке NX.

Выбор элемента Fixtures (3) устанавливает библиотеку стандартных элементов оснастки (плиты, зажимы и т. д.).

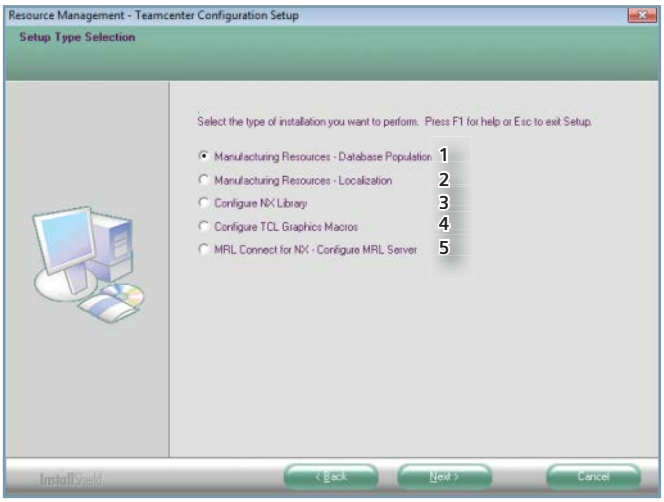


Рис. 23.2. Установщик MRL

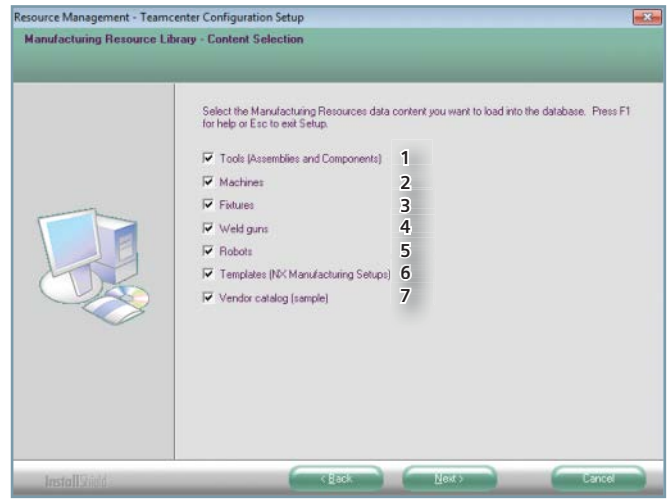


Рис. 23.3. Окно выбора устанавливаемых библиотек

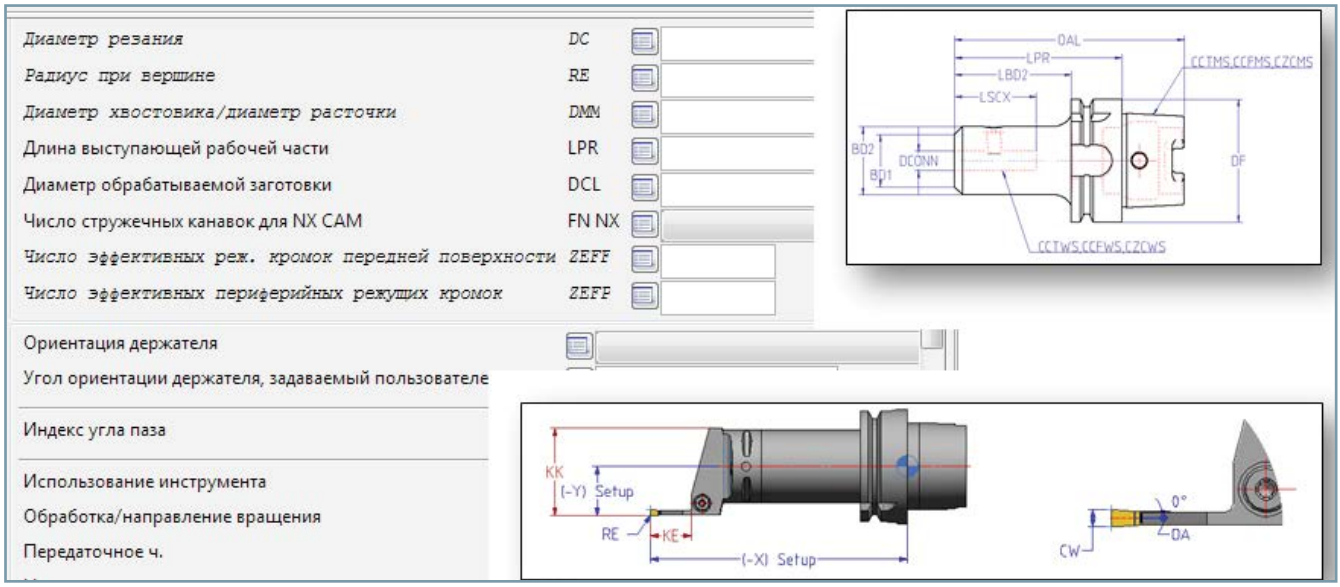


Рис. 23.4. Пример информации стандарта ISO 13399

Выбор элементов Weld guns (4) и Robots (5) производит установку библиотеки сварочных пистолетов и роботов соответственно.
Выбор элементов Templates (6) производит установку шаблонов обработки NX в среду Teamcenter, которые используются при создании проектов обработки (рис. 22.8).
Выбор элемента Vendor catalog (7) производит пример установки каталога-списка производителей инструмента. Данный каталог не включает самих библиотек инструмента, которые поставляются отдельно от дистрибутива MRL. Поставка библиотеки производителя осуществляется самим производителем инструмента. В настоящее время работы по созданию каталогов, поддерживающих формат MRL, ведут компании-производители Sandvik, Iscar и др.

Создание сборных инструментов

Библиотека MRL включает несколько типов готовых сборных инструментов, а также большое количество различных компонентов, из которых можно собирать собственные сборки инструмента. Наиболее продуктивно выполнять данные действия в приложении Менеджер ресурсов системы Teamcenter.
Рассмотрим пример сборки концевой фрезы с адаптером и державкой. Выполним команду **Создать новый ресурс** (рис. 23.5). Выберем тип элемента **Инструмент для ЧПУ** и заполним необходимые данные.
После создания инструмента выполним команду **Новые ресурсы** (рис. 23.6) для классификации вновь созданного инструмента в иерархии классов сборного инструмента.
В открывшемся диалоговом окне выберем необходимый класс библиотеки из иерархии классов инструмента. В данном примере это **Монолитные концевые фрезы** (рис. 23.7).
После двойного нажатия клавишей мыши по выбранному классу и выполнения команды **Сохранить** инструмент попадает в выбранный класс с характерными для данного класса атрибутами. Значения атрибутов классов сборного инструмента могут быть как собственными, так и переданными. Значения для собственных атрибутов заполняются непосредственно при создании инструмента, а значения переданных атрибутов наследуются из дочерних компонентов инструмента, входящих в сборку. При отображении атрибутов в приложениях Классификатор или Менеджер ресурсов переданные атрибуты отличаются от собственных написанием с использованием курсива (рис. 23.8).
Для добавления первого компонента к сборочному инструменту выполним команду из контекстного меню **Добавить классифицированный компонент** (рис. 23.9). При этом инструмент должен находиться в режиме редактирования (команда **Правка** – **Редактирование ресурса**).
В открывшемся окне классификатора выберем из структуры компонентов концевую фрезу диаметром 10 мм из класса **Концевые цельные фрезы**. После применения компонент присоединяется к составу сборки.
Внутри каждого компонента библиотеки инструмента находятся дополнительные объекты (рис. 23.10).
Объект с типом CsysProductInterface содержит систему координат крепления (MCS.1), отвечающую за автоматизированное позиционирование следующего компонента, присоединяемого к выбранному.
Объекты с типом GCS_CP_Plug и GCS_CP_Socket работают по принципу «штекер–розетка». Объекты анализируют на соответствие значения атрибутов компонентов на совместимость с другими компонентами, присоединяемыми к выбранному. Анализ выполняется применением команды **Управляемый поиск компонентов**. Команда вызывается из контекстного меню при выделенном объекте GCS_CP_Plug или GCS_CP_Socket в зависимости от направления совмещения при создании сборки (от инструмента к державке или от державки к инструменту).
На рассматриваемом примере выделим объект GCS_CP_Plug и, перейдя в контекстное меню, выберем команду **Управляемый поиск компонентов** (рис. 23.11).

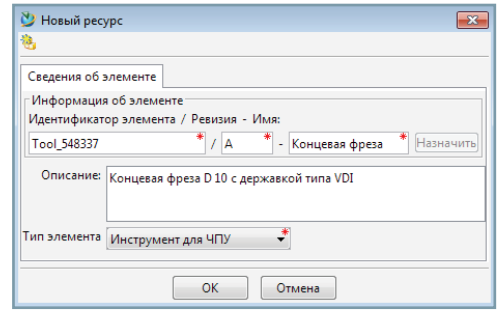


Рис. 23.5. Окно создания нового инструмента

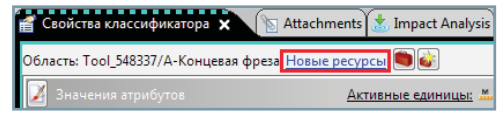


Рис. 23.6. Команда Новые ресурсы

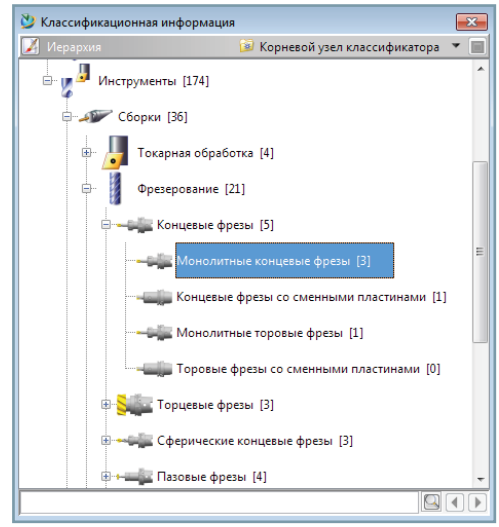


Рис. 23.7. Иерархия классов инструмента

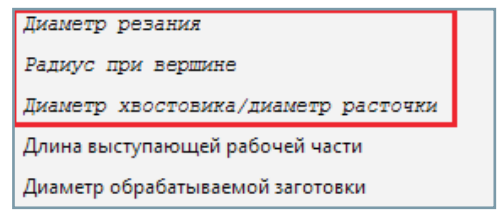


Рис. 23.8. Отображение атрибутов

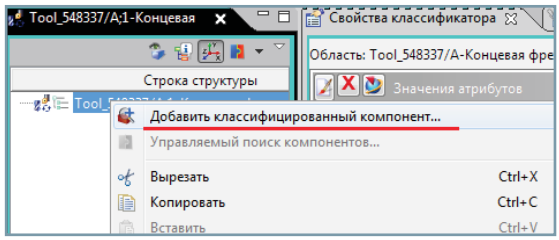


Рис. 23.9. Команда Добавить классифицированный компонент

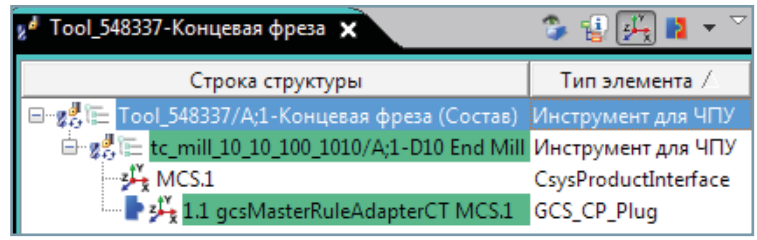


Рис. 23.10. Состав сборного инструмента

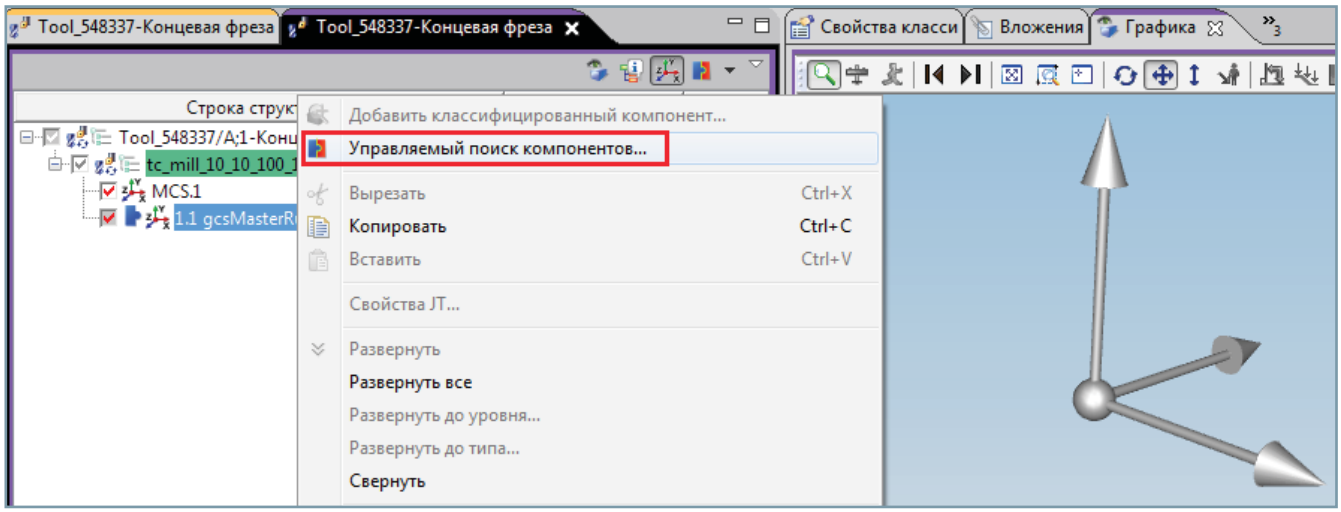


Рис. 23.11. Команда Управляемый поиск компонентов

В открывшемся окне результатов поиска выберем один из подходящих компонентов: переходник с именем ER32 SPR 10-11. Теперь состав сборки состоит из фрезы и переходника. Заметим, что благодаря наличию объектов, содержащих системы координат крепления, компоненты автоматически позиционируются на своем месте (рис. 23.12).

Завершим создание структуры сборного инструмента присоединением подходящей державки. Для этого выделим объект GCS_CP_Plug, находящийся внутри переходника с именем ER32 SPR 10-11,» и, перейдя в контекстное меню, выберем команду **Управляемый поиск компонентов**. Добавим найденную державку в состав сборки (рис. 23.13).

Передадим значения атрибутов с уровня компонента фрезы на уровень сборки. Для этого необходимо в режиме редактирования выбрать компонент фрезы End Mill и выполнить команду **Добавить или удалить начальную точку распространения...** (рис. 23.14) на панели инструментов или из командного меню **Вид**.

После выполнения данной команды и выхода из режима редактирования значения атрибутов из дочерних компонентов запишутся в ссылочные атрибуты верхнего уровня сборки (рис. 23.15).

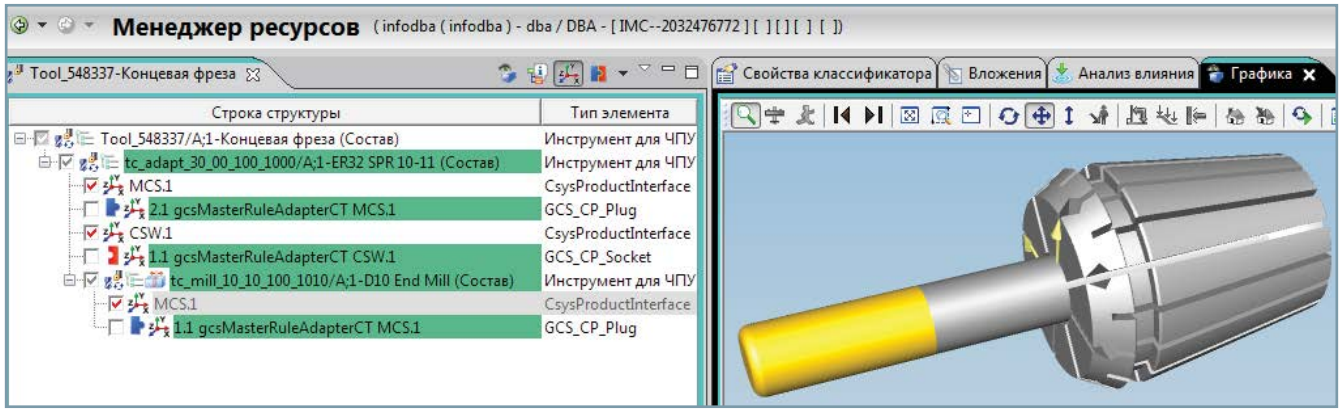


Рис. 23.12. Сборка фрезы с переходником

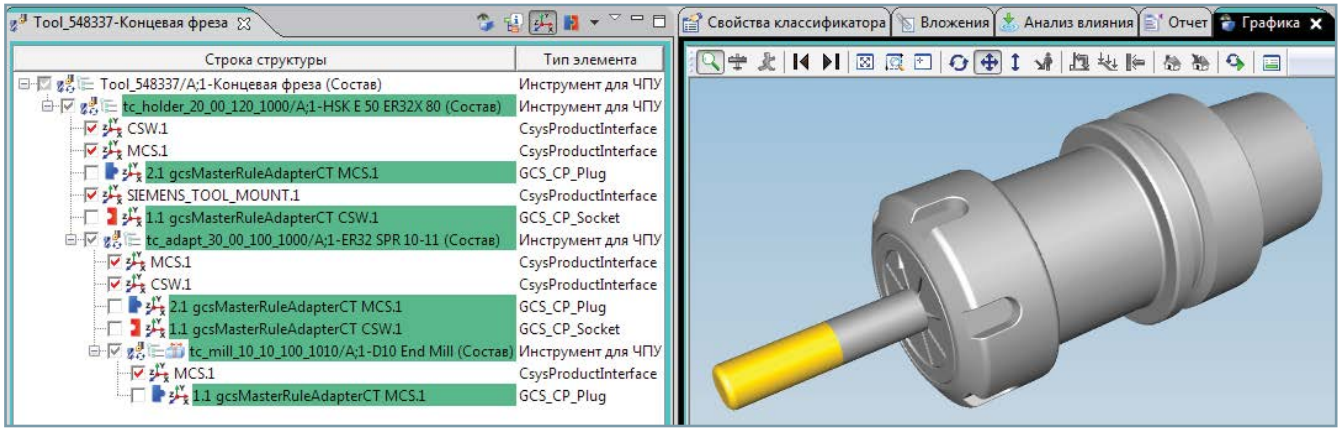


Рис. 23.13. Сборка фрезы с переходником и державкой

Рис. 23.14. Команда Добавить или удалить начальную точку распространения

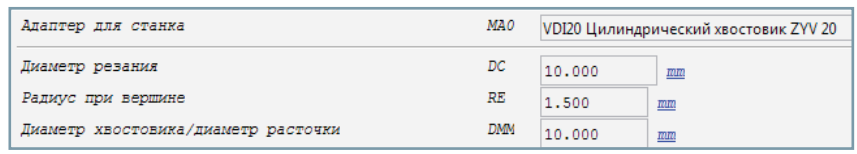


Рис. 23.15. Заполнение ссылочных атрибутов

Теперь необходимо выполнить команду **Создать/обновить файл детали сборки инструмента NX** (рис. 23.16) из панели инструментов или из командного меню **Сервис**.

Работа данной команды возможна при установленном компоненте **Графический построитель NX** (устанавливается через установщик Teamcenter – TEM) и компоненте Configure TCL Graphics Macros (из установщика библиотеки MRL).

При выполнении команды открывается диалоговое окно с параметрами, отвечающими за создание геометрии: режущей/нережущей геометрии, геометрии заметания и передачи атрибутов в файл NX (рис. 23.17).

Теперь инструмент полностью готов к использованию в системе NX CAM. Готовый сборный инструмент может выбираться непосредственно из системы NX CAM путем обращения к классификатору Teamcenter.

В процессе выбора имеется возможность искать инструмент по всем необходимым атрибутам (диаметр резания, длина вылета, радиус скругления режущей кромки, длина режущей части и т. д.).

В процессе создания управляющей программы в системе NX CAM геометрия сборного инструмента участвует в процессах симуляции и верификации обработки.

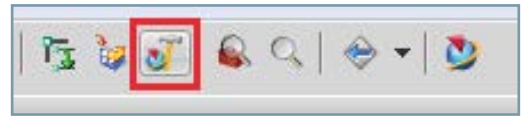


Рис. 23.16. Команда Создать/обновить файл детали сборки инструмента NX

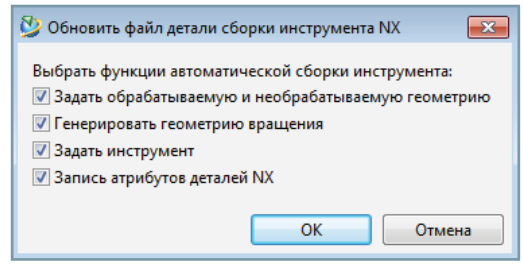


Рис. 23.17. Окно создания файла сборного инструмента

MRL Connect for NX

Инструмент MRL Connect for NX позволяет работать с NX CAM в локальной среде, но при этом использовать ресурсы библиотеки MRL, которая хранится и администрируется в системе Teamcenter.

Эта возможность будет полезна на предприятиях, в основном ориентированных на изготовление по готовой конструкторской документации и работающих с большим ассортиментом инструмента. Использование такой функциональности позволит сэкономить на внедрении и лицензиях Teamcenter, но обеспечит централизованное управление инструментом и инструментальной оснасткой.

Установщик данной функциональности (рис. 23.2) последовательно сконфигурирует сервер Teamcenter и рабочее место NX для возможности подобной работы.

На стороне Teamcenter будут созданы соответствующие пользователи с первоначальным разделением на роли и группы.

1. Пользователь CAMUser01 будет являться основным пользователем для подключения CAM-инженеров к MRL при работе в NX.
2. Пользователь MFGAdmin01 будет являться администратором Teamcenter.
3. Пользователь ToolAdmin01 будет выполнять функции администратора библиотеки MRL.

В дальнейшем администратор Teamcenter может менять первоначальные настройки в соответствии с потребностями.
На стороне клиентского места NX после завершения работы установщика будут созданы параметры UGII_UGMGR_COMMUNICATION и UGII_UGMGR_HTTP_URL, значения которых определяются параметрами сервера Teamcenter. Данные параметры создаются в файле ugii_env.dat, расположенном в папке UGII установленного пакета NX. После их создания необходимо открыть файл, убрать комментарии с соответствующих строк и проверить правильность используемого протокола (http или https), как показано на рис. 23.18.
Если на предприятии не используются централизованные настройки для работы в NX, установку на стороне NX необходимо будет выполнить на всех рабочих местах.
Кроме того, в системных переменных должны быть определены следующие параметры:

- FMS_HOME – путь к локальной директории `tccs` клиентского файлового кэша (за помощью по установке обращайтесь к администратору Teamcenter);.
- JAVA_HOME – путь к локальной директории с установленной версией JRE.

```
# This file should be used to override any standard NX environment variables.
# The values defined here will take precedence over the NX values, as long as
# they are defined before the #include of ugii_env_ug.dat. This file will not
# be overwritten by an MR installation.
#
# Override any variables here.
UGII_UGMGR_COMMUNICATION=HTTP
UGII_UGMGR_HTTP_URL=http://tc91:7001/tc/
```

Рис. 23.18. Фрагмент файла ugii_env.dat

Теперь для доступа к библиотеке MRL из локального NX необходимо выбрать соответствующий файл конфигурации при старте инициации обработки. Файл конфигурации, соответствующий данной функциональности, называется cam_native_rm_library.dat и располагается вместе с остальными конфигурационными файлами в соответствующем каталоге NX по пути %UGII_BASE_DIR%\MACH\resource\configuration.
В созданной среде обработки при выборе команды **Вызвать инструмент из библиотеки** система обратится к серверу Teamcenter и запросит имя пользователя и пароль для доступа к библиотеке (рис. 23.19). После аутентификации откроется окно со структурой библиотеки инструмента MRL. Дальнейшее использование и работа с инструментом аналогичны работе, описанной в главе 7 (рис. 7.2–7.4).

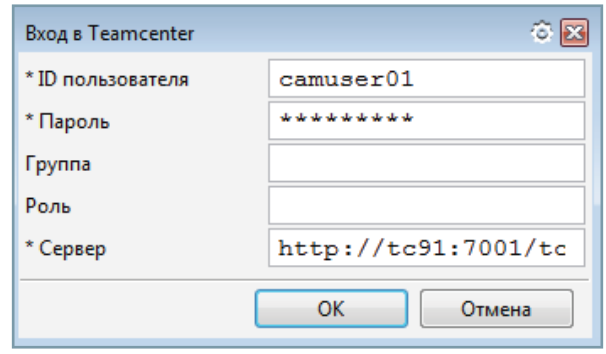


Рис. 23.19. Окно аутентификации Teamcenter

Содержание

Глава 1. Первые шаги 3
Первые шаги 4
Запуск NX CAM и главное окно 4
Этапы разработки управляющих программ 5
Наследование параметров в навигаторе операций 6
Создание нового проекта 7
Принцип мастер-модели 7
Инициализация 7
Подготовка модели к обработке 9
Анализ геометрии 10
Создание/Редактирование родительских групп 12
Создание операции 16
Проверка программ 17
Постпроцессирование 19
Контекстное меню 21

Глава 2. Черновая обработка – операция CAVITY_MILL 22
Черновая обработка – операция CAVITY_MILL 23
Операция CAVITY_MILL: основы 23
Уровни резания и шаблон резания 24
Параметры резания 30
Вспомогательные перемещения (Параметры без резания) 32
Скорости и подачи 34

Глава 3. Проверка траектории инструмента 36
Проверка траектории инструмента 37
Верификация (проверка) операций 37
Операция CAVITY_MILL – доработка 38
Верификация операций – продолжение 40

Глава 4 . 2.5-осевое фрезерование – обработка плоских граней 42
2.5-осевое фрезерование – обработка плоских граней 43
Операция обработки пола и стенок (FLOOR_WALL) 44
Контрольная геометрия 47
Операция обработки дна и стенок с учетом ЗвПО (FLOOR_WALL_IPW) 49
Другие параметры операций FLOOR_WALL 50
Операция обработки граней на основе границ (FACE_MILL) 55
Подход к контуру 56
Обработка поднутрений 57
Обработка наклонных граней 58
Операция SOLID_PROFILE_3D 59

Глава 5. 2.5-осевое фрезерование: обработка по Z-уровням 61
2.5-осевое фрезерование: обработка по Z-уровням 62

Операция ZLEVEL_PROFILE 62
Операция ZLEVEL_CORNER 64

Глава 6. Обработка с использованием границ – PLANAR_MILL 66
Обработка с использованием границ – PLANAR_MILL 67
Обработка контуров 67
Обработка тел на основе границ 74
Коррекция инструмента 76

Глава 7. Библиотеки, события пользователя, постпроцессоры 78
Библиотеки, события пользователя, постпроцессоры 79
Библиотека инструментов 79
Библиотека режимов резания 80
События пользователя 82
Операция Управление станком 83
Постпроцессирование 84
Настройка постпроцессора 85
Цеховая документация 86

Глава 8. Обработка отверстий 88
Обработка отверстий 89
Операция сверления 89
Использование геометрических групп 91
Нарезание резьбы метчиком 93
Сверление отверстий произвольной ориентации 94
Фрезерование отверстий 95
Резьбофрезерование 96

Глава 9. 3-осевое фрезерование: контурные операции 99
3-осевое фрезерование: контурные операции 100
Операции FIXED_CONTOUR и CONTOUR_AREA 101
Многопроходная контурная обработка 107
3D-коррекция инструмента 108
Выделение наклонных и ненаклонных участков 109
Подобласти обработки (CUT REGIONS) 110

Глава 10. Контурные операции (продолжение) 114
Контурные операции (продолжение) 115
Операция STREAMLINE (Вдоль потока) 115
Обработка поднутрений на 3-осевом станке 119
Операции по доработке углов 120
Другие методы управления 125
Метод Линии/Точки 125
Метод Радиальное резание 125
Гравировка текста 126

Глава 11. Высокоскоростная обработка 130
Высокоскоростная обработка 131
Трохоидальный шаблон резания 133
Фрезерование погружением (PLUNGE_MILLING) 134

Глава 12. Инструменты CAD в модуле CAM 137
Инструменты CAD в модуле CAM 138
Инструменты технологического анализа 138
Технология синхронного моделирования для технологов 140
Упрощение модели для производства *141*
Ассоциативность операций *142*
Создание модели заготовки по модели детали *143*
Зашивка отверстий – заплатки 144
Помощник замены 146

Глава 13. Перенос заготовки и 5-осевая позиционная обработка 150
Перенос заготовки и 5-осевая позиционная обработка 151
Поддержка позиционной обработки в операциях 151
Перенос заготовки 151
Главная и локальные системы координат 153
Перенос заготовки (продолжение) 154
Поддержка позиционной обработки в операциях (продолжение) 156
FLOOR_WALL_IPW (продолжение) *156*
Обработка боковых пазов (GROOVE_MILLING) *157*
Операция общего перемещения (GENERIC_MOTION) *160*

Глава 14. Измерительные операции (PROBING) 167
Измерительные операции (PROBING) 168
Измерение точки 168
Использование результатов измерения 170
Измерение цилиндра 171

Глава 15. Симуляция работы станка 173
Симуляция работы станка 174
Подключение модели станка 174
Использование примеров из стандартной поставки 176
Симуляция внешнего файла 180
Навигатор станка 182
Репроцессор 183

Глава 16. 5-осевая непрерывная обработка 185
5-осевая непрерывная обработка 186
Управляющая поверхность *186*
Ориентация инструмента *188*
Обработка лопатки *189*
Внешние управляющие поверхности *191*
Обработка винта *194*
Операция 5-осевая вдоль потока – VARIABLE_STREAMLINE 196
Обработка лопатки (продолжение) *197*
Управление подачей и переменный угол опережения *198*

Глава 17. 5-осевая непрерывная обработка (продолжение) 200
5-осевая непрерывная обработка (продолжение) 201
Операция Профиль по контуру – CONTOUR_PROFILE 201

Операция Контурная с переменной ОИ – Интерполяция вектора 207
Операция 5-осевая по Z-уровням – ZLEVEL_5AXIS 208
Операция Обработка цилиндра -ROTARY_FLOOR 208
Функция отклонения оси инструмента для преобразования операций 212

Глава 18. Операции для обработки моноколес – MULTIBLADE MACHINING 218
Операции для обработки моноколес – MULTIBLADE MACHINING 219
Задание геометрии 219
Черновая обработка моноколеса (Multiblade Roughing) 220
Чистовая обработка лопатки (Blade Finishing) 222
Чистовая обработка ступицы (Hub Finishing) 222
Чистовая обработка скругления (Blend Finishing) 225

Глава 19. Обработка на основе элементов (Feature Based Machining) 226
Обработка на основе элементов (Feature Based Machining) 227
Учет заданных технических условий (PMI) 227
Навигатор элементов обработки 228
Редактор правил обработки 231
Автоматическое распознавание для ручного расчета траекторий 234
Обучение элементам и операциям 237

Глава 20. Токарная обработка 240
Токарная обработка 241
Инициализация для токарной обработки 241
Задание систем координат и геометрии 241
Создание операций 244
Торцевание – подрезка торца 245
Черновое наружное точение 245
Создание инструмента 252
Создание операций (продолжение) 252
Чистовое наружное точение 253
Осевое сверление 254
Черновая и чистовая внутренняя расточка 255
Обработка канавок 258
Нарезание резьбы 260

Глава 21. Токарно-фрезерная обработка 262
Токарно-фрезерная обработка 263
Инициализация для токарно-фрезерной обработки 263
Задание систем координат и геометрии 264
Обработка в главном шпинделе 265
Обработка в контршпинделе 268
Работа в контексте 3D модели станка и симуляция обработки 270
Загрузка готового проекта 271
Замена компонента 273
Обновление операций и новые операции 274
Использование револьверной головки 275
Менеджер синхронизации 277

Глава 22. Интеграция NX CAM и Teamcenter. Применение данных в производстве 280
Интеграция NX CAM и Teamcenter. Применение данных в производстве 281
Базовые настройки 284
Пример обработки детали в NX CAM в среде Teamcenter 286
Отображение производственных данных в Teamcenter и NX CAM 288
Применение данных в производстве 289

Глава 23. Библиотека ресурсов MRL и каталоги поставщиков инструмента 292
Библиотека ресурсов MRL и каталоги поставщиков инструмента 293
Описание установки 293
Описание установки библиотеки MRL 294
Создание сборных инструментов 295
MRL Connect for NX 297

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать
в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом,
выслав открытку или письмо по почтовому адресу:
115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А.
При оформлении заказа следует указать адрес (полностью),
по которому должны быть высланы книги;
фамилию, имя и отчество получателя.
Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.
Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: **www.alians-kniga.ru**.
Оптовые закупки: тел. **(499) 782-38-89**.
Электронный адрес: **books@alians-kniga.ru**.

Ведмидь П.А., Сулинов А.В.

Программирование обработки в NX CAM

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
dmkpress@gmail.com
Корректор *Синяева Г. И.*
Верстка *Чаннова А. А.*
Дизайн обложки *Семенов А. Н.*

Формат 84×108 1/16.
Гарнитура «Siemens Sans Cyrillic». Печать офсетная.
Тираж 2000 экз.

Веб-сайт издательства: www.дмк.рф