

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Д.Л. СКУРАТОВ, А.И. РЯЗАНОВ, И.А. ЧИГРИНОВ

ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ,
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХПРОЦЕССОВ
И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ
НА МАЛОРАЗМЕРНЫХ
ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования «Самарский
государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»
в качестве учебного пособия

САМАРА
Издательство СГАУ
2013

УДК 621.9.06 – 529(075)
ББК 34.63. – я7
С 467

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.Н. Трусов,
д-р техн. наук, проф. Н.Д. Проничев

С 467 **Скуратов Д.Л.**

Технологии моделирования, проектирования техпроцессов и изготовления деталей типа тел вращения на малоразмерных токарных станках с ЧПУ: учеб. пособие / *Д.Л. Скуратов, А.И. Рязанов, И.А. Чигринев.*
– Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – 104 с.

ISBN 978-5-7883-0944-6

Рассмотрены технологии геометрического моделирования, проектирования техпроцессов и изготовления деталей типа тел вращения в CAD/CAM системе ADEM. Описаны математическая модель и рабочая программа для определения рациональных условий обработки при точении. Дана характеристика малоразмерного токарно-винторезного станка Quantum D210x400 с системой ЧПУ MEGA NC.

Предназначено для студентов очного и очно-заочного отделений, обучающихся по машиностроительным специальностям вузов. Может быть полезно студентам заочного отделения.

УДК 621.9.06 – 529(075)
ББК 34.63. – я7

ISBN 978-5-7883-0944-6

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	9
2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ В CAD/CAM СИСТЕМЕ ADEM 7.1.....	13
2.1. Построение 2D моделей.....	13
2.1.1. Построение отрезков.....	14
2.1.2. Построение окружностей.....	15
2.1.3. Построение дуг окружностей.....	16
2.1.4. Построение многоугольников.....	16
2.1.5. Построение ломаных линий и замкнутых контуров.....	17
2.1.6. Пример создания геометрических моделей детали и заготовки на различных стадиях её обработки.....	17
2.2. Построение 3D моделей.....	21
2.2.1. Создание объемных тел на основе профилей.....	21
2.2.2. Пример создания 3D модели детали.....	25
3. МАЛОРАЗМЕРНЫЙ ТОКАРНЫЙ СТАНОК QUANTUM D210×400 С СИСТЕМОЙ ЧПУ MEGA NC.	27
3.1. Область применения и технические характеристики.....	27
3.2. Система ЧПУ MEGA NC.....	31
3.3. Режущий инструмент	33
4. РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ И ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ	34
4.1. Разработка маршрута обработки.....	36
4.1.1. Первый установ заготовки.....	36
4.1.2. Второй установ заготовки.....	50
4.2. Формирование управляющей программы.....	60
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ТОЧЕНИИ И РАСТАЧИВАНИИ ЗАГОТОВОК.....	62
5.1. Выбор целевой функции и технических ограничений.....	62

5.2. Построение математической модели.....	70
5.3. Разработка программы для расчета оптимальных режимов обработки.....	73
5.3.1. Блок-схема основного модуля программы.....	73
5.3.2. Описание программы.....	73
6. РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРОГРАММНОМ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОМ СТАНКЕ QUANTUM D210×400.....	83
6.1. Управление технологическим оборудованием с помощью программы NC DRIVE.....	83
6.2. Изготовление детали на токарно-винторезном станке Quantum D210x400.....	85
6.2.1. Первый установ.....	85
6.2.2. Второй установ.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	91
Приложение А. Управляющая программа для обработки заготовки при первом установе.....	92
Приложение Б. Управляющая программа для обработки заготовки при втором установе.....	98
Приложение В. Блок-схема программы.....	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое пособие «Технологии моделирования, проектирования техпроцессов и изготовления деталей типа тел вращения на мало-размерных токарных станках с ЧПУ» является учебно-практическим изданием, используемым при изучении студентами, обучающимися по специальности 160700.65 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» и направлению 151900.62 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», таких профессиональных дисциплин, как «Обработка конструкционных материалов», «Оборудование машиностроительных производств», «Разработка оптимальных технологических процессов с использованием CAE/CAD/CAM/PDM систем» и «Моделирование процессов механической обработки».

Без знания указанных дисциплин невозможна подготовка современного специалиста как в области двигателестроения, так и в области технологии машиностроения.

Целью учебного пособия является изложение технологий геометрического моделирования деталей типа тел вращения и техпроцессов их изготовления на основе использования CAD/CAM систем, т.е. получение представления о системах автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), а также ознакомление со способом определения рациональных условий обработки на основе построения математической модели для рассматриваемого процесса формообразования.

Содержание учебного пособия отражает содержание отдельных разделов рабочих программ ранее указанных курсов. В данном пособии помимо общих теоретических положений технологии машиностроения приведен пример построения геометрической модели конкретной детали и порядок проектирования техпроцесса её изготовления.

Данное пособие основывается на знаниях, полученных студентами при изучении инженерной и компьютерной графики, общей информатики, материаловедения, технологии конструкционных материалов и т.д.

Не претендуя на исчерпывающую полноту, авторы вместе с тем надеются, что предлагаемое учебное пособие, отличающееся доступностью и последовательностью изложения материала, станет одной из базовых составляющих при изучении ранее указанных дисциплин и будет способствовать успешному усвоению соответствующих тем. В определенной мере оно восполнит дефицит учебной литературы, касающейся геометрического моделирования и проектирования технологических процессов изготовления деталей в CAD/CAM системе ADEM и определения рациональных условий обработки на основе построения соответствующих математических моделей.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений развития современного машиностроения является создание так называемого «интеллектуального машиностроения», в основе которого лежит компьютерное интегрированное производство, предполагающее функционирование объектов производства на основе современной компьютерной техники, программного управления и мощного специального программного обеспечения, в частности различных CAD/CAM/CAE систем.

Ключевым звеном в таком производстве являются станки с числовым программным управлением (ЧПУ), обеспечивающие не только обработку заготовок в автоматическом режиме, но и создание управляющих программ и передачу их по каналам связи. Внедрение станков с ЧПУ позволяет существенно снизить затраты на подготовку производства, повысить производительность и качество обработки деталей.

Неотъемлемой частью современного машиностроения являются системы автоматизированного проектирования, включающие в себя технические средства, системное программное обеспечение, прикладное программное обеспечение, проектировщика и обеспечивающие:

- получение конструкторской документации на основе геометрического двухмерного и трехмерного моделирования средствами CAD модуля интегрированных систем;
- разработку технологического процесса (ТП) средствами CAM модуля ранее указанных систем.

САПР ТП предполагает разработку управляющей программы обработки заготовки в автоматизированном режиме при обеспечении рациональных условий её формообразования. Выбор рациональных условий формообразования (режимов резания, геометрии инструмента, СОЖ и т.д.) осуществляется на основе построения математических моделей процессов обработки и реализации этих моделей в виде программных продуктов.

В данной работе на примере одной детали представлена реализация интегрированной конструкторско-технологической (CAD/CAM) САПР на основе использования системы ADEM в версии ADEM 7.1, которая является универсальной интегрированной системой низкого

уровня и предназначена для организации и поддержки сквозного проектирования. Изготовление детали по управляющей программе, сгенерированной в САПР ТП, осуществлялось на основе использования токарного станка Quantum D210x400 с системой числового программного управления MEGA NC.

Освоение САПР студентами в период обучения является неотъемлемой частью подготовки специалистов нового типа, сочетающих в себе, с одной стороны, глубокие знания и практические навыки в области технологии машиностроения, а с другой стороны, владеющих средствами автоматизации на основе современных информационных технологий и вычислительной техники.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современные машины и механизмы состоят из множества деталей, выполняющих различные функции. Деталь – это объект, входящий в состав изделия и обладающий совокупностью геометрических параметров и физико-механических свойств.

Проектирование любой детали начинается с определения ее места в конструкции изделия, анализа действующих на деталь нагрузок и других условий, определяющих её функционирование. При проектировании детали, входящей в создаваемое изделие, целесообразно ознакомиться с существующими изделиями аналогичного назначения, учесть рекомендации к подобным деталям, приведенные в справочной и другой технической литературе. В случае необходимости на этапе проектирования детали выполняются прочностной, газодинамический, тепловой и другие инженерные расчеты. Если изделие содержит стандартизованные детали, то их геометрические размеры выбираются из соответствующих таблиц справочной литературы или стандартов. После выбора материала детали, определения её геометрических параметров выполняется чертеж детали. Рабочий чертеж детали должен содержать минимальное количество видов, достаточное для представления конструкции детали, все необходимые линейные и угловые размеры с полями допусков на их изготовление, конструкторские базы, отклонения формы, расположения, шероховатость поверхностей и другие технические требования. Для стабильного обеспечения требуемой точности изготовления деталей при их проектировании следует стремиться к тому, чтобы конструкторские базы совпадали с технологическими и измерительными базами.

На рис. 1.1 в качестве примера приведен чертеж сопловой части макета двигателя JUMO 004.

Процедура проектирования технологического процесса изготовления любой детали в общем случае включает в себя: анализ рабочего чертежа и других исходных данных, необходимых для разработки технологического процесса; анализ технологичности детали; выбор вида и способа получения заготовки; выбор метода обработки отдельных поверхностей; расчет припусков и межоперационных размеров; выбор и обоснование схем базирования; разработку маршрутной тех-

нологии; назначение и расчет режимов обработки; оформление технологического процесса. Однако в ряде случаев некоторые из перечисленных компонент могут быть исключены из процесса проектирования технологии изготовления детали. Например, в случае ограниченного парка металлорежущего оборудования метод обработки поверхности может быть один, а если изготавливается стандартная или типовая детали, то для них существуют отработанные маршруты обработки и т.д.

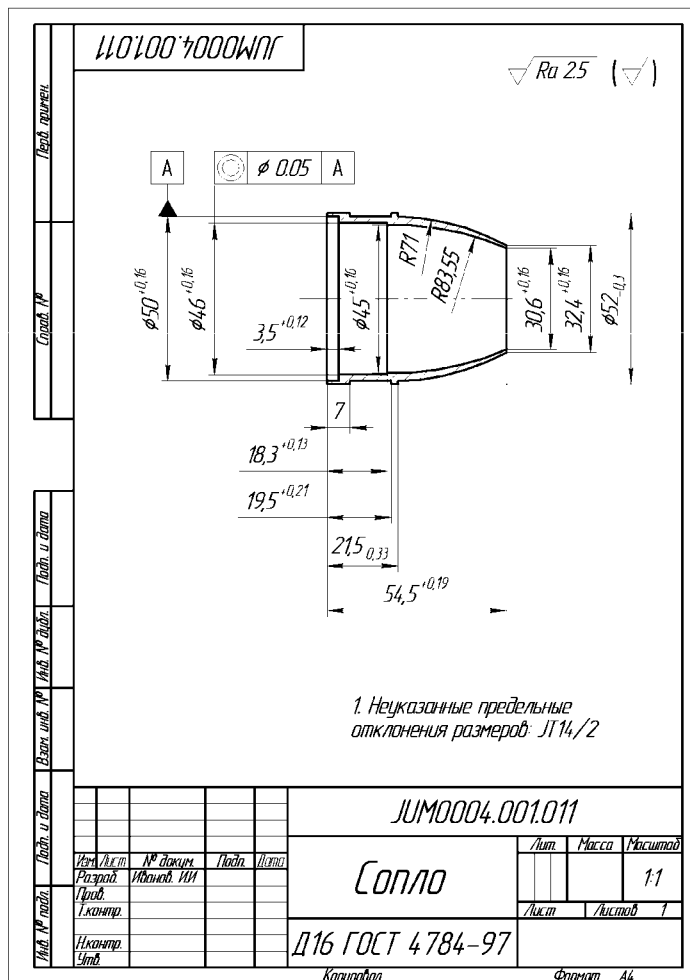


Рис. 1.1. Сопло макета двигателя JUMO 004

В предлагаемой работе описаны технологии геометрического моделирования и разработки технологических процессов изготовления деталей на примере проектирования сопла макета двигателя JUMO 004.

Используя рабочий чертеж, в модуле CAD системы ADEM выполняется построение геометрических моделей детали и заготовки, из которой будет изготовлена деталь, а маршрут обработки и управляющая программа создаются на основе использования CAM модуля этой системы.

Блок-схема разработки технологического процесса представлена на рис. 1.2.

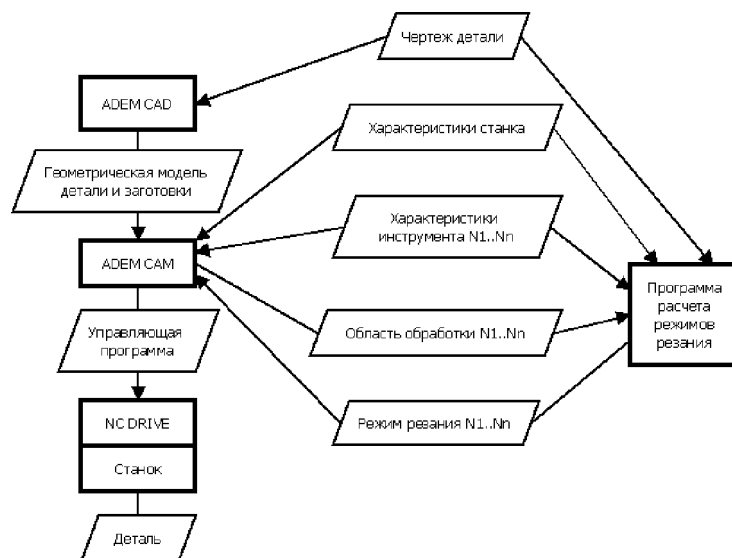


Рис. 1.2. Блок-схема разработки технологического процесса

Сопло, приведенное на рис. 1.1, является телом вращения и может быть изготовлено с помощью токарных технологических переходов. Однако, учитывая, что внутренняя и наружная поверхности макета сопла являются фасонными поверхностями, изготовление их на универсальном оборудовании вызывает значительные сложности. Поэтому эти поверхности целесообразно обрабатывать в автоматическом

режиме с использованием соответствующих траекторий движения инструмента, т.е. на станках с ЧПУ. Так как размеры макета сопла невелики, то для его обработки можно использовать токарный станок Quantum D210x400 с системой ЧПУ MEGA NC.

Построение маршрута обработки и последовательности переходов осуществляется в интерактивном режиме. При этом учитываются технические характеристики станка и инструмента, определяются обрабатываемые области и рациональные условия формообразования, после чего создается управляющая программа (УП). Для передачи УП на станок используется программа NC DRIVE.

Типы токарных резцов, необходимых для осуществления процесса обработки, выбираются исходя из геометрии детали. Так, подрезку торцов цилиндрической заготовки можно выполнить либо проходным отогнутым резцом, либо специальным подрезным резцом. Для точения наружной поверхности целесообразно использовать проходной резец, а обработку прямоугольной круговой канавки можно выполнить отрезным токарным резцом. Обработку внутренней поверхности сопла следует выполнить расточным резцом.

При построении технологического процесса изготовления любой детали, в частности макета сопла двигателя JUMO 004, для каждого перехода необходимо применять рациональный режим обработки. Использование рациональных режимов обработки позволяет обеспечить минимальную себестоимость технологического процесса при обеспечении заданных требований к геометрии, микрогеометрии и состоянию поверхностного слоя. Для определения рациональных условий обработки для формообразования поверхностей детали, включающих: режим резания, инструментальный материал, смазывающе-охлаждающее технологическое средство и т.д., используем специальную авторскую программу, представленную в разделе 5.

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ В CAD/CAM СИСТЕМЕ ADEM 7.1

Система ADEM, название которой складывается из первых букв английских слов Automatic Design Engineering Manufacturing (автоматизированное черчение, проектирование, производство), является универсальной, российской, интегрированной CAD/CAM/CAPP системой, предназначенной для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Система разрабатывается и распространяется фирмой Omega Technologies Ltd, она содержит несколько различных предметно-ориентированных САПР под единой логикой управления и на единой информационной базе:

- компьютерное проектирование изделий (Computer Aided Designing – CAD);
- производство изделий с применением компьютерных методов (Computer Aided Manufacturing – CAM). Под этим чаще всего понимается применение станков с ЧПУ для обработки изделий или формообразующего инструмента;
- подготовка полных комплектов конструкторской и технологической документации (Computer – Aided Process Planning – CAPP).

Основой для выполнения всех стадий моделирования является создание геометрических моделей деталей. На основании этих моделей проводятся инженерные расчеты будущего изделия, оформляются плоскографические чертежи, спецификации, карты эскизов технологического процесса, управляющие программы для обработки на станках с ЧПУ.

2.1. ПОСТРОЕНИЕ 2D МОДЕЛЕЙ

Базовые геометрические элементы, такие как линия, дуга окружности, окружность, сплайновые кривые, лежат в основе плоскографических чертежей, карт эскизов технологических процессов и вспомогательных 2-мерных контуров. Подавляющее большинство 3D моделей строится на основе 2-мерных контуров методами вращения, смещения, вырезания и наращивания материала. Рассмотрим различные способы построения геометрических примитивов в модуле CAM системы ADEM 7.1.

2.1.1. ПОСТРОЕНИЕ ОТРЕЗКОВ

Для построения отрезков используются следующие команды, которые находятся на панели инструментов «2D Объекты» [1]:



– «Отрезок»;



– «Построение линии под углом»;



– «Построение линии, касательной к окружности»;



– «Построение линии, касательной к окружности под заданным углом»;



– «Построение линии, касательной к двум элементам»;



– «Построение линии по двум точкам».

Наиболее часто применяемые команды построения отрезков указаны далее по тексту.

Построение отрезка по двум точкам:

– нажмите кнопку «Отрезок»  на панели инструментов «2D Объекты»;

– укажите начальную и конечную точки отрезка.

Построение линии под углом:

– нажмите и удерживайте кнопку «Отрезок»  на панели инструментов «2D Объекты». Выберите кнопку «Линия под углом» .

– в поле «Угол =>» введите значение угла наклона. В поле «Дельта =>» введите длину линии. Нажмите кнопку «ОК» или клавишу «Enter»;

– укажите начальную точку линии.

Построение линии, касательной к окружности:

– нажмите и удерживайте кнопку «Отрезок»  на панели инструментов «2D Объекты». Выберите кнопку «Линия, касательная к окружности» .

– укажите окружность, затем исходную точку.

2.1.2. ПОСТРОЕНИЕ ОКРУЖНОСТЕЙ

Для построения окружностей используются следующие команды, которые находятся на панели инструментов «2D Объекты» [1]:

-  – «Окружность»;
-  – «Окружность по двум точкам»;
-  – «Окружность по трем точкам»;
-  – «Окружность с осями симметрии»;
-  – «Окружность заданного диаметра»;
-  – «Окружность заданного диаметра с осями симметрии»;
-  – «Окружность, касательная к элементу и проходящая через заданную точку»;
-  – «Окружность, касательная к элементу с центром в указанной точке»;
-  – «Окружность, касательная к двум элементам»;
-  – «Окружность, касательная к трем элементам».

К наиболее часто применяемым командам построения окружностей относятся команды, приведенные ниже по тексту.

Построение окружности по центру и точке, ей принадлежащей:

- нажмите кнопку «Окружность»  на панели инструментов «2D Элементы»;
- укажите центр окружности;
- укажите узел на окружности.

Построение окружности заданного диаметра:

- нажмите кнопку «Окружность»  на панели инструментов «2D Элементы» и, удерживая её, выберите «Окружность заданного диаметра»  из выпадающего меню;

- в поле «Диаметр =>» введите значение диаметра окружности и нажмите клавишу «Enter»;
- укажите центр окружности.

2.1.3. ПОСТРОЕНИЕ ДУГ ОКРУЖНОСТЕЙ

Для построения дуг окружностей используются следующие команды, которые находятся на панели инструментов «2D Объекты» [1]:



– «Дуга Центр»;



– «Дуга по трем точкам»;



– «Дуга с осями».

Наиболее часто применяемые команды построения дуг окружностей указаны далее по тексту.

Построение дуги по начальной точке, центру и конечной точке:

- нажмите кнопку «Дуга Центр»  на панели инструментов «2D Элементы»;
- укажите начало дуги, центр и узел, определяющий угол раствора дуги.

Построение дуги по трём точкам:

- нажмите кнопку «Дуга Центр»  на панели инструментов «2D Элементы» и, удерживая ее, выберите кнопку «Дуга по трем точкам»  в выпадающем меню;
- укажите три узла на дуге.

2.1.4. ПОСТРОЕНИЕ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

Построение прямоугольников [1]:

- нажмите кнопку «Прямоугольник»  на панели инструментов «2D Объекты»;
- укажите два противоположных угла прямоугольника.

Построение правильных многоугольников:

- нажмите кнопку «Многоугольник»  с осями симметрии на панели инструментов «2D Объекты»;

– задайте число сторон многоугольника в поле «Число сторон» и нажмите кнопку «ОК»;

– укажите центр и точку на окружности. Будет построен вписанный или описанный многоугольник и одна из его осей симметрии будет проходить через указанные точки.

2.1.5. ПОСТРОЕНИЕ ЛОМАНЫХ ЛИНИЙ И ЗАМКНУТЫХ КОНТУРОВ

Построение ломаной линии [1]:

– нажмите кнопку «Ломаная линия»  на панели инструментов «2D Объекты»;

– последовательно укажите все узлы ломаной линии;

– нажмите среднюю кнопку мыши или клавишу «Esc» для завершения построения.

Построение замкнутого контура:

– нажмите кнопку «Замкнутый контур»  на панели инструментов «2D Объекты»;

– укажите последовательно все узлы замкнутого контура;

– нажмите среднюю кнопку мыши или клавишу «Esc» для завершения построения. Начальный и конечный узлы контура будут соединены прямолинейным сегментом.

2.1.6. ПРИМЕР СОЗДАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛИ И ЗАГОТОВКИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЕЁ ОБРАБОТКИ

В качестве исходных данных для построения моделей возьмем чертеж сопловой части макета двигателя JUMO 004, представленный на рис. 1.1. Используя приведенные выше способы построения геометрических примитивов, создадим геометрические модели детали и заготовки на различных стадиях её обработки.

Как видно из рис. 1.1, сопло является телом вращения, поэтому в качестве исходной заготовки целесообразно использовать цилиндр со сквозным отверстием, выполненным вдоль её оси. Исходя из габаритов макета сопла, с учетом припуска на обработку на сторону по наибольшему наружному и наименьшему внутреннему диаметрам и по

обоим торцам, равным 1 мм, габаритные размеры заготовки составят: длина $L = 60$ мм, наружный диаметр $D = 54$ мм, внутренний диаметр $d = 28$ мм. Общий вид заготовки представлен на рис. 2.1.

Ввиду достаточно сложной геометрии сопла его изготовление на токарной операции возможно с двух установов. Для каждого из установов создадим геометрические модели заготовки. Геометрическая модель детали останется, естественно, неизменной.

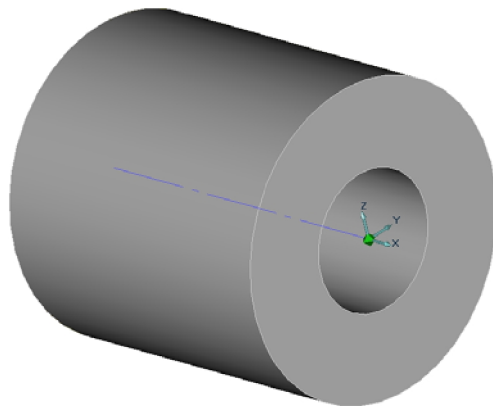


Рис. 2.1. Заготовка детали

При первом установе заготовки будут обрабатываться внутренние поверхности макета сопла, поэтому закрепление заготовки целесообразно осуществлять в обратных кулачках трехкулачкового патрона. При этом установочной базой будет левый торец заготовки, а направляющей базой – наружная цилиндрическая поверхность, что видно из рис. 2.2. Начало координат следует располагать на правом торце заготовки. Так как при первом установе производится формообразование внутренних поверхностей сопла, то при его расточке потребуется задать только внутреннюю образующую отверстия в заготовке. Как уже отмечалось ранее, исходная заготовка, так же как и деталь, является телом вращения с центральным отверстием, поэтому для определения её геометрии достаточно задать только контур и его положение относительно оси.

Геометрические модели детали и заготовки в среде ADEM при первом установе приведены на рис. 2.3.

При втором установе заготовки будут обрабатываться второй торец и наружные поверхности макета сопла. В этом случае заготовка также будет закрепляться в трехкулачковом патроне, при этом

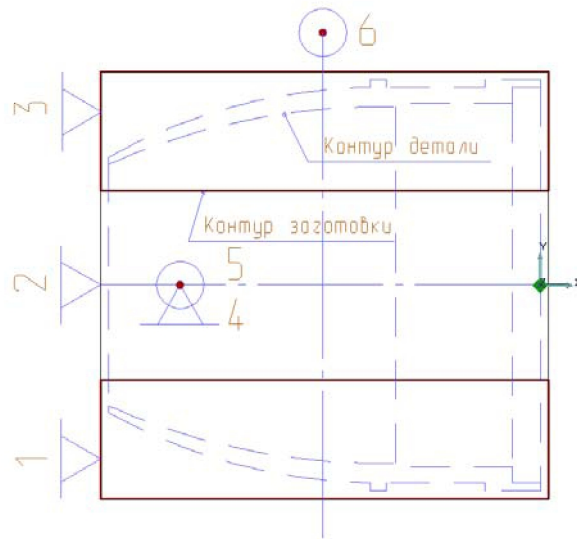


Рис. 2.2. Схема базирования заготовки при первом установе

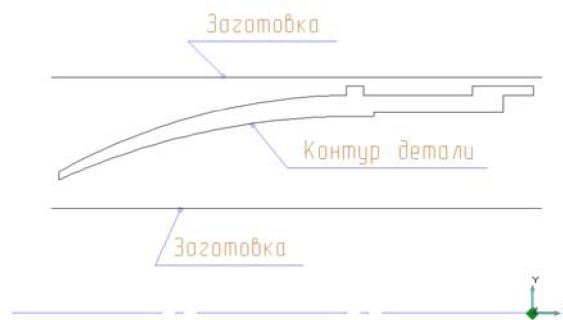


Рис. 2.3. Геометрические модели детали и заготовки при первом установе

установочной базой, как видно из рис. 2.4, будет торец заготовки со стороны большего диаметра сопла, а направляющей базой – внутренняя цилиндрическая поверхность сопла.

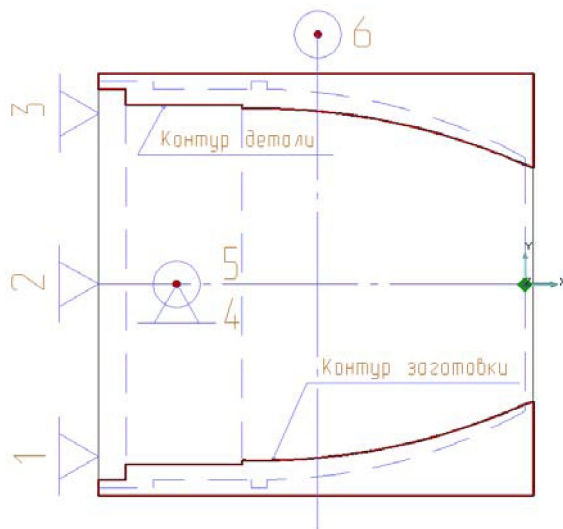


Рис. 2.4. Схема базирования заготовки при втором установе

Геометрические модели детали и заготовки в среде ADEM при втором установе приведены на рис. 2.5.

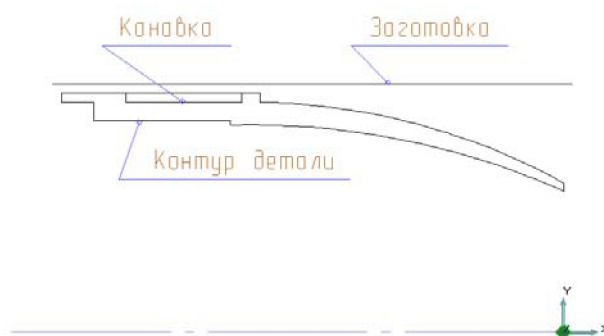


Рис. 2.5. Геометрические модели детали и заготовки при втором установе

Построенные 2D модели детали и заготовки (при первом и втором установках) будут использованы при создании управляющей программы в модуле САМ системы ADEM.

2.2. ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛЕЙ

Многие детали машин, и в частности газотурбинных двигателей, имеют сложную форму: ступенчатые, наклонные и фасонные поверхности; внутренние полости различной конфигурации; разнообразные конструктивные элементы, такие как резьба, шлицы, венцы зубчатых колес, лабиринтные уплотнения и т.д. В этих случаях плоскографическое представление детали затруднено. Помимо основных видов требуется изображать множество дополнительных разрезов и сечений, поэтому чертеж детали становится труден для чтения. Трехмерная модель детали может служить эффективным дополнением к чертежу и обеспечить лучшее восприятие детали. Современные программные пакеты твердотельного моделирования позволяют создавать подобные 3D модели. Виртуальную модель можно повернуть, рассечь и заглянуть внутрь, измерить на ней интересующие линейные и угловые размеры.

Рассмотрим некоторые способы построения 3D моделей в системе ADEM, в версии ADEM 7.1.

2.2.1. СОЗДАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ТЕЛ НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЕЙ

Команды построения 3D тел на основе профилей находятся на панели инструментов «3D Объекты 1». Процесс создания большинства тел на основе профилей основан на одной и той же последовательности действий. Для создания объемного тела любого типа необходимо выполнить следующие действия: выбрать профиль или профили и задать параметры объемного тела.

Вращение [2]. Команда «Вращение» позволяет создавать объемные тела вращением профиля вокруг заданной оси на заданный угол. Профиль может быть замкнутым или разомкнутым. При вращении незамкнутого профиля на угол, не равный 360° , будет создана открытая оболочка. Пример открытой оболочки представлен на рис. 2.6.

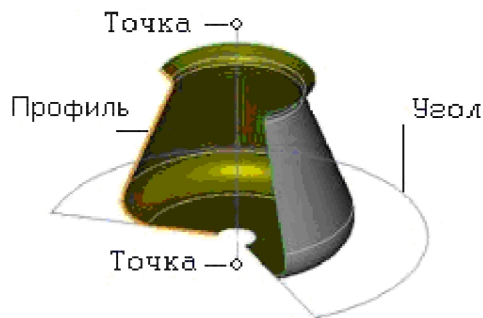


Рис. 2.6. Построение незамкнутой оболочки

В качестве профиля могут быть выбраны плоские элементы, ребра или грани объемных тел. Если выбраны несколько отдельных элементов и ребер, будет построено несколько отдельных объемных тел. В том случае, если выбранные плоские элементы и ребра образуют цепочку и могут быть собраны в единый контур, будет создано одно объемное тело. Если в качестве профиля выбрана грань объемного тела, то в результате выполнения операции будет добавлен материал к телу, которому она принадлежит.

Чтобы создать тело вращением профиля:

- нажмите кнопку «Вращение»  на панели инструментов «3D Объекты 1», появится подсказка «Профиль?»;
- выберите элементы (плоские элементы, ребра или грань), составляющие профиль сечения, и нажмите среднюю кнопку мыши или клавишу «Esc» для завершения выбора;
- в поле «Угол» введите угол вращения. Значение может быть как положительным, так и отрицательным;
- нажмите кнопку «ОК» в строке ввода параметров или клавишу «Enter» на клавиатуре. В строке «Подсказка» появится запрос «Точка оси?»;
- укажите две точки, определяющие ось.

Смещение [2]. Команда «Смещение» позволяет создавать объемные тела смещением профиля в направлении оси Z текущей системы координат на заданную высоту, с заданным углом стенок, что видно

из рис. 2.7, а. В качестве профиля могут быть выбраны плоские элементы, ребра или грани объемных тел. Если выбраны несколько отдельных элементов и ребер, то будет построено несколько отдельных тел. Если выбранные плоские элементы и ребра образуют цепочку и могут быть собраны в единый контур, будет создано одно тело. В том случае, если выбранные элементы лежат внутри другого элемента, то будет построено тело со сквозными отверстиями и заданным углом наклона стенок.

При задании положительного угла стенки наклоняются внутрь создаваемого тела, при задании отрицательного угла – наружу (см. рис. 2.7, б). На рис. 2.7, б представлено объемное тело, построенное при задании положительного угла. По умолчанию угол равен 0° . Если в качестве профиля выбрана грань объемного тела, то в результате выполнения операции будет добавлен материал к телу, которому она принадлежит.

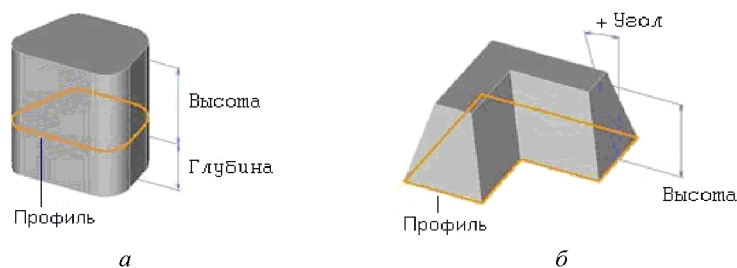


Рис. 2.7. Варианты построения объема командой «Смещение»

Чтобы создать тело смещением профиля:

- нажмите кнопку «Смещение»  на панели инструментов «3D Объекты 1». Появится подсказка «Профиль?»;
- выберите элементы (плоские элементы, ребра или грань), составляющие профиль сечения, и нажмите среднюю кнопку мыши или клавишу «Esc» для завершения выбора;
- в поле «Высота» задайте величину смещения в положительном направлении оси Z текущей системы координат. Значение может быть как положительным, так и отрицательным. В поле «Глубина» задайте

величину смещения в отрицательном направлении оси Z текущей системы координат. Значение может быть как положительным, так и отрицательным;

- в поле «Угол» задайте угол наклона боковых граней тела. Значение может быть как положительным, так и отрицательным;

- в поле «Угол отв.» задайте угол наклона отверстий. Значение может также быть как положительным, так и отрицательным;

- нажмите кнопку «ОК» в строке ввода параметров или клавишу «Enter» на клавиатуре.

Сфера [2]. Команда «Сфера» позволяет построить сферу, используя в качестве профиля окружность или дугу. Радиус окружности или дуги определяет радиус сферы.

Чтобы создать сферу:

- нажмите кнопку «Сфера»  на панели инструментов «3D Объекты 1». Появится подсказка «Профиль?»;

- выберите окружность и нажмите клавишу «Esc» для завершения выбора.

Скругление и создание фаски. Команды на формирование скругления и создание фаски позволяют выполнять скругления постоянного и переменного радиусов, а также построение фаски с постоянной или переменной величиной на заданных ребрах 3D тела. На рис. 2.8, *а* показано построение скругления постоянного радиуса, а на рис. 2.8, *б* – построение фаски постоянной величины на заданном ребре.

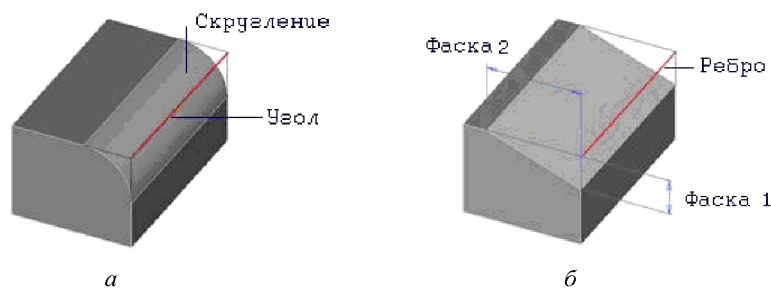


Рис. 2.8. Построение скругления (*а*) и фаски (*б*)

Постоянное скругление [2]. Команда «Постоянное скругление» позволяет создавать скругление постоянного радиуса на выбранных ребрах объемных тел.

Чтобы создать постоянное скругление:

- нажмите кнопку «Постоянное скругление»  на панели инструментов «Редактирование 3D». Появится запрос «Ребра?»;
- выберите ребра путем указания курсора на ребро или с помощью рамки выбора и нажмите клавишу «Esc» на клавиатуре или среднюю кнопку мыши для завершения выбора;
- задайте радиус скругления и нажмите клавишу «Enter» или кнопку «ОК» в строке ввода значений.

Фаска на ребре [2]. Команда «Фаска на ребре» позволяет создавать фаску на выбранных ребрах открытых оболочек и объемных тел.

Чтобы создать фаску:

- нажмите кнопку «Фаска на ребре» . Появится запрос «Ребра?»;
- выберите ребра указанием курсора на ребро или с помощью рамки выбора и нажмите клавишу «Esc» на клавиатуре или среднюю кнопку мыши для завершения выбора;
- в поле «Фаска1=» и «Фаска2=» введите значения фаски и нажмите клавишу «Enter» или кнопку «ОК» в строке ввода значений.

2.2.2. ПРИМЕР СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ ДЕТАЛИ

Построим модель макета сопла двигателя JUMO 004, исходный профиль которого приведен на рис. 2.1. Чтобы построить модель сопла:

- нажмите кнопку «Вращение»  на панели инструментов «3D Объекты 1», появится подсказка «Профиль?»;
- выберите элементы, составляющие замкнутый контур сечения, и нажмите среднюю кнопку мыши или клавишу «Esc» для завершения выбора;
- в поле «Угол» введите угол вращения 270° . Неполное вращение создаст эффект модели с вырезанным сектором;

- нажмите кнопку «ОК» в строке ввода параметров или клавишу «Enter» на клавиатуре. В строке «Подсказка» появится запрос «Точка оси?»;
 - укажите две точки, определяющие ось.
- Результат построений приведен на рис. 2.9.

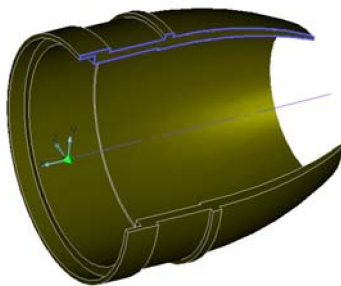


Рис. 2.9. 3D модель макета сопловой части двигателя ЛУМО 004

Рабочее пространство и 3D модель можно поворачивать. Для этого нажмите одновременно клавишу «Shift» и левую кнопку мыши (ЛКМ), после чего перемещайте мышь в сторону желаемого вращения детали. При использовании вместо «Shift» клавиши «Ctrl» можно осуществить плоскопараллельное перемещение 3D модели.

Для возвращения в рабочую плоскость, в которой выполнялись построения контуров, используйте команду «Вид на рабочую плоскость» , находящуюся на панели инструментов «Камера».

3. МАЛОРАЗМЕРНЫЙ ТОКАРНЫЙ СТАНОК QUANTUM D210x400 С СИСТЕМОЙ ЧПУ MEGA NC

3.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Малоразмерный станок Quantum D210x400 с системой ЧПУ MEGA NC является токарно-винторезным станком, предназначенным для продольного и поперечного точения заготовок из круглого, 3-, 6- или 12-гранного металлопроката и литых заготовок, а также заготовок из пластмасс или других материалов, схожих по механическим свойствам. Он предназначен также для нарезания метрических и дюймовых резьб.

Общий вид станка показан на рис. 3.1, а расшифровка позиций, указанных на рис. 3.1, представлена в табл. 3.1.

Технические характеристики данного станка приведены в табл. 3.2.

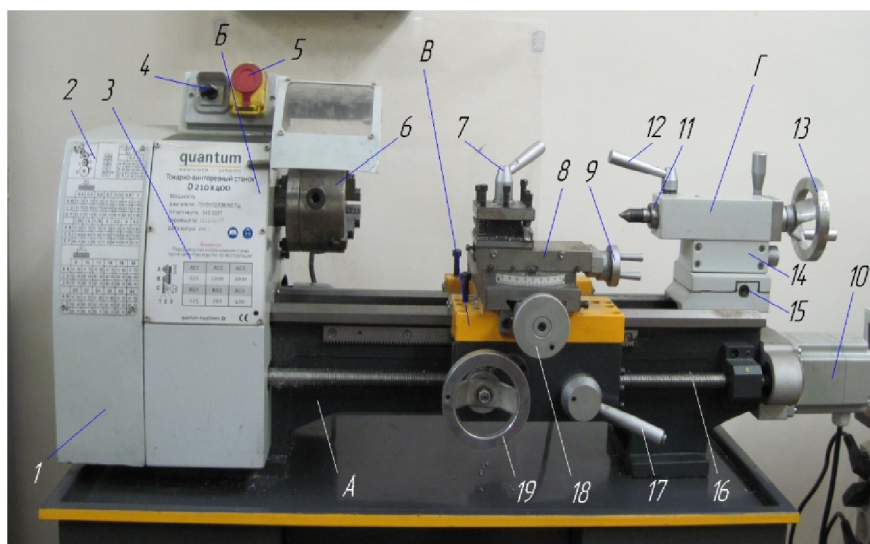


Рис. 3.1. Общий вид станка Quantum D210x400

*Таблица 3.1. Конструктивные и информационные элементы станка
Quantum D210x400*

Поз.	Обозначение
1	Кожух ремня
2	Таблица резьб и подач
3	Таблица чисел оборотов
4	Переключатель направления вращения
5	Пусковой переключатель
6	Токарный патрон
7	Четырехпозиционный резцедержатель
8	Верхняя каретка суппорта
9	Маховик перемещения верхней каретки суппорта
10	Шаговый двигатель
11	Пиноль задней бабки
12	Рукоятка зажима пиноли задней бабки
13	Маховик перемещения пиноли задней бабки
14	Прижимной винт задней бабки
15	Винт смещения задней бабки для точения длинных конусов
16	Ходовой винт
17	Рукоятка включения автоматической подачи
18	Маховик перемещения поперечных салазок суппорта
19	Маховик продольного перемещения суппорта

Станина. Станина токарно-винторезного станка Quantum D210x400, обозначенная под позицией А на рис. 3.1, является его одним из основных конструктивных элементов и не должна подвергаться вибрациям в процессе работы. Поэтому она изготовлена из чугунового литья и усилена ребрами жесткости. Станина служит для установки передней бабки и унифицированного механизма привода подачи (продольной каретки суппорта и ходового винта), а также выполняет функции направляющей поверхности для продольной каретки суппорта и задней бабки [3].

Передняя бабка. В передней бабке, которая обозначена под позицией Б на рис. 3.1, находится шпиндель станка с механизмом главного движения и унифицированным приводом. Шпиндель при вращении

передает заготовке, закрепленной в трехкулачковом патроне, установленном на шпинделе, главное движение резания. Вращение шпинделя станка производится электродвигателем через механизм главного движения [3].

Таблица 3.2. Технические характеристики малоразмерного токарно-винторезного станка Quantum D210x400

Название параметра	Значение или диапазон значений
Высота центров	105 мм
Максимальный диаметр обработки (над станиной)	210 мм
Максимальная длина обработки	400 мм
Диаметр сквозного отверстия в шпинделе	21 мм
Обороты шпинделя	125 – 2000 об/мин (6 ступеней)
Продольная и поперечная подачи	30 – 300 мм / мин
Внутренний конус шпинделя	Морзе 3
Внутренний конус пиноли задней бабки	Морзе 2
Ход пиноли задней бабки	70 мм
Ход поперечной салазки суппорта	110 мм
Ход верхней каретки суппорта	70 мм
Мощность двигателя (220 В)	750 Вт
Габаритные размеры	880 x 500 x 475 мм
Вес	80 кг

Суппорт. Суппорт станка служит для закрепления режущего инструмента и сообщения ему движения подачи. На рис. 3.1 он обозначен под позицией В. Суппорт состоит: из продольной каретки с фартуком, на котором располагаются органы управления подачей; поперечных салазок, скользящих по направляющим каретки; поворотной части с направляющими, по которым перемещается резцовая каретка (верхняя каретка), и четырехпозиционного резцедержателя. Поворотную часть суппорта можно устанавливать под углом к линии центров станка. Суппорт обеспечивает:

- ручную подачу с помощью маховика продольной каретки суппорта;
- перемещение поперечной каретки с помощью маховика;
- автоматическую продольную подачу от ходового винта;
- нарезание резьбы плашками и метчиками при подаче от ходового винта;

– нарезание резьбы резцом при подаче от ходового винта. Возможно нарезание метрических резьб с шагом от 0,4 мм до 3,5 мм и дюймовых резьб с шагом от 10 до 44 ниток на дюйм. Изменение шага осуществляется за счет использования сменных шестерен.

Задняя бабка. Задняя бабка предназначена для закрепления инструментов (сверл, зенкеров, разверток) при обработке отверстий и нарезания резьбы метчиками и плашками, для поддержания обрабатываемой заготовки при работе в центрах, а также для точения длинных пологих конусов [3]. Инструменты или вращающийся центр устанавливаются в конус Морзе 2 выдвижной пиноли станка. На рис. 3.1 задняя бабка обозначена под позицией Г.

Механизм главного движения. Изменение чисел оборотов шпинделя станка обеспечивает механизм главного движения, содержащий три ступенчатых шкива и механизм натяжения ремней. За счет перестановки ремней можно обеспечить шесть ступеней вращения: 125, 210, 420, 620, 1000 и 2000 об/мин [3]. Механизм главного движения станка приведен на рис. 3.2.

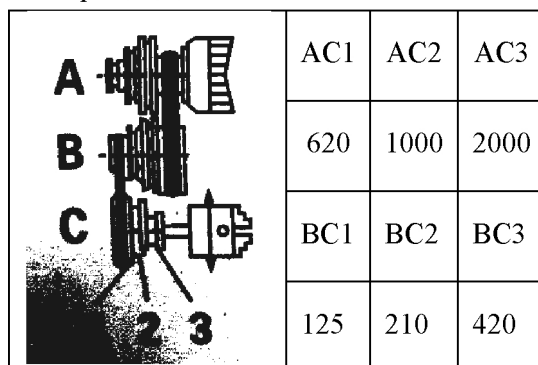


Рис. 3.2. Механизм главного движения станка Quantum D210x400

3.2. СИСТЕМА ЧПУ MEGA NC

Управление продольной и поперечной подачами станка Quantum D210x400 в программируемом режиме осуществляется от персонального компьютера (ПК) посредством установленной на нем программы NC Drive. NC Drive – универсальная программа для управления шаговыми двигателями металлорежущих станков посредством передачи тактовых и управляющих сигналов, она обеспечивает поддержание управлением до 4 осей при неограниченной длине управляющей программы. NC Drive может быть использована как для непосредственного управления станком в ручном режиме, так и для интеграции в комплексное CAD/CAM решение. При работе в интегрированной среде NC Drive получает G-код управляющей программы обработки со всеми параметрами и настройками от системы ЧПУ MEGA NC и автоматически преобразует его в непосредственные логические команды управляющему контроллеру. Программа предназначена для работы в среде Windows и позволяет полностью реализовать потенциал современных высокопроизводительных ПК, вплотную приближаясь к возможностям дорогих промышленных систем ЧПУ.

Управляющие сигналы с ЭВМ через LPT порт поступают на аппаратный ускоритель, приведенный на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Аппаратный ускоритель NC Drive

Аппаратный ускоритель позволяет осуществлять высокودинамичное управление двигателями в реальном времени. Использование аппаратного ускорителя позволяет станку с сервоприводами обеспечить динамику и эластичность работы [3].

Сигналы, выходящие с аппаратного ускорителя, усиливаются с помощью контроллера CNC-Controller III, которым оснащен станок Quantum D210x400. Общий вид контроллера NC-Controller III представлен на рис. 3.4. С контроллера сигналы поступают непосредственно на шаговые двигатели.

Продольная (ось Z) и поперечная (ось X) подачи осуществляются V_i – полярными шаговыми двигателями OPTIMUM с шагом по углу поворота $1,8^\circ$. При этом двигатели продольной и поперечной подач создают соответственно моменты, равные 4,2 Нм, и 2,2 Нм и потребляют мощность 14,4 Вт и 7,5 Вт. При повороте двигателя на один шаг осуществляется либо поперечное, либо продольное перемещение суппорта. Количество шагов и временная задержка между ними определяются управляющей программой и задаются аппаратным ускорителем NC Drive [3].



Рис. 3.4. Контроллер CNC-Controller III

Таким образом, осуществляется попеременное перемещение режущего инструмента в плоскости по двум осям X и Z. Динамично меняющиеся частоты подачи управляющих сигналов на шаговые двигатели согласованы между собой. Благодаря чему можно проводить обработку деталей с применением линейной и круговой интерполяции различных направлений.

Токарно-винторезный станок Quantum D210x400 с системой ЧПУ MEGA NC позволяет получать детали со сложным фасонным профилем как наружных, так и внутренних поверхностей.

3.3. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Токарная обработка производится при вращательном движении заготовки и поступательном движении резца. Для изготовления детали по чертежу, приведенному на рис. 1.1, потребуется применение комплекта различных токарных резцов. Подрезка торцов и обточка наружных поверхностей выполняются проходным резцом. Для формообразования внутренних поверхностей макета сопла двигателя JUMO 004 используется расточной резец, а для обработки круговой канавки применяется отрезной резец с прорезной пластиной. Параметры резцов и режущих пластин приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Параметры режущего инструмента

Параметры	Резец		
	проходной	расточной	отрезной
Материал пластины	ВК8	ВК8	ВК8
Форма пластины	ромбическая	ромбическая	прорезная
Высота державки H , мм	12	16	10
Ширина державки B , мм	12	16	10
Диаметр D , мм	–	11.5	–
Длина резца L , мм	90	85	90
Стойкость T , мин	25	25	25
Радиус при вершине резца r , мм	0.2	0.2	0.2
Износ резца по задней поверхности h_3 , мм	0.15	0.15	0.15
Главный угол в плане φ , град	90	105	100
Вспомогательный угол в плане φ_l , град	12	10	20
Передний угол в плане γ	12	15	12
Задний угол в плане α	20	15	8
Ширина пластины b , мм	5	5	1.5

4. РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ И ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Процесс создания маршрута обработки и управляющей программы в настоящее время существенно автоматизирован. Широко развиваются программные пакеты, реализующие принципы Computer Aided Manufacturing (CAM). Модуль CAM системы ADEM позволяет создавать в диалоговом интерактивном режиме достаточно сложные и многооперационные маршруты обработки заготовок. Существует возможность проверки корректности движения инструмента и внесения изменений в соответствующие технологические переходы. Составление управляющей программы полностью автоматизировано и зачастую не требует участия пользователя.

Рассмотрим основные понятия, используемые при создании маршрута обработки и управляющих программ.

Маршрут обработки – последовательность технологических объектов, который описывает, что, как и в каком порядке будет обрабатываться. Пример маршрута приведен на рис. 4.1 [4].

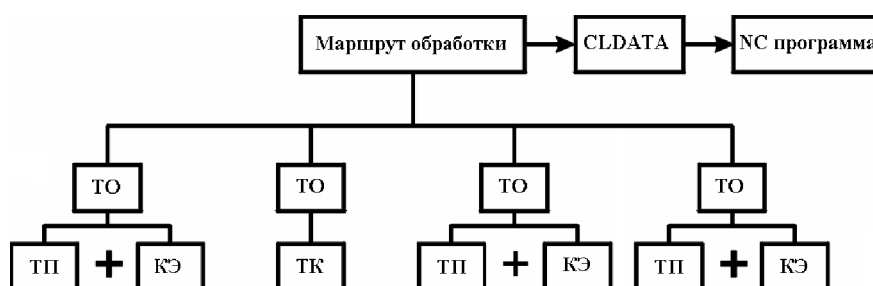


Рис. 4.1. Схема маршрута обработки и генерации управляющей программы в модуле CAM системы ADEM

Технологический объект (ТО) – технологическая команда или совокупность конструктивного элемента и технологического перехода.

Конструктивный элемент (КЭ) – элемент детали, обрабатываемый за один технологический переход. В модуле CAM системы ADEM существует 13 типов конструктивных элементов, которыми

описывается любая геометрия будущего изделия. Порядок задания всех конструктивных элементов одинаков: выбор типа конструктивного элемента, задание параметров конструктивного элемента, указание контура, определяющего границы конструктивного элемента.

Технологический переход (ТП) – набор технологических параметров, определяющих стратегию обработки одного конструктивного элемента. Для создания технологического перехода нужно выбрать тип технологического перехода, задать параметры перехода и параметры инструмента.

Технологическая команда (ТК) – технологический объект, не связанный с непосредственной обработкой (снятием металла). Кроме вспомогательных технологических команд можно определить некоторые общие команды: начало цикла, плоскость холостых ходов и т.д.

CL-DATA – последовательность команд станку. CL-DATA содержит команды перемещения инструмента, команды, не связанные с перемещением инструмента (например, включение/выключение шпинделя, охлаждения), справочную информацию (название УП, модель станка и т.п.).

Управляющая программа (УП) – последовательность команд для определенного вида оборудования. Перед генерацией управляющей программы необходимо рассчитать траекторию движения инструмента и выбрать конкретный вид оборудования (модель станка).

Процесс создания технологического объекта на основе созданной или импортированной геометрической модели включает следующие стадии:

- а) создание конструктивного элемента;
- б) задание технологического перехода. Результатом выполнения шагов «а» и «б» является созданный технологический объект;
- в) повторение шагов «а», «б» для каждого ТО;
- г) задание технологических команд;
- д) редактирование последовательности созданных ТО. Если ТО создавались в правильном порядке, то данный шаг не является обязательным для выполнения;
- е) расчет траектории движения инструмента;

- ж) выполнение моделирования процесса обработки для выявления ошибок в траектории движения инструмента;
- и) создание управляющей программы.

4.1. РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ОБРАБОТКИ

Создадим маршрут обработки для макета сопловой части двигателя JUMO 004.

4.1.1. ПЕРВЫЙ УСТАНОВ ЗАГОТОВКИ

Условия закрепления заготовки при первом установе, описание установочных и направляющих баз, а также обрабатываемых поверхностей приведены в п. 2.1.6.

Последовательно рассмотрим создание технологических объектов для первого установа.

Технологический объект «Начало цикла»

Данный ТО состоит из технологической команды «Начало цикла», которая задает положение начала цикла (настроечной точки инструмента) в пользовательской системе координат. За настроечную точку инструмента принимают либо базовую точку шпинделя или резцедержателя, либо вершину какого-либо участвующего в обработке или фиктивного инструмента [6].

Технологическая команда «Начало цикла» может задаваться многократно для переопределения координат положения инструмента, например при обработке корпусных деталей, и должна предшествовать первому перемещению, заданному относительно вновь определяемого начала отсчета.

В системе реализовано три способа задания положения начала цикла (НЦ): номером системы координат, номерами корректоров с координатами положения инструмента, значениями координат по каждой оси. Первые два способа задают положение инструмента неявно и допустимы только при перемещениях в абсолютной системе координат станка.

Для явного задания положения НЦ необходимо задать значения координат по каждой оси, для этого:

- нажмите кнопку «Начало цикла»  на панели инструментов «Технологические команды». Появится диалог «Начало цикла»;
- задайте начало цикла, используя один из трех методов;
- нажмите кнопку ОК. Будет создан технологический объект «Начало цикла». Название ТО появится в информационной строке (ТО: 1 Начало цикла).

Технологический объект «Подрезать/Торец»

ТО состоит из ТП «Подрезать» и КЭ «Торец». Тип инструмента, используемого в переходе, – резец.

Для задания технологического перехода «Подрезать» [6] выполните следующие действия:

- нажмите кнопку «Подрезать»  на панели «Переходы». Появится диалоговое окно «Подрезать», представленное на рис. 4.2;
- задайте параметры перехода «Подрезать» во вкладках «Параметры» «Дополнительные» и «Инструмент»;
- нажмите ОК. Технологический переход «Подрезать» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 2 Подрезать/***)).

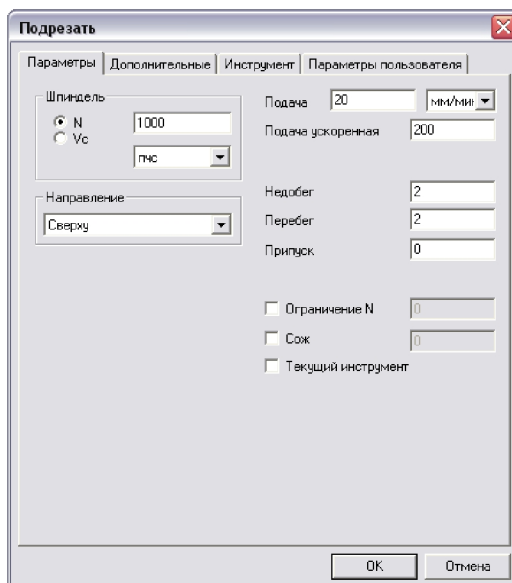


Рис. 4.2. Вкладка «Параметры» диалогового окна «Подрезать»

Вкладка «Параметры» содержит группу полей, именуемых: «Шпиндель», «Направление», «Подача», «Подача ускоренная», «Припуск», «Недобег», «Перебег» и «Текущий инструмент».

Группа полей – «Шпиндель» устанавливает частоту вращения шпинделя, об/мин и направление его вращения. Частота вращения шпинделя назначается после определения рациональных условий обработки, которые определяются по программе, приведенной в подразделе 5.3 и разработанной на основе математической модели, описанной в подразделах 5.1 и 5.2. Направление вращения шпинделя выбираем «Против часовой стрелки – ПЧС».

Направление движения инструмента в поле «Направление» может быть задано как к центру (сверху), так и от центра (снизу). Схемы движения инструмента приведены на рис. 4.3. Выберем направление – «Сверху».

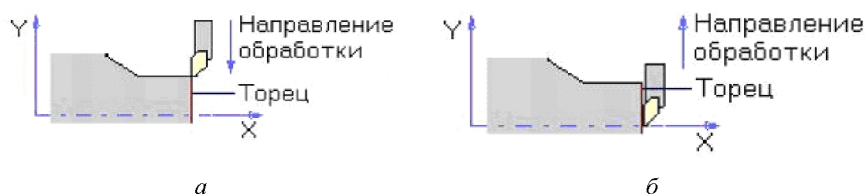


Рис. 4.3. Схемы подрезки торца при движении инструмента к центру (а) и от центра (б)

В поле «Подача» – указывается числовое значение рабочей скорости движения подачи инструмента (мм/мин) или просто подачи. Этот параметр назначается после проведения расчета по определению рациональных условий обработки, о чем было сказано ранее.

Поле – «Подача ускоренная», определяет скорость движения инструмента на холостом ходу. Примем величину этой подачи равной 200 мм/мин.

В поле «Припуск» указывается остаточный припуск, т.е. необработанный слой материала, оставленный на контуре конструктивного элемента. Остаточный припуск на торце показан на рис. 4.4, а. В предлагаемом маршруте формообразования макета сопла подрезка

торца является окончательной обработкой, поэтому нет необходимости оставлять несрезанный слой материала в виде припуска, т.е. величину припуска задаем равной нулю.

Недобег – это расстояние от инструмента до точки начала обработки, т.е. расстояние, на котором производится переключение с холостого хода на рабочую подачу. Недобег инструмента показан на схеме, представленной на рис. 4.4, б. В поле «Недобег» вкладки «Параметры» укажем значение, равное 2 мм, исключающее врезание инструмента в заготовку на холостом ходу.

Перебег – это расстояние, на которое инструмент выходит за границу области обработки на рабочей подаче. Перебег инструмента показан на схеме, представленной на рис. 4.4, в. Для тел вращения с осевым отверстием целесообразно задать величину перебега, исключающую недорез и заусенцы на минимальном диаметре торца. В поле «Перебег» укажем значение, равное 2 мм.

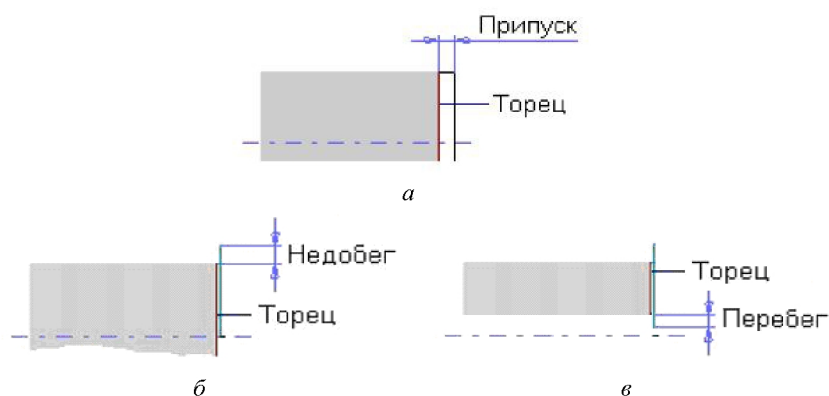


Рис. 4.4. Схема расположения остаточного припуска (а), недобега (б) и перебега (в) инструмента при подрезке торца

В поле «Текущий элемент» может быть установлен или не установлен флажок. Если флажок установлен, то для текущего технологического перехода используется последний загруженный инструмент. Оставляем поле для флажка свободным, т.к. в маршруте обработки не было задано ни одного инструмента.

Вкладка «Дополнительные» в диалоговом окне «Подрезать» содержит группу полей: «Центрование», «Глубина», «Проходов».

В поле «Центрование» оператором может быть установлен флажок. Если флажок установлен, то совместно с подрезкой торца выполняется его центрование. Для обработки заготовки с осевым отверстием выполнять центрование не требуется.

В поле «Глубина» указывается глубина резания, которая определяется расчетным путем на основании использования программы для определения рациональных условий обработки при точении (п. 5.3.2). При этом количество проходов определяется системой исходя из общей глубины области.

В том случае, если технологом задается количество проходов в поле «Проходов», то глубина слоя металла, снимаемого за один проход, определяется делением глубины области на количество проходов. То есть задается либо глубина резания, либо количество проходов.

При подрезке торца, как правило, глубина всей срезаемой области невелика и может быть обработана за один проход. Зададим глубину резания 1 мм.

Вкладка «Инструмент» диалогового окна «Подрезать» показана на рис. 4.5.

Для выполнения различных технологических переходов требуются инструменты различных типов. Для перехода «Подрезать» используем проходной резец с ромбической пластиной. В ниспадающем меню «Тип» выберем ромбическую пластину. Угол ориентации пластины назначим равным 45° . Ширину пластины зададим равной 5 мм.

В поле «Позиция» вкладки «Инструмент» указывается номер позиции инструмента. Для первого инструмента зададим соответственно номер позиции – 1. При автоматической смене инструмента номер в поле «Позиция» может определять позицию инструмента в revolverной головке, номер инструмента в магазине или номер инструментального гнезда. Станок Quantum D210x400 не оборудован revolverной головкой, поэтому автоматическая смена инструмента в нем осуществляться не может.

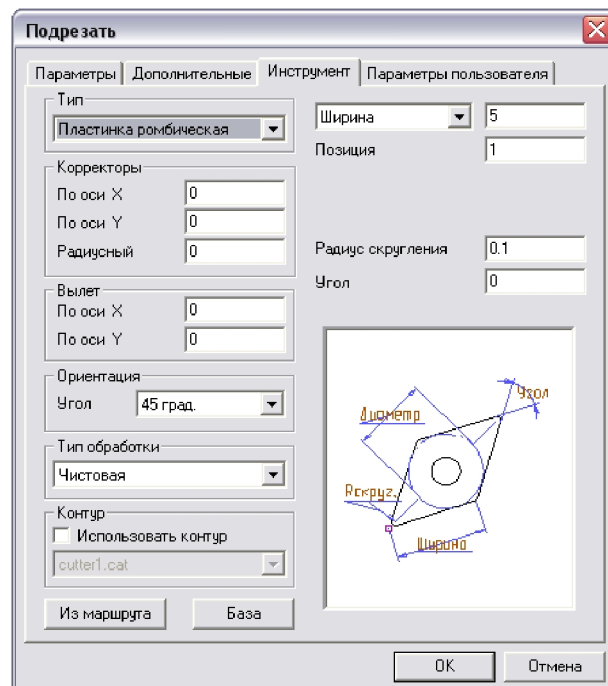


Рис. 4.5. Вкладка «Инструмент» диалогового окна «Подрезать»

Поле «Радиус скругления» определяет радиус скругления пластины при вершине резца. Траектория движения инструмента в зависимости от выбранного радиуса скругления корректируется автоматически. Укажем радиус скругления равным 0,2 мм.

В поле «Тип обработки» укажем – «Чистовой».

Для задания конструктивного элемента «Торец» [6]:

- нажмите кнопку «Торец»  на панели «Конструктивные элементы». Появится диалоговое окно «Торец», показанное на рис. 4.6;
- выберите правый торец;
- нажмите кнопку «Начальная координата – «X нач.» и на контуре детали укажите узел, определяющий положение плоскости, в которой лежит торец. Положение узла показано на рис. 4.7;
- нажмите кнопку «Начальный диаметр – «D нач.» и на внешней линии заготовки укажите узел, координата Y которого задает внешний диаметр торца;

- нажмите кнопку «Конечный диаметр – «D кон.» и на внутренней линии заготовки укажите узел, координата Y которого задает внутренний диаметр торца;
- нажмите ОК, чтобы завершить создание торца.

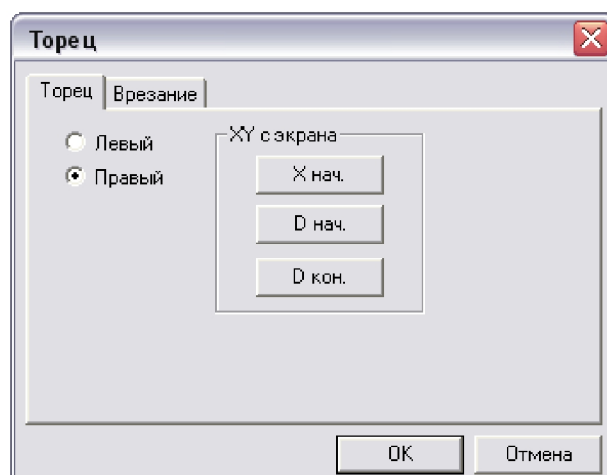


Рис. 4.6. Диалоговое окно «Торец»

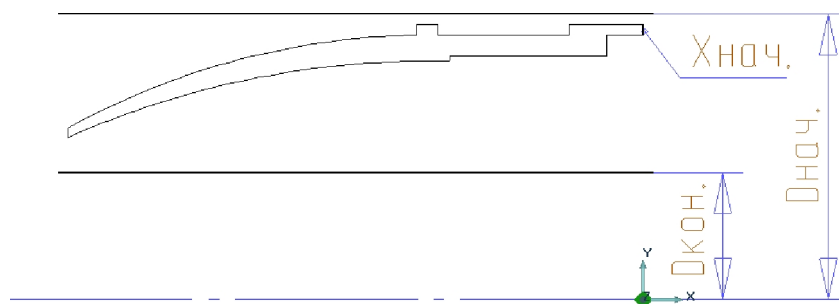


Рис. 4.7. Задание положения торца при первом установе

Технологический объект «Подрезать/Торец» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 2 Подрезать/Торец).

Технологический объект «Отвод»

Данное ТО состоит из технологической команды «Отвод», при выполнении которой происходит перемещение инструмента из теку-

щего положения в «Безопасную позицию». Если «Безопасная позиция» не определена, то инструмент возвращается в «Начало цикла» [6].

Формирование технологической команды «Отвод» выполняется следующим образом:

- нажмите кнопку «Отвод»  на панели инструментов «Технологические команды». Появится запрос «Установить команду Отвод?»;
- нажмите кнопку «Да». Будет создан технологический объект «Отвод». Название ТО появится в информационной строке (ТО: 3 Отвод).

Технологический объект «Растачивание/Область»

ТО состоит из ТП «Растачивание» и КЭ «Область». Инструментом, используемым в переходе «Растачивание», является расточной резец.

Задание технологического перехода «Растачивание» [6] производится в следующей последовательности:

- нажмите кнопку «Растачивание»  на панели «Переходы». Появится диалоговое окно «Растачивание», представленное на рис 4.8;
- задайте параметры перехода «Растачивание» во вкладках «Параметры», «Дополнительные» и «Инструмент»;
- нажмите ОК. Технологический переход «Растачивание» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 4 Растачивание/***).

Вкладка «Параметры» в диалоговом окне «Растачивание» содержит практически те же самые поля, что и в диалоговом окне «Подрезать».

В группу полей – «Шпиндель» введем числовое значение, равное 1000 об/мин и направление вращения – «Против часовой стрелки». Данная частота вращения получена в результате определения рациональных условий обработки по программе, представленной в подразделе 5.3.

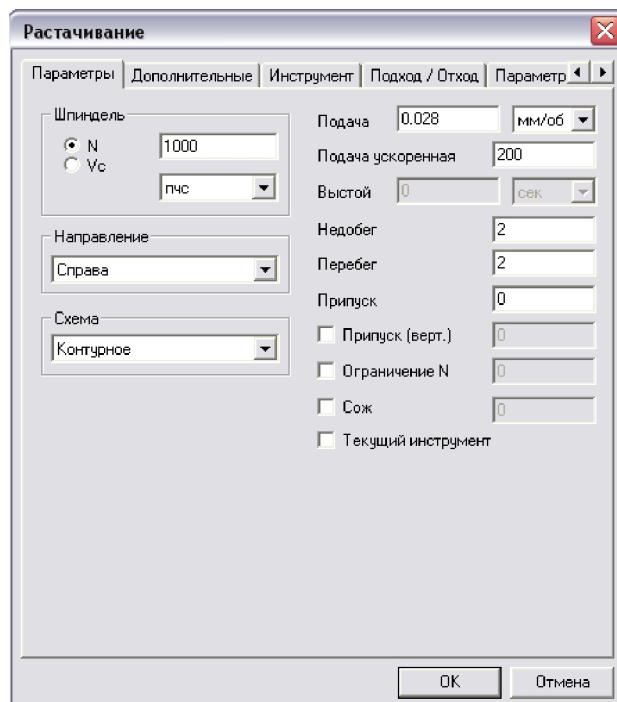


Рис. 4.8. Диалоговое окно «Растачивание»

Резание материала заготовки при растачивании можно осуществлять при движении инструмента слева направо и справа налево. Виды растачивания в зависимости от направления движения резца приведены на рис. 4.9. Выберем направление растачивания в поле «Направление» вкладки «Параметры» диалогового окна «Растачивание» – «Справа».

В модуле CAM системы ADEM при обработке внутренней поверхности можно выбрать одну из семи различных схем обработки. На рис. 4.10 приведены некоторые схемы обработки, существенно отличающиеся последовательностью срезания припуска. Для формообразования внутренней поверхности макета сопла выберем контурную схему обработки, показанную на рис. 4.10, в. То есть в поле «Схема» вкладки «Параметры» укажем – «Контурное».

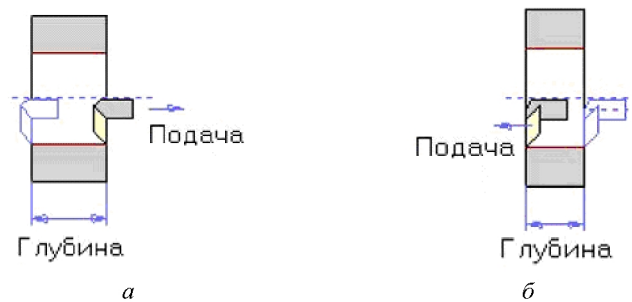


Рис. 4.9. Направления движения резца при растачивании:
а – справа налево; б – слева направо

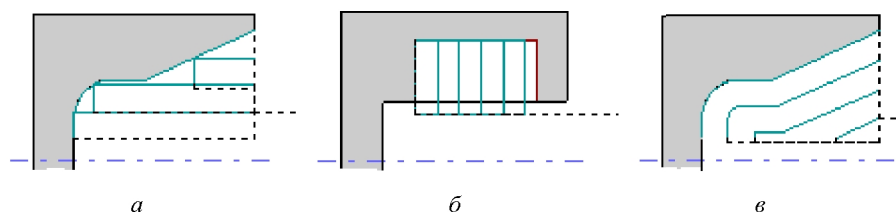


Рис. 4.10. Некоторые схемы токарной обработки
внутренних поверхностей:
а – чистовая; б – прорезка, в – контурная

В поле «Текущий инструмент» вкладки «Параметры» оставляем поле для флажка свободным, т.к. необходимо задать новый расточной резец.

Во вкладке «Дополнительные» зададим многопроходную обработку, установив флажок в соответствующем поле и указав глубину прохода 1,2 мм. На окончательном проходе для обеспечения технических требований чертежа глубина резания не должна быть более 0.45 мм. Это следует из определения рациональных условий обработки, осуществляемого по программе, представленной в подразделе 5.3.

В системе ADEM при контурной и смещенной схеме обработки существует возможность разбить последний проход на два. Первый из них выполняется на величину $2/3$ от глубины прохода, а окончательный – на $1/3$. Таким образом, достигается возможность выполнения требуемых условий обработки, при которых глубина окончательного

прохода $t = 1,2/3 = 0,4$ мм не превышает значения 0,45 мм. Для включения данной опции необходимо выбрать во вкладке «Дополнительно» поле «Точность».

В условиях черновой обработки, когда к поверхности не предъявляются высокие требования по точности и шероховатости, если величина припуска окажется не кратна заданной глубине прохода, то система попытается перераспределить глубину последнего прохода между предыдущими проходами. В том случае, если результирующая глубина прохода не будет отличаться от заданной более чем на 30%, то будет выполнен расчет обработки с одинаковыми по глубине проходами. Если же результирующая глубина прохода будет отличаться от заданной более чем на 30%, то последний проход будет выполнен с неполной глубиной.

Вкладка «Инструмент» диалогового окна «Растачивание» показана на рис. 4.11.

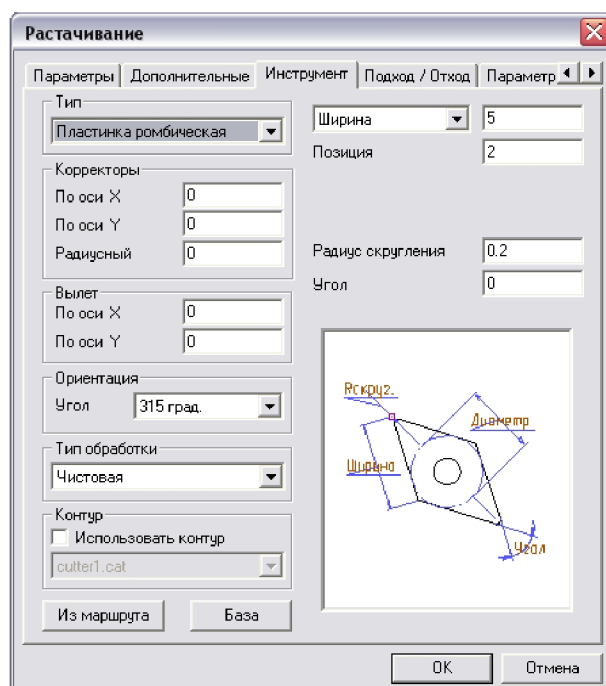


Рис. 4.11. Вкладка «Инструмент» диалогового окна «Растачивание»

Для выполнения токарного перехода «Растачивание» используем расточной резец с ромбической пластиной. Для этого в выпадающем меню «Тип» вкладки «Инструмент» выберем ромбическую пластину. Угол ориентации пластины назначим равным 315° . Ширину пластины зададим равной 5 мм.

В поле «Позиция» вкладки «Инструмент» зададим номер позиции инструмента 2. Далее укажем радиус скругления при вершине резца в поле «Радиус скругления» равным 0,2 мм. В поле «Тип обработки» укажем – чистовой.

Область – это конструктивный элемент, задающий припуск, снимаемый при токарной обработке. Область может быть ограничена одним замкнутым контуром или двумя незамкнутыми контурами (контуром детали и контуром заготовки) [6].

При проектировании технологических процессов в САМ модуле системы ADEM можно задавать следующие типы токарных областей:

- открытая – это область, которая может быть обработана на проход. Данная область приведена на рис. 4.12, а;
- полуоткрытая – это область, которая обрабатывается в упор. Пример такой области показан на рис. 4.12, б;
- закрытая – это область, которая обрабатывается врезанием. Такая область приведена на рис. 4.12, в.

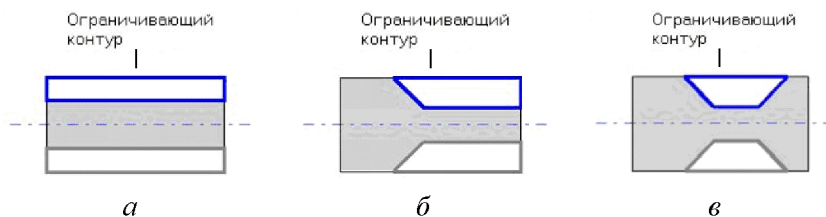


Рис.4.12. Открытая (а), полуоткрытая (б) и закрытая (в) токарные области

Задание конструктивного элемента «Область» при формообразовании внутренней поверхности макета сопла двигателя JUMO 004 производится в следующем порядке:

- нажмите кнопку «Область»  на панели «Конструктивные элементы». Появится диалог «Область»;
- выберите тип области – «Полуоткрытая», показанную на рис. 4.12, б и нажмите ОК;
- укажите контур детали, внутренние поверхности. Появится запрос о положении обрабатываемого материала;
- укажите, с какой стороны от контура будет оставлен материал;
- укажите контур заготовки, линию поверхности осевого отверстия.

Технологический объект «Растачивание/Область» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 4 Растачивание/Область).

Если начальная и конечная точки контуров детали и заготовки не совпадают, система автоматически соединит их прямыми линиями, которые будут включены в состав контура заготовки.

Если контур заготовки не задан, то САМ модуль системы ADEM автоматически достроит снимаемый припуск до цилиндра.

Технологический объект «Отвод»

Данный технологический объект выполняется аналогично описанному ранее – (ТО: 3 Отвод).

Таким образом, заданы все технологические объекты. Маршрут обработки можно увидеть, нажав кнопку «Маршрут»  на панели инструментов «Управление Технологическими Объектами». Откроется диалоговое окно «Управление Маршрутом», приведенное на рис. 4.13.

В диалоговом окне можно удалять, копировать, менять местами отдельные технологические объекты. Можно временно исключать ТО из маршрута для выполнения отладки других объектов.

Для выполнения расчета обобщенной траектории движения инструментов при подрезке правого торца и формообразовании внутренней поверхности макета сопла, т.е. для маршрута обработки, представленного на рис. 4.13:

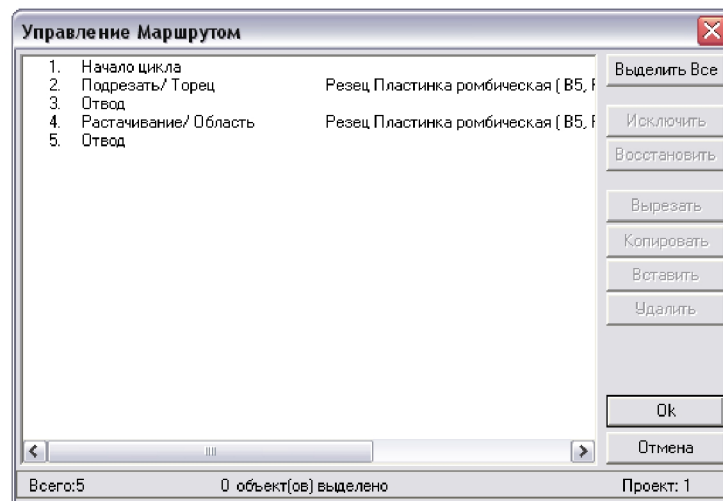


Рис. 4.13. Диалоговое окно «Управление Маршрутом»

- нажмите кнопку «Процессор»  на панели «Процессор»;
- дождитесь завершения процесса построения траектории и нажмите кнопку «ОК».

На рис. 4.14 приведена обобщенная траектория движения инструментов, применяемых при обработке. Пунктирными линиями отображается перемещение вершины текущего резца.

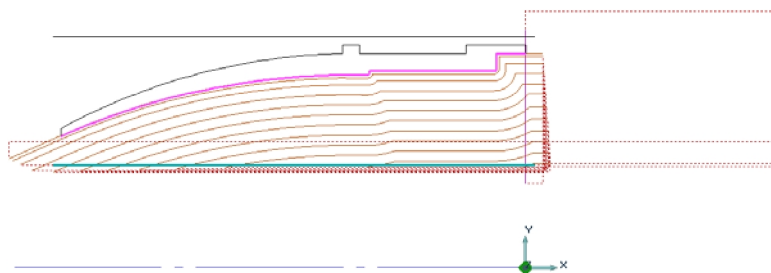


Рис. 4.14. Обобщенная траектория движения инструментов в процессе обработки

Отследить правильность перемещений резцов можно, выполнив моделирование обработки. Для выполнения 2D моделирования:

- нажмите кнопку «Моделирование»  на панели «Моделирование 2D»;
- в появившемся окне «Моделирование» поставьте флажок «Пошаговое моделирование» и нажмите кнопку «СТАРТ»;
- нажимая кнопку «Далее», проследите пошаговое перемещение инструмента по траектории.

Двухмерное моделирование не всегда позволяет отследить все ошибки движений органов станка. Для выполнения 3D моделирования:

- нажмите кнопку «Объемное моделирование» на панели «Моделирование 3D». На экране появится окно блока ADEM NC Verify;
- нажмите кнопку «Simulate mode»;
- нажмите кнопку «Start».

На экране будет выполнена объемная имитация процесса обработки детали.

4.1.2. ВТОРОЙ УСТАНОВ ЗАГОТОВКИ

Составим маршрут обработки при втором установе заготовки.

Условия закрепления заготовки при втором установе, описание установочных и направляющих баз, а также обрабатываемых поверхностей приведены в п. 2.1.6.

Последовательно рассмотрим создание технологических объектов для второго установа.

Технологический объект «Начало цикла»

Данный технологический объект создается аналогично соответствующему ТО для первого установа. После создания ТО его название появится в информационной строке (ТО: 1 Начало цикла).

Технологический объект «Подрезать/Торец»

ТО состоит из ТП «Подрезать» и КЭ «Торец». Тип инструмента, используемого в переходе – резец.

Последовательности задания технологического перехода «Подрезать» и конструктивного элемента «Торец» для второго установа заготовки совершенно аналогичны созданию этих элементов, описанных для первого установа, включая заполнение вкладок. Значения пара-

метров, вводимые в поля вкладок, тоже идентичны. Поэтому повторное изложение этого материала нецелесообразно. Вместе с тем следует отметить, что при создании конструктивного элемента торец на этапе второго установка заготовки вместо рис. 4.7 следует воспользоваться рис. 4.15.

После создания технологического объекта «Подрезать/Торец» в строке подсказки появится сообщение: (ТО: 2 Подрезать/Торец).

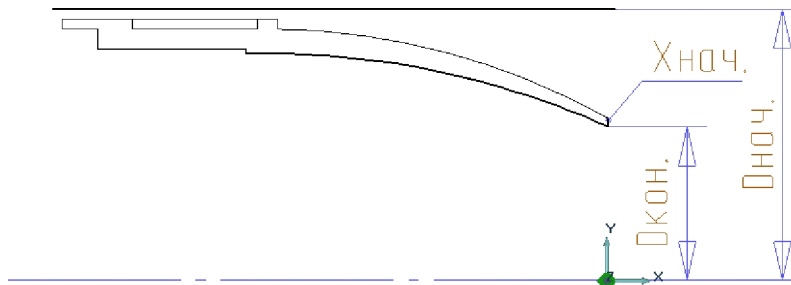


Рис. 4.15. Задание положения торца при втором установе

Технологический объект «Отвод»

Этот технологический объект выполняется аналогично (ТО: 3 Отвод) созданному для первого установа. После создания ТО его название появится в информационной строке.

Технологический объект «Точить/Область»

Данный ТО состоит из ТП «Точить» и КЭ «Область». Тип инструмента, используемого в переходе «Точить» – резец. Используем тот же инструмент, что и для подрезки торца.

Задание технологического перехода «Точить» [6] производится в следующей последовательности:

- нажмите кнопку «Точить»  на панели «Переходы». Появится диалоговое окно «Точить»;
- задайте параметры перехода «Точить» во вкладках «Параметры» и «Дополнительные» диалогового окна «Точить». Заполнять вкладку «Инструмент» в данном случае не потребуется;

– нажмите ОК. Технологический переход «Точить» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 4 Точить/***)).

Во вкладке «Параметры», так же как и в предыдущих технологических переходах, заполняется группа полей, именуемых: «Шпиндель», «Направление», «Схема», «Подача», «Подача ускоренная», «Припуск», «Недобег», «Перебег» и «Текущий инструмент».

В группу полей – «Шпиндель» введем числовое значение, равное 1000 об/мин, и направление вращения – «Против часовой стрелки». Данная частота вращения получена в результате определения рациональных условий обработки по программе, представленной в подразделе 5.3.

В технологическом переходе «Точить» обработку заготовки можно вести: «Слева» – продольная обработка слева направо; «Справа» – продольная обработка справа налево и «Сверху» – поперечное точение, когда движение резца осуществляется перпендикулярно оси вращения заготовки. Выберем направление обработки – «Справа».

В модуле САМ системы ADEM при обработке наружной поверхности можно выбрать одну из семи различных схем обработки. На рис. 4.16 приведены некоторые схемы обработки, существенно отличающиеся последовательностью срезания припуска. Для формообразования наружной поверхности макета сопла (без выборки материала кольцевой канавки) выберем контурную схему обработки, показанную на рис. 4.16, в. То есть в поле «Схема» вкладки «Параметры» укажем – «Контурное».

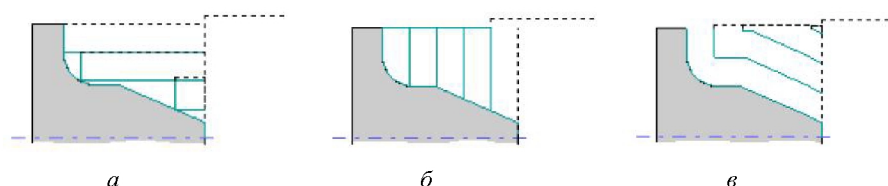


Рис. 4.10. Некоторые схемы токарной обработки наружных поверхностей:
а – чистовая; б – прорезка, в – контурная

В поле «Подача» – укажем числовое значение скорости движения подачи инструмента, равное 0,028 мм/об. Значение этого параметра получено на основании расчета по определению рациональных условий обработки, что видно из результатов расчета, приведенных в подразделе 5.3.

В поле – «Подача ускоренная» введем значение 200 мм/мин. На этой подаче будет осуществляться ускоренное перемещение инструмента.

В поле «Припуск» укажем остаточный припуск, равный нулю, так как обработка является окончательной.

В поле «Недобег» вкладки «Параметры» укажем значение, равное 2 мм, исключающее врезание инструмента в заготовку при ускоренном его движении на холостом ходу.

В поле «Перебег» укажем значение, равное 0,5 мм, чтобы, во-первых, исключить недорез и образование заусенцев на левом торце заготовки, а, во-вторых, не коснуться инструментом кулачков патрона.

Для обработки наружной поверхности сопла (кроме кольцевой выточки) используем тот же самый инструмент, что и для подрезки торца. Укажем это, поставив флажок в поле «Текущий инструмент».

Во вкладке «Дополнительные» зададим многопроходную обработку, установив флажок в соответствующем поле и указав глубину прохода 1,2 мм. На окончательном проходе для обеспечения технических требований глубина резания не должна быть более 0,45 мм. Выберем во вкладке «Дополнительно» поле «Точность». Последний проход будет разбит на два и поверхность детали будет сформирована при глубине резания 0,4.

Вкладка «Инструмент» в данном случае не заполняется, т.к. используется инструмент из ТО: 2 Подрезать/Торец, приведенный на рис. 4.5.

Обрабатываемая область является полуоткрытой. Изображение полуоткрытой области приведено на рис. 4.12, б.

Задание конструктивного элемента «Область» при формообразовании наружной поверхности макета сопла двигателя JUMO 004 (за исключением кольцевой канавки) производится в следующем порядке [6]:

- нажмите кнопку «Область»  на панели «Конструктивные элементы». Появится диалог «Область»;
- выберите тип области – «Полуоткрытая» и нажмите ОК;
- укажите контур детали, наружные поверхности, включая линию, закрывающую круговую канавку. Геометрические модели детали и заготовки при втором установе показаны на рис. 2.5. Канавка имеет прямые стенки и текущим резцом обработана быть не может. Появится запрос о положении обрабатываемого материала;
- укажите, с какой стороны от контура будет оставлен материал;
- укажите контур заготовки, линию максимального диаметра заготовки.

Технологический объект «Точить/Область» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 4 Точить/Область).

Технологический объект «Отвод»

Этот технологический объект выполняется аналогично (ТО: 3 Отвод) созданному для первого установа. После создания ТО его название появится в информационной строке.

Технологический объект «Точить/Область»

В данном ТО выполним обработку круговой канавки.

ТО состоит из ТП «Точить» и КЭ «Область». Тип инструмента, используемого в переходе «Точить» – отрезной резец.

Задание технологического перехода «Точить» [6] при формообразовании кольцевой канавки производится в следующей последовательности:

- нажмите кнопку «Точить»  на панели «Переходы». Появится диалоговое окно «Точить»;
- задайте параметры перехода «Точить» во вкладках «Параметры», «Дополнительные» и «Инструмент»;
- нажмите ОК. Технологический переход «Точить» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 6 Точить/***)).

Во вкладке «Параметры» при задании технологического перехода «Точить», так же как и в предыдущих ТО, заполняется группа полей, именуемых: «Шпиндель», «Направление», «Подача», «Подача ускоренная», «Припуск», «Недобег», «Перебег» и «Текущий инструмент».

В группе полей «Шпиндель» указываются частота вращения шпинделя и направление его вращения. Частота вращения определяется расчетом по программе, представленной в подразделе 5.3, а направление вращения – «Против часовой стрелки».

Направление движения инструмента в поле «Направление» может быть задано как к центру (сверху), так и от центра (снизу). Схемы движения инструмента приведены на рис. 4.3. Выберем направление – «Сверху».

Направление движения инструмента при резании материала заготовки в технологическом переходе «Точить» устанавливаем – «Сверху». В этом случае движение отрезного резца будет осуществляться перпендикулярно оси вращения заготовки.

Из семи возможных схем обработки наружных поверхностей, представленных в модуле CAM системы ADEM, выберем чистовую схему обработки, показанную на рис. 4.16, а. В поле «Схема» вкладки «Параметры» укажем – «Чистовое».

Как уже отмечалось, программа по определению рациональных условий обработки позволяет найти наивыгоднейшие значения частоты вращения шпинделя, подачи и глубины резания. Значение подачи введем в поле «Подача» вкладки «Параметры», а ускоренное значение подачи, равное 200 мм/мин и применяемое при холостом ходе инструмента, введено в поле «Подача ускоренная».

Остаточный припуск после формообразования кольцевой канавки отсутствует, поэтому в поле «Припуск» укажем значение, равное 0.

В поле «Недобег» вкладки «Параметры» укажем значение, равное 2 мм.

Перебег инструмента при формообразовании кольцевой канавки отсутствует, поэтому по умолчанию в поле «Перебег» оставим значение, равное 0.

Поле «Текущий инструмент», предназначенное для простановки флажка во вкладке «Параметры», оставим свободным, т.к. необходимо задать новый инструмент – отрезной резец.

Во вкладке «Дополнительные» зададим многопроходную обработку, установив флажок в соответствующем поле и указав оптимальную глубину резания, рассчитанную по программе.

Вкладка «Инструмент» показана на рис. 4.17.

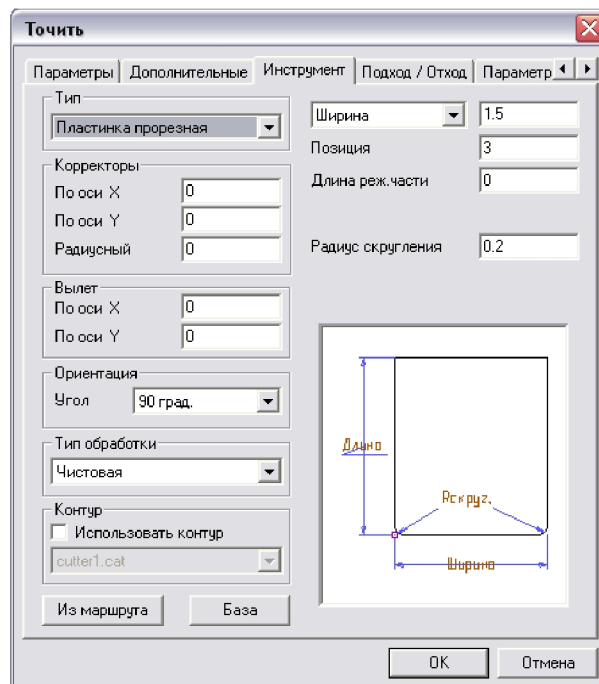


Рис.4.17. Вкладка «Инструмент» диалогового окна «Точить»

Для обработки круговой канавки с прямыми стенками используем отрезной резец с прорезной пластиной. В выпадающем меню «Тип» выберем прорезную пластину.

Угол ориентации пластины выберем 90° , а ширину пластины 1,5 мм.

В поле «Позиция» вкладки «Инструмент» зададим номер позиции инструмента 3. Затем укажем радиус скругления при вершине резца в поле «Радиус скругления» равным 0,2 мм. В поле «Тип обработки» укажем – чистовой.

Обрабатываемая область ограничена справа и слева стенками канавки и является закрытой. Пример закрытой области приведен на рис. 4.12, в.

Задание конструктивного элемента «Область» при формообразовании наружной поверхности макета сопла двигателя JUMO 004 производится в следующем порядке:

- нажмите кнопку «Область»  на панели «Конструктивные элементы». Появится диалог «Область»;
- выберите тип области – «Закрытая» и нажмите ОК;
- укажите только контур канавки с прямыми стенками. Контур канавки показан на рис. 2.3. Появится запрос о положении обрабатываемого материала;
- укажите, с какой стороны от контура будет оставлен материал;
- укажите контур заготовки, линию максимального диаметра заготовки. Контур заготовки показан на рис. 2.3.

Технологический объект «Точить/Область» будет сформирован. В строке подсказки появится сообщение: (ТО: 6 Точить/Область).

Технологический объект «Отвод»

Технологический объект «Отвод» выполняется аналогично (ТО: 3 Отвод) созданному для первого установа. После создания ТО его название появится в информационной строке.

Заданы все технологические объекты. Маршрут обработки можно увидеть, нажав кнопку «Маршрут»  на панели инструментов «Управление Технологическими Объектами». Откроется диалоговое окно «Управление Маршрутом», приведенное на рис. 4.18.

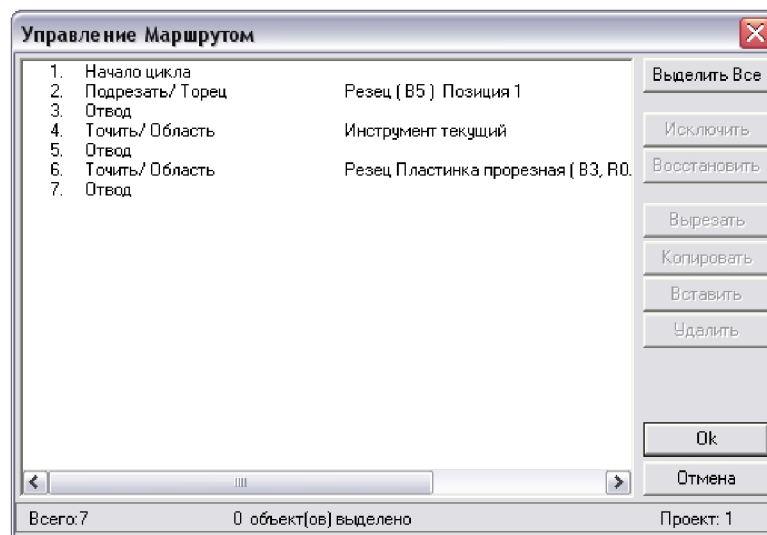


Рис. 4.18. Диалоговое окно «Управление Маршрутом»

В диалоговом окне «Управление Маршрутом» можно удалять, копировать, менять местами отдельные технологические объекты. Можно временно исключать ТО из маршрута для выполнения отладки других объектов.

Для выполнения расчета обобщенной траектории движения инструментов при подрезке торца и формообразовании наружной поверхности макета сопла, т.е. для маршрута обработки, представленного на рис. 4.18:

- нажмите кнопку «Процессор»  на панели «Процессор»;
- дождитесь завершения процесса построения траектории и нажмите кнопку «ОК».

На рис. 4.19 приведены траектории движения применяемых при обработке инструментов. Пунктирными линиями отображается перемещение вершины текущего резца.

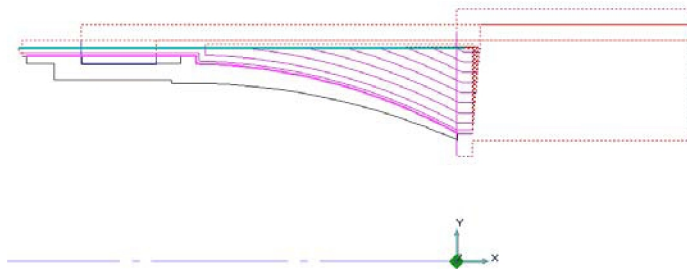


Рис.4.19. Траектория движения инструментов в процессе обработки

Контурные проходы инструмента соответствуют ТО 4, точению наружных поверхностей заготовки. Вертикальные – обработке круговой канавки, ТО 6.

Отследить правильность перемещений резцов можно, выполнив моделирование обработки. Для выполнения 2D моделирования:

- нажмите кнопку «Моделирование»  на панели «Моделирование 2D»;
- в появившемся окне «Моделирование» поставьте флажок «Пошаговое моделирование» и нажмите кнопку «СТАРТ»;
- нажимая кнопку «Далее», проследите пошаговое перемещение инструмента по траектории. Пошаговое перемещение инструмента показано на рис. 4.20.

Двухмерное моделирование не всегда позволяет отследить все ошибки движений органов станка. Для выполнения 3D моделирования необходимо:

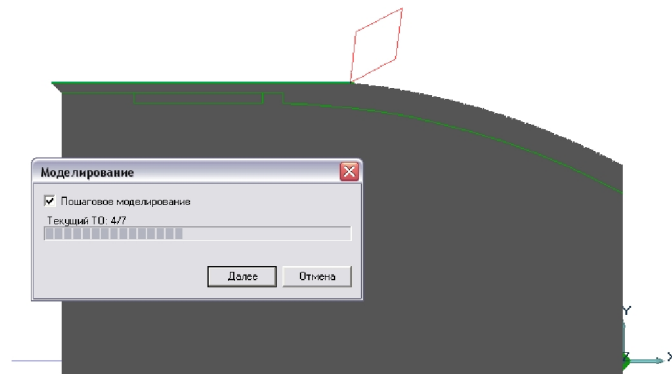


Рис. 4.20. Пошаговое 2D моделирование обработки

- нажать кнопку «Объемное моделирование» на панели «Моделирование 3D». На экране появится окно блока ADEM NC Verify;
- нажать кнопку «Simulate mode»;
- нажать кнопку «Start».

На экране будет выполнена объемная имитация процесса обработки детали. На рис. 4.21 показано изображение 3D обработки наружной поверхности макета сопла.

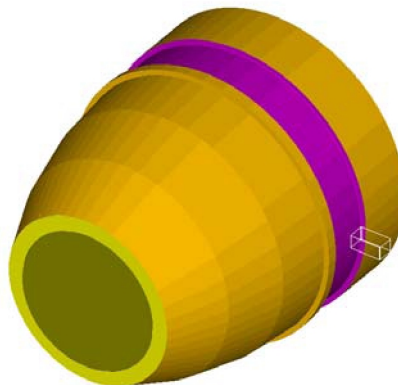


Рис. 4.21. 3D моделирование обработки в ADEM NC Verify

В виртуальном пространстве модуля САМ системы ADEM разработаны маршруты обработки для макета сопловой части двигателя JUMO 004. Правильность выполнения всех сформированных ТО верифицирована средствами 2D и 3D моделирования этой системы.

4.2. ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Управляющая программа (УП) - последовательность команд для определенного вида оборудования. Перед генерацией управляющей программы нужно рассчитать траекторию движения инструмента и выбрать конкретный вид оборудования (модель станка). Выбор станка сводится к определению постпроцессора.

Постпроцессор – это программный модуль, предназначенный для преобразования управляющей траектории, сформированной САМ системой, в управляющую программу для конкретного станка с ЧПУ с учетом особенностей его кинематики [7].

После нажатия кнопки «Процессор»  рассчитывается траектория движения инструмента и записывается в формате CL-DATA. Файл CL-DATA выдается САМ системой через специальную команду экспорта управляющей траектории. Посмотреть файл CL-DATA можно, нажав кнопку «Просмотр CL-DATA»  на панели «Постпроцессор».

Постпроцессор получает на вход промежуточный файл CL-DATA и работает только с ним. Выберем постпроцессор для станка Quantum D210x400, предназначенного, как уже отмечалось ранее, для изготовления макета сопла двигателя JUMO 004.

Диалоговое окно «Оборудование», показанное на рис. 4.22, содержит список постпроцессоров с моделью и типом станка, порядковым номером постпроцессора и комментарием, в котором, как правило, записано наименование стойки ЧПУ.

Для выбора постпроцессора:

- нажмите кнопку «Станок»  на панели «САМ информация». Появится диалог «Оборудование»;
- выберите постпроцессор из списка. Строку с названием модели станка D210x400.

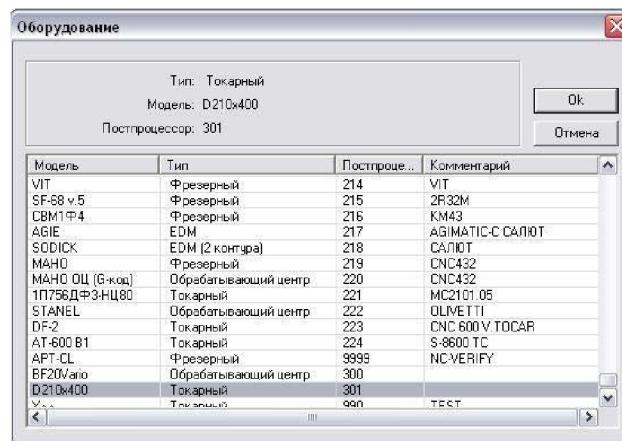


Рис. 4.22. Диалоговое окно «Оборудование»

Для преобразования файла CL-DATA в управляющую программу нажмите кнопку «Адаптер»  на панели «Процессор». После преобразования файла CL-DATA в УП появится диалог «Параметры» с данными: время обработки и длина управляющей программы в метрах перфоленты.

Просмотр текста управляющей программы можно осуществить, нажав кнопку «Просмотр управляющей программы»  на панели «Постпроцессор».

Сгенерируйте УП для каждого из проходов и сохраните их на ЭВМ в виде текстовых файлов с расширением *.nc. Тексты программ приведены в приложениях А и Б. После ряда подготовительных операций сформированные УП будут отработаны токарным станком Quantum D210x400.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ТОЧЕНИИ И РАСТАЧИВАНИИ ЗАГОТОВОК

Для решения задачи научно обоснованного определения рациональных условий обработки на операциях чистового точения и растачивания при изготовлении различных деталей и, в частности, деталей аэрокосмической техники необходимо выбрать целевую функцию, технические ограничения и на их базе разработать математическую модель, позволяющую получить рациональные режимы резания при различных вариантах управляемых параметров.

5.1. ВЫБОР ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Чаще всего при определении рациональных условий обработки на ранее указанных операциях, то есть марки инструментального материала, геометрии инструмента, режима резания, СОТС и т.д., в качестве целевой функции принимается себестоимость одной операции. При этом переменная доля себестоимости операции при резании одним инструментом определяется по формуле

$$C = t_0 E + \frac{t_c}{Q} E + \frac{\mathcal{E}_u}{Q},$$

где t_0 - основное технологическое (машинное) время, мин; E - себестоимость одной минуты работы станка и станочника, руб.; t_c - время, затрачиваемое на снятие затупившегося инструмента, установку переточенного и подналадку станка, мин; $\mathcal{E}_u$ - затраты, связанные с эксплуатацией инструмента за период его стойкости, руб.; Q - количество деталей, обработанных за период стойкости, шт.

При правильном построении производственного процесса определение рациональных условий обработки на операциях точения и растачивания должно основываться на экономическом периоде стойкости

инструмента. При использовании в расчетах экономических периодов стойкости режимы резания, обеспечивающие наименьшее время резания, будут одновременно и наиболее экономичными [8]. Поэтому в качестве целевой функции при продольном точении и растачивании заготовок целесообразно использовать уравнение, определяющее машинное время обработки.

Исходя из вышеизложенного, уравнение целевой функции будет иметь вид

$$f_m = \frac{l_m A}{n S t}, \quad (5.1)$$

где A - припуск на обработку (на сторону), мм; l_m - длина пути резца в направлении подачи, мм; t - глубина резания, мм; S - подача, мм/об; n - число оборотов заготовки, об/мин.

Большинство деталей аэрокосмической техники работают при высоких давлениях, температурах и знакопеременных нагрузках, поэтому к качеству обработки этих деталей предъявляются повышенные требования. В связи с вышеизложенным, на операции чистового точения и растачивания должны накладываться определенные технические ограничения.

Ограничение, связанное с режущими свойствами инструмента

Скорость резания при продольном точении и растачивании определяется из условия полного использования режущих свойств инструмента на основании неравенства

$$v \leq v_m, \quad (5.2)$$

где v - скорость резания, м/мин; v_m - максимально допустимая скорость резания при заданной стойкости резца, м/мин.

Подставив значения v и v_m , определяемые по формулам $v = \frac{\pi D n}{1000}$

, $v_m = \frac{C'_v k_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}}$, в неравенство (5.2) и решая его относительно $n S t$,

получим первое техническое ограничение:

$$n (100 S)^{y_v} (100 t)^{x_v} \leq \frac{318 C'_v k_v 100^{(x_v + y_v)}}{T^m D}, \quad (5.3)$$

где n - число оборотов заготовки, об/мин; S - подача, мм/об; t - глубина резания, мм; C'_v - коэффициент, характеризующий условия обработки, для которых разрабатывались нормативные материалы; k_v - поправочный коэффициент, учитывающий изменение реальных условий обработки от тех, при которых определялся коэффициент C'_v ; T - заданная стойкость резца, мин; D - диаметр обрабатываемой поверхности, мм; m, x_v, y_v - показатели степени, характеризующие влияние T, t, S на скорость резания.

В неравенстве (5.3) и последующих технических ограничениях для удобства вычислений принято вместо $S \rightarrow 100S$, а вместо $t \rightarrow 100t$, с соответствующими поправками в правой части.

Ограничение, связанное с мощностью станка

При токарной обработке необходимо, чтобы эффективная мощность $N_{эф}$ не превышала мощности подводимой к шпинделю станка, то есть выполнялось условие

$$N_{эф} \leq N_{ин}, \quad (5.4)$$

где $N_{эф}$ - эффективная мощность, кВт; $N_{ин}$ - мощность, подводимая к шпинделю станка, кВт.

Подставив в неравенство (5.4) $N_{эф} = \frac{P_z v}{60 \cdot 1000}$, $N_{ин} = N_{эд} \eta$ и учитывая, что $P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} v^{z_{P_z}}$ и $v = \frac{\pi D n}{1000}$, получим после соответствующего преобразования и решения относительно n, S, t второе техническое ограничение в виде

$$n^{(1+z_{P_z})} (100S)^{y_{P_z}} (100t)^{x_{P_z}} \leq \frac{N_{эд} \eta \cdot 60 \cdot 1000 \cdot 318^{(1+z_{P_z})} 100^{(x_{P_z}+y_{P_z})}}{C_{P_z} D^{(1+z_{P_z})}}, \quad (5.5)$$

где $N_{эд}$ - мощность электродвигателя механизма главного движения станка, кВт; η - КПД кинематической цепи механизма главного движения; C_{P_z} - коэффициент, отражающий влияние условий обработки

на составляющую силы резания P_z ; $x_{P_z}, y_{P_z}, z_{P_z}$ - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно t , S и v на величину силы P_z .

Ограничение, связанное с точностью обработки

Для обработки заданной поверхности заготовки с погрешностью, не превышающей допуск на диаметральный размер обрабатываемой поверхности, необходимо выполнить следующее условие [9]:

$$P_y \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_p} \right) \leq k_3 \frac{\delta}{2}, \quad (5.6)$$

где $P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} v^{z_{P_y}}$ - радиальная составляющая силы резания, Н;

$\frac{1}{j_{заг}}, \frac{1}{j_{см}}, \frac{1}{j_p}$ - податливость соответственно заготовки, станка и резца, мм/Н; k_3 - коэффициент, показывающий, в какую часть допуска должна укладываться погрешность, вызванная деформацией заготовки, составляющих станка и резца, $k_3 = 0,7 \dots 0,8$; δ - допуск на размер обрабатываемой поверхности, мм.

Подставив в эмпирическую зависимость для определения силы P_y формулу для расчета скорости резания $v = \frac{\pi D n}{1000}$, а затем вновь полученную зависимость в неравенство (5.6) и решив это уравнение относительно n, S, t , третье техническое ограничение получим в следующем виде:

$$n^{z_{P_y}} (100S)^{y_{P_y}} (100t)^{x_{P_y}} \leq \frac{318^{z_{P_y}} 100^{(x_{P_y} + y_{P_y})} k_3 \delta}{2C_{P_y} D^{z_{P_y}} \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_p} \right)}, \quad (5.7)$$

где C_{P_y} - коэффициент, отражающий влияние условий обработки на составляющую силы резания P_y ; $x_{P_y}, y_{P_y}, z_{P_y}$ - показатели степени,

характеризующие интенсивность влияния соответственно t , S и u на величину силы P_y .

Для расчета податливости заготовки, станка и резца могут быть использованы следующие зависимости:

- для определения податливости заготовки

$$\frac{1}{j_{заг}} = \frac{L^3}{k_1 J E},$$

где L - свободная длина заготовки, мм; k_1 - коэффициент, учитывающий влияние способа закрепления заготовки (при закреплении в патроне $k_1 = 3$, в центрах – 70, в патроне с поджатием центром задней бабки – 100); J - момент инерции наиболее опасного сечения заготовки, выбранного с учетом способа закрепления, мм⁴; для сплошного сечения - $J = 0,05D^4$, для кольцевого сечения - $J = 0,05(D^4 - d^4)$; E - модуль упругости материала обрабатываемой заготовки, МПа;

- для определения податливости станка

$$\frac{1}{j_{ст}} = 0,000025 k_2 \sqrt{\frac{200}{H_{ц}}},$$

при закреплении заготовки в центрах и в патроне с поджатием центром задней бабки станка $k_2 = -1,0$, где знак «-» учитывает конкурирующее влияние смещений на погрешность обработки, при закреплении заготовки в патроне $k_2 = 0,03L$, где L - вылет заготовки из патрона, мм; $H_{ц}$ - высота центров станка, мм;

- для определения податливости резца

$$\frac{1}{j_p} = \frac{l^3}{3J_p E_p},$$

где l - вылет резца из резцедержателя, если державка резца имеет круглое сечение по всей длине, или расстояние от вершины резца до перехода круглого сечения в призматическое; E_p - модуль упругости материала державки резца, МПа; J_p - момент инерции поперечного

сечения державки резца, мм⁴; для прямоугольного сечения $J_p = \frac{HB^3}{12}$, для круглого $J_p = 0,05 \cdot d_p^3$ (если круглое сечение переходит в прямоугольное, то расчет производится по наибольшему диаметру круглого сечения).

При обточке наружных поверхностей заготовок проходной резец обладает очень высокой жесткостью в направлении действия радиальной составляющей силы резания по сравнению с другими компонентами технологической системы. Поэтому его податливость $\frac{1}{J_p} = 0$.

При расточке внутренних поверхностей заготовок жесткость резца, как правило, оказывается существенно ниже других компонентов технологической системы и поэтому определяет величину допустимой подачи, то есть в этом случае можно считать $\frac{1}{J_{заг}} + \frac{1}{J_{ст}} = 0$.

Ограничение, связанное с предельно допустимой шероховатостью обрабатываемой поверхности

Обработка заданной поверхности заготовки с допускаемой шероховатостью поверхности может быть осуществлена при условии:

$$(100S)(100t)^x \leq \frac{C_s Rz^y r^n \gamma^{0,3} \alpha^{0,25} \cdot 100^{(x+1)}}{(\varphi \varphi_1)^z h_3^{0,2}} k_s, \quad (5.8)$$

где C_s, n, x, y, z - коэффициент и показатели степени, зависящие от обрабатываемого материала; Rz - высота неровностей по десяти точкам, мкм; r - радиус закругления вершины резца, мм; γ - главный передний угол, градус; α - главный задний угол, градус; φ и φ_1 - главный и вспомогательный углы в плане, градус; h_3 - износ по задней поверхности резца, мм; k_s - коэффициент, учитывающий группу обрабатываемого материала.

Неравенство (5.8) является четвертым техническим ограничением.

Ограничение, связанное с температурой обработки

При точении и растачивании заготовок температура в зоне резания, а также время нагрева и охлаждения могут быть достаточными

для того, чтобы в поверхностном слое произошли структурно-фазовые превращения. Поэтому необходимо, чтобы температура в зоне резания не превышала критических значений, то есть должно выполняться условие

$$\theta \leq \theta_{кр}, \quad (5.9)$$

где θ - температура в зоне резания, °C; $\theta_{кр}$ - критическая температура в зоне резания, °C.

Температура в зоне резания при точении и растачивании заготовок может быть определена по эмпирической зависимости

$$\theta = C_{\theta} t^{x_{\theta}} S^{y_{\theta}} v^{z_{\theta}},$$

где C_{θ} - коэффициент, отражающий влияние условий обработки на температуру в зоне резания; $x_{\theta}, y_{\theta}, z_{\theta}$ - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно t , S и v на величину температуры резания.

Подставив вышеприведенную эмпирическую зависимость и формулу для расчета скорости резания в неравенство (5.9) и решив его относительно n, S, t , получим пятое техническое ограничение:

$$n^{z_{\theta}} (100S)^{y_{\theta}} (100t)^{x_{\theta}} \leq \frac{\theta_{кр} \cdot 318^{z_{\theta}} \cdot 100^{(x_{\theta} + y_{\theta})}}{C_{\theta} D^{z_{\theta}}}. \quad (5.10)$$

Ограничения, связанные с кинематическими возможностями станка, используемого для точения или растачивания заготовки

При обработке заготовки частота ее вращения и продольная подача, сообщаемая резцу, должны быть ограничены, соответственно, наибольшим и наименьшим числом оборотов шпинделя и наибольшей и наименьшей подачами, приведенными в паспорте станка. Тогда технические ограничения, обусловленные кинематическими возможностями станка, будут иметь вид:

- шестое техническое ограничение

$$n \geq n_{cm \min}, \quad (5.11)$$

где $n_{cm \min}$ - минимальная частота вращения шпинделя станка, об/мин;

- седьмое техническое ограничение

$$n \leq n_{cm \max}, \quad (5.12)$$

где $n_{cm\max}$ - максимальная частота вращения шпинделя станка, об/мин;

- восьмое техническое ограничение

$$100S \geq 100S_{cm\min}, \quad (5.13)$$

где $S_{cm\min}$ - минимальная продольная подача станка, мм/об;

- девятое техническое ограничение

$$100S \leq 100S_{cm\max}, \quad (5.14)$$

где $S_{cm\max}$ - максимальная продольная подача станка, мм/об.

Ограничения, связанные с глубиной резания

Для обеспечения заданного качества точности детали глубина резания t не может быть меньше некоторой определенной для каждого инструмента и обрабатываемого материала величины $t_{\min}$. С другой стороны, глубина резания не может быть больше припуска на обработку. Тогда технические ограничения, обусловленные глубиной резания, будут иметь вид:

- десятое техническое ограничение

$$100t \geq 100t_{\min}; \quad (5.15)$$

- одиннадцатое техническое ограничение

$$100t \leq 100A, \quad (5.16)$$

где A - припуск на обработку (на сторону), мм.

Ограничение, связанное с мощностью механизма подачи

Для нормального протекания процесса обработки необходимо, чтобы затраты мощности механизма подачи станка не превышали максимальной мощности его привода, т.е.

$$P_x \cdot v_x \leq N_{n\max}, \quad (5.17)$$

где P_x - осевая составляющая силы резания, Н; v_x - скорость подачи, м/с; $N_{n\max}$ - максимальная мощность механизма подачи станка, Вт.

Учитывая, что $P_x = C_{P_x} t^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}} v^{z_{P_x}}$, $v = \frac{\pi D n}{1000}$, а $v_x = \frac{S n}{60 \cdot 1000}$,

двенадцатое ограничение после соответствующих преобразований получим в следующем виде:

$$(100t)^{x_{P_x}} (100S)^{(1+y_{P_x})} n^{(1+z_{P_x})} \leq \frac{60000 \cdot 1000^{z_{P_x}} \cdot N_{n\max} \cdot 100^{(x_{P_x}+1+y_{P_x})}}{C_{P_x} (\pi D)^{z_{P_x}}}. \quad (5.18)$$

5.2. ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Преобразуем полученные выше неравенства, связывающие технические ограничения с элементами режима резания, а также целевую функцию в линейные ограничения-неравенства и линейную целевую функцию. Решение полученной системы линейных уравнений при заданных определяющих и управляемых параметрах позволит на стадии проектирования технологического процесса определить рациональные условия обработки для операций чистового точения и растачивания заготовок и гарантированно обеспечить при этом заданное значение конструктивных параметров.

Для получения системы линейных ограничений-неравенств и линейной целевой функции, моделирующих процессы продольного точения и растачивания заготовок, прологарифмируем зависимости (5.3), (5.5), (5.7), (5.8), (5.10) - (5.16) и (5.1), которые после введения обозначений будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{ll} x_1 + y_v x_2 + & x_v x_3 \leq b_1; \\ (1 + z_{P_z}) x_1 + y_{P_z} x_2 + & x_{P_z} x_3 \leq b_2; \\ z_{P_y} x_1 + y_{P_y} x_2 + & x_{P_y} x_3 \leq b_3; \\ & x_2 + x x_3 \leq b_4; \\ z_{P_\theta} x_1 + y_{P_\theta} x_2 + & x_{P_\theta} x_3 \leq b_5; \\ x_1 & \geq b_6; \\ x_1 & \leq b_7; \\ & x_2 \geq b_8; \\ & x_2 \leq b_9; \\ & x_3 \geq b_{10}; \\ & x_3 \leq b_{11}; \\ x_1 + (1 + y_{P_x}) x_2 + (1 + z_{P_x}) x_3 \leq b_{12}. \end{array} \right. \quad (5.19)$$

$$f_0 = c_0 - x_1 - x_2 - x_3,$$

где

$$\begin{aligned}
x_1 &= \ln n; \quad x_2 = \ln(100S); \quad x_3 = \ln(100t); \\
b_1 &= \ln \frac{318 C'_v k_v \cdot 100^{(x_v + y_v)}}{T^m D}; \\
b_2 &= \ln \frac{N \eta \cdot 60 \cdot 1000 \cdot 318^{(1 + z_{P_z})} \cdot 100^{(x_{P_z} + y_{P_z})}}{C_{P_z} D^{(1 + z_{P_z})}}; \\
b_3 &= \ln \frac{318^{z_{P_y}} \cdot 100^{(x_{P_y} + y_{P_y})} k_3 \delta}{2 C_{P_y} D^{z_{P_y}} \left[\frac{1}{j_\partial} + \frac{1}{j_{cm}} + \frac{1}{j_p} \right]}; \\
b_4 &= \ln \frac{C_s R_z^y r^n \gamma^{0,3} \alpha^{0,25} \cdot 100^{(x+1)}}{(\varphi \varphi_1)^z h_3^{0,2}} k_s; \quad b_5 = \ln \frac{\theta_{kp} \cdot 318^{z_\theta} \cdot 100^{(x_\theta + y_\theta)}}{C_\theta D^{z_\theta}}; \\
b_6 &= \ln n_{cm \min}; \quad b_7 = \ln n_{cm \max}; \quad b_8 = \ln(100 S_{cm \min}); \\
b_9 &= \ln(100 S_{cm \max}); \quad b_{10} = \ln(100 t_{\min}); \quad b_{11} = \ln(100 A); \\
b_{12} &= \ln \frac{60000 \cdot 1000^{Z_{P_x}} \cdot N_{n \max} \cdot 100^{(x_{P_x} + 1 + y_{P_x})}}{C_{P_x} \cdot (\pi \cdot D)^{Z_{P_x}}}; \\
f_0 &= \ln f_m; \quad c_0 = \ln(10000 l_m A).
\end{aligned}$$

Полученная система линейных ограничений-неравенств (5.19) и линейная функция f_0 представляют собой математическую модель для определения рационального режима резания при продольном точении и растачивании заготовок одним резцом.

Решение задачи может быть упрощено за счет приведения системы (5.19) с тремя неизвестными к системе с двумя неизвестными, в результате чего аналитическое и графическое решение задачи осуществляется в двухмерном пространстве. Для проведения преобразований выразим x_1 из ограничения-неравенства, связанного с режущими свойствами инструмента, которые в значительной мере определяются его стойкостью

$$x_1 = b_1 - y_v x_2 - x_v x_3,$$

и подставим его значение во все остальные неравенства системы (5.19). При токарной обработке ограничение, связанное с режущими свойствами инструмента, является одним из основных ограничений. В результате получим новую систему, содержащую два неизвестных x_2 и x_3 :

$$\left\{ \begin{array}{ll} (y_{P_z} - y_v - z_{P_z} y_v) x_2 + (x_{P_z} - x_v - z_{P_z} x_v) x_3 \leq b_2 - (1 + z_{P_z}) b_1; \\ (y_{P_y} - z_{P_y} y_v) x_2 + (x_{P_y} - z_{P_y} x_v) x_3 \leq b_3 - z_{P_y} b_1; \\ x_2 + x x_3 \leq b_4; \\ (y_\theta - z_\theta y_v) x_2 + (x_\theta - z_\theta x_v) x_3 \leq b_5 - z_\theta b_1; \\ - y_v x_2 - x_v x_3 \geq b_6 - b_1; \\ - y_v x_2 - x_v x_3 \leq b_7 - b_1; \\ x_2 \geq b_8; \\ x_2 \leq b_9; \\ x_3 \geq b_{10}; \\ x_3 \leq b_{11}; \\ (1 + y_{P_x} - y_v) x_2 + (1 + z_{P_x} - x_v) x_3 \leq b_{12} - b_1. \end{array} \right. \quad (5.20)$$

$$f_0 = c_0 - b_1 - [(1 - y_v) x_2 + (1 - x_v) x_3]$$

Так как в условиях конкретной задачи $c_0 - b_1$ является величиной постоянной, то целевая функция f_0 достигнет минимального значения в том случае, когда достигнет максимального значения величина, заключенная в квадратные скобки, то есть неизвестные x_2 и x_3 примут максимально допустимые значения, удовлетворяющие системе ограничений (5.20).

На основании полученной математической модели созданы алгоритм и программа расчета для определения рациональных условий резания при точении и растачивании заготовок.

5.3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ

На основе математической модели разработана программа для определения рациональных режимов обработки при точении и растачивании заготовок. В качестве средства разработки выбрана среда программирования Delphi в сочетании с СУБД Firebird. Данное решение позволяет снизить стоимость эксплуатации программы, так как Firebird является системой управления базами данных с открытым кодом, что разрешает её бесплатное неограниченное использование. Применение этой системы обусловлено необходимостью хранения значительного количества упорядоченных данных, таких как характеристик материалов, станков, параметров режущего инструмента и т.д..

Программа написана для операционной системы Microsoft Windows, как наиболее распространенной в данный момент системы.

5.3.1. БЛОК–СХЕМА ОСНОВНОГО МОДУЛЯ ПРОГРАММЫ

Система уравнений, описывающая рассматриваемый процесс, решается на ЭВМ симплекс-методом, т.е. совместно решаются все возможные пары линейных неравенств. Каждое ограничение описывает линию на плоскости. Совместное решение системы из двух таких уравнений дает точку пересечения этих двух линий. Таким образом, получают точки всех вершин области оптимальных решений. Далее из этого множества точек, удовлетворяющих всем ограничениям, выбирается точка, соответствующая максимуму целевой функции.

Блок-схема программы представлена в Приложении В.

5.3.2. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

В программе можно выделить три основных блока: ввод исходных данных для расчета, просмотр результатов расчета и его графической интерпретации, средства редактирования базы данных.

Исходные параметры разделены на три логические группы:

- параметры, относящиеся к станку, на котором производится обработка. В этом блоке задаётся, кроме того, вид обработки и отображаются коэффициенты, определяющие скорость резания;

– параметры, относящиеся к резцу, при помощи которого ведётся обработка. В данном блоке выбирается материал резца, геометрические параметры его режущей части и державки;

– параметры, относящиеся к обрабатываемой заготовке. Здесь указываются материал заготовки, её состояние и геометрические параметры, требования к качеству обработки, вид охлаждения, отображаются коэффициенты, определяющие температуру в зоне резания.

Ввод исходных данных существенно упрощён за счёт автоматической загрузки из созданной базы данных различных параметров и коэффициентов, необходимых для решения задачи. В созданную базу данных внесены параметры и коэффициенты, позволяющие определить рациональные условия резания при обработке различных сталей, а также жаропрочных, титановых и алюминиевых сплавов. Многие коэффициенты, например, используемые в эмпирических зависимостях для расчета температуры и шероховатости поверхности, были получены авторами пособия. Ручной ввод значений сведен к минимуму.

Рассмотрим в качестве примера применение программы для определения рациональных условий резания при чистовой обработке одной внутренней и одной наружной поверхности макета сопла двигателя JUMO 004.

Внутренняя поверхность Ø46 мм

После запуска программы открывается диалоговое окно ввода исходных данных – «Данные для расчета». При этом будет активна первая вкладка «Станок», представленная на рис. 5.1.

Характеристики станка		Скорость резания	
Марка	QUANTUM D210X400	Cv	49,00
Вид обработки	Расточка	Yv	0,65
		Xv	0,15
		lv	0,25
N мин., об/мин	125,00		
N макс., об/мин	2000,00		
S мин., мм/об	0,015		
S макс., мм/об	2,400		
Наиб. усилие, Н	500,00		
Мощность дв., кВт	0,75		
Высота центров, мм	105,00		
Мощн. мех. подач, Вт	14		

Рис. 5.1. Вкладка «Станок» диалогового окна «Данные для расчета» при определении режима резания для обработки внутренней поверхности Ø46 мм

На этой вкладке в выпадающем списке оборудования выбираем станок, на котором будет обрабатываться заготовка, в нашем случае это токарно-винторезный станок QUANTUM D210x400. При этом все его характеристики загружаются из базы данных. После чего выбирается тип обработки. В нашем случае это «Расточка». Затем переходят к следующей вкладке.

На рис. 5.2 изображено диалоговое окно «Данные для расчета» с активной вкладкой «Резец».

На этой вкладке вначале задаются основные параметры: материал режущей части резца, форма державки, диаметр державки, вылет инструмента, период стойкости. Затем задаются: главный угол в плане, радиус при вершине резца, износ резца, вспомогательный угол в плане, передний угол, задний угол. Данные берутся из табл. 3.3.

В последнюю очередь заполняется вкладка «Заготовка». На рис. 5.3 показано диалоговое окно «Данные для расчета» с активной вкладкой «Заготовка».

Основные параметры		Поправочные коэффициенты					
Материал резца	BK8	Гл. угол в плане	105	Радиус	0,20	Износ резца	0,15
E, МПа	220000	KfPx	1,15	KtPx	1,00	KhPx	1,00
Форма	Круглая	KfPy	0,50	KtPy	1,25	KhPy	1,00
H, мм	20	KfPz	0,90	KtPz	1,20	KhPz	1,00
B, мм	20	KfV	0,75				
D, мм	11,5	Вспом. угол в плане	15	Gamma	15	Alfa	15
L, мм	85						
T, мин	25						

Рис. 5.2. Вкладка «Резец» диалогового окна «Данные для расчета» при определении режима резания для обработки внутренней поверхности Ø46 мм

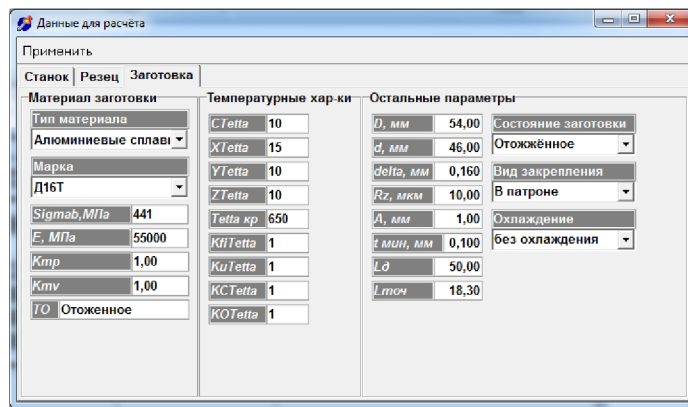


Рис. 5.3. Вкладка «Заготовка» диалогового окна «Данные для расчета» при определении режима резания для обработки внутренней поверхности Ø46 мм

На этой вкладке из выпадающего списка выбирается тип материала, а затем его марка. Параметры материала и температурные коэффициенты загружаются из базы данных автоматически. Остальные параметры задаются исходя из чертежей детали и заготовки и с учетом характера закрепления заготовки. Исходные данные, характеризующие заготовку, которые необходимо ввести для данного расчета, приведены в табл. 5.1

Таблица 5.1. Параметры заготовки

Параметры заготовки	Значения
Наружный диаметр, мм	54
Внутренний диаметр (после обработки), мм	46
Допуск, мм	0.16
Шероховатость	10
Припуск (для окончательного прохода), мм	1
Минимальная глубина резания, мм	0.1
Вылет детали, мм	50
Длина точения, мм	18,3

После ввода всех исходных данных и нажатия кнопки «Применить» на экране монитора компьютера появляется главное диалоговое окно – «Оптимизация режимов резания» программы, представленное

на рис. 5.4. В левой части данного окна расположена таблица со значениями коэффициентов системы уравнений, а в правой части расположена графическая интерпретация решения этой системы, показывающая область возможных решений.

Напротив каждой строки в таблице с коэффициентами, в диалоговом окне «Оптимизация режимов резания», написано, к какому ограничению относится данная строка, а также указан цвет, которым будет отображаться ограничивающая прямая соответствующего технического ограничения. Программа позволяет учитывать не все ограничения, а лишь те, которые необходимы. После чего строится графическая интерпретация аналитического решения в виде области возможных значений режимов, из которых выбирается оптимальное значение. Пользователю предоставлены удобные средства для просмотра графического решения (перемещение области, изменение масштаба, мерцание выделенной прямой ограничения и т.д.).

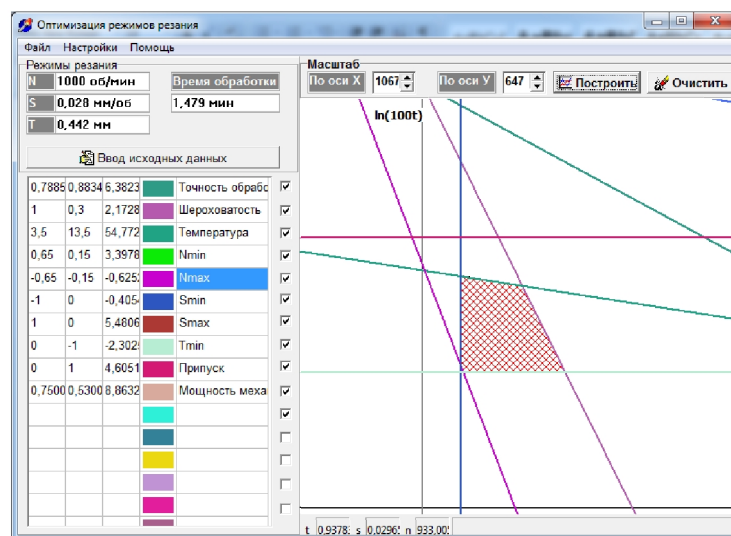


Рис. 5.4. Главное диалоговое окно «Оптимизация режимов резания» при определении режима резания для обработки внутренней поверхности Ø46 мм

Графический метод дает наглядное представление о влиянии технических ограничений на режимы обработки и позволяет проанализи-

ровать, за счет чего в данном конкретном случае возможно увеличение производительности процесса резания.

Как видно из рис. 5.4, ограничениями, формирующими область допустимых режимов обработки, являются:

- ограничение, связанное с температурой в зоне резания;
- ограничение, связанное с минимальной глубиной резания;
- ограничение, связанное с максимальной частотой вращения шпинделя станка;
- ограничение, связанное с минимальной продольной подачей.

Из области допустимых режимов обработки выбирается режим, обеспечивающий максимум целевой функции, то есть минимальное время обработки. Частота вращения шпинделя выбирается из перечня допустимых частот для выбранного станка. Результаты расчета представлены в левой верхней части диалогового окна.

Наружная поверхность Ø52 мм

Аналогичным образом проведем расчет режимов обработки для обточки наружной поверхности диаметром, равным 52 мм.

Данные, касающиеся станка, остаются неизменными, меняется только тип обработки, в данном случае – это обточка.

Во вкладку «Резец» вводим параметры проходного резца из табл. 3.3. Вкладка «Резец» диалогового окна «Данные для расчета» представлена на рис. 5.5.

Основные параметры		
Материал резца	Гл. угол в плане	Радиус
ВК8	90	0,20
E, МПа 220000	Износ резца	
Прямоугольная	KfPx 1,15	KtPx 1,00
H, мм 20	KfPy 0,50	KtPy 1,00
B, мм 20	KfPz 0,90	KtPz 1,00
D, мм 11,5	KfV 0,75	KtV 1,00
L, мм 25	Вспом. угол в плане	Самта
T, мин 25	12	12
	Альфа	20

Рис. 5.5. Вкладка «Резец» диалогового окна «Данные для расчета» при определении режима резания для обработки наружной поверхности Ø52 мм

Затем вводим все необходимые данные в поля вкладки «Заготовка», приведенной на рис. 5.6, из табл. 5.2 и нажимаем кнопку «Применить». После чего на экране монитора компьютера вновь возникает главное диалоговое окно – «Оптимизация режимов резания» программы с результатами расчета. Данное окно представлено на рис. 5.7. Видно, что в формировании области допустимых режимов участвуют те же ограничения, что и для предыдущей поверхности.

Рис. 5.6. Вкладка «Заготовка» диалогового окна «Данные для расчета» при определении режима резания для обработки наружной поверхности Ø52 мм

Таблица 5.2. Параметры заготовки

Параметры заготовки	Значения
Наружный диаметр (после обработки), мм	52
Внутренний диаметр, мм	46
Допуск, мм	0.16
Шероховатость	10
Припуск, мм	1
Минимальная глубина резания, мм	0.1
Вылет детали, мм	11,5
Длина точения, мм	21,5

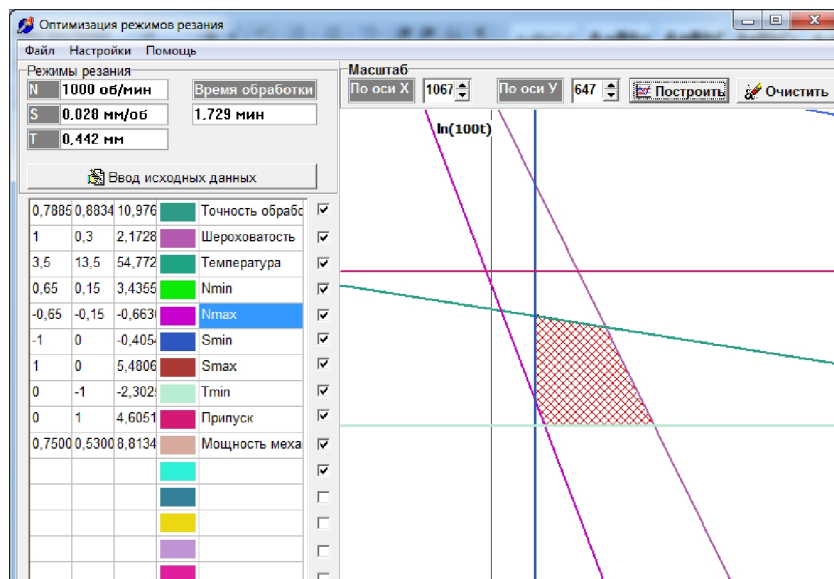


Рис. 5.7. Главное диалоговое окно «Оптимизация режимов резания» при определении режима резания для обработки наружной поверхности Ø52 мм

Аналогичным образом рассчитываются режимы резания для обработки остальных поверхностей. Если поверхность имеет переменный диаметр, то за основу для расчета следует принять средний диаметр. Максимальный и минимальный диаметры не должны отличаться более чем на 15%. Если это имеет место, то поверхность следует разделить на участки, определить режимы для каждого участка и подобрать оптимальный для всей поверхности.

Для пополнения и редактирования справочников создан редактор базы данных. Он выполнен в виде отдельной подпрограммы. Внешний вид программы для редактирования справочников в базе данных представлен на рис. 5.8 – 5.11.

Редактор базы данных

Станки | Материалы | Коэффициенты резания | Поправочные коэффициенты

Марка станка	Nmin, об/мин	Nmax, об/мин	Smin, мм/об	Smax, мм/об	Макс. усилие	Мощность двиг	Высота центров
16K20	12,50	1 600,00	0,05	2,80	5 890,00	10,00	215,00
1A616	11,20	2 240,00	0,08	1,56	3 140,00	4,00	165,00
1B616	10,00	2 000,00	0,01	0,23	3 140,00	4,00	165,00
1I616П	12,50	2 000,00	0,07	4,16	3 530,00	10,00	215,00
1K62	20,00	2 000,00	0,01	0,38	2 940,00	3,00	130,00
QUANTUM D210X400	125,00	2 000,00	0,01	2,40	500,00	0,75	105,00
ТПК125В	10,00	3 000,00	0,00	2,00	1 000,00	1,00	120,00

Частота, об/мин

1000,00

1 250,00

1 600,00

Подача, мм/об

0,05

0,060

0,075

0,090

0,100

0,125

0,150

0,175

0,200

0,250

Рис. 5.8. Окно редактирования справочника станков

Редактор базы данных

Станки | Материалы | Коэффициенты резания | Поправочные коэффициенты

Тип материала	Термическая обработка	Марка материала	Предел	Модуль	KMP	KMV	CTETTA	XTETTA	YTETTA	ZTETTA
Титановые сплавы	Отожжённое	BT5-1	834	117720						
Титановые сплавы	Отожжённое	BT22	1177	112815	1,30	1,06	335,00	0,35	0,17	0
Титановые сплавы	Отожжённое	BT14	1000	107910	0,80	1,06	190,00	0,05	0,18	0
Титановые сплавы	Отожжённое	BT9	1150	117720	0,95	1,41				
Титановые сплавы	Отожжённое	BT8	1125	117720	0,92	1,41	170,00	0,05	0,24	0
Титановые сплавы	Отожжённое	BT3-1	1075	112815	1,00	1,00	265,00	0,08	0,17	0
Титановые сплавы	Отожжённое	BT20	1050	117720	0,70	2,04				
Титановые сплавы	Отожжённое	OT4	825	107910	1,10	1,86	94,00	0,02	0,21	0
Титановые сплавы	Отожжённое	BT5	825	103005	0,89	1,47				
Стали	Отожжённые	12X13A	930	200000	1,00	1,00	300,00	0,10	0,22	0
Стали	Закалка+Отпуск	ЭП410	1070	190000	1,00	1,00	450,00	0,03	0,08	0
Стали	Закалка+Отпуск	X21CrNi5(ЭП222)	700	210000	1,00	1,00	327,00	0,09	0,13	0
Стали	Закалка+Отпуск	X12CrNi20(ЭП696)	900	160000	1,50	0,40	259,00	0,10	0,22	0
Стали	Закалка+Отпуск	13X14NiCr(ЭП736)	1200	200000	1,00	1,00	450,00	0,03	0,08	0
Стали	Закалённые	15X18Ni12Cr10(ЭП654)	725	200000	1,08	0,45	281,00	0,06	0,09	0
Стали	Закалка+Старение	10X11Ni20Cr(ЭП696)	981	186390	1,63	0,40				
Стали	Закалка+Старение	45X14Ni14B2M(4X14Ni14B2)	706	177561	1,06	0,80				
Стали	Закалённые	20X23Ni18(Х23Ni18,ЭП417)	657	200124	1,48	1,00				
Стали	Закалённые	12X18Ni10T(Х18Ni10T)	608	184428	1,00	1,00				

Рис. 5.9. Окно редактирования справочника материалов

Редактор базы данных

Станки | Материалы | Коэффициенты резания | Поправочные коэффициенты

Вид обработки	Тип материала	C1PZ	XPZ	YPZ	ZPZ	C1PY	XPY	YPY	ZPY	C1PX	XPX	YPX	ZPX
Обточка	Титановые сплавы	1950,00	0,90	0,75	-0,08	780,00	0,90	0,50	-0,08	380,00	0,90	0,25	-0,08
Обточка	Стали	3400,00	0,95	0,75	-0,10	2760,00	0,85	0,52	-0,15	1330,00	1,20	0,42	-0,10
Обточка	Никелевые сплавы	5000,00	0,85	0,75	-0,10	2600,00	0,80	0,50	-0,10	1450,00	0,90	0,40	-0,10
Обточка	Литейные сплавы	5000,00	0,85	0,75	-0,10	2600,00	0,80	0,50	-0,10	1450,00	0,90	0,40	-0,10
Обточка	Алюминиевые сплавы	800,00	0,82	0,80	-0,10	940,00	0,84	0,60	-0,29	570,00	0,85	0,40	-0,10

Рис. 5.10. Окно редактирования справочника коэффициентов резания

Редактор базы данных

Станки | Материалы | Коэффициенты резания | Поправочные коэффициенты

Поправочные коэффициенты на угол в плане

MAT_TYPE	FI	KFIPZ	KFIPY	KFIPX	Z	KZPZ	KZPY	KZPX	HZ	KHPZ	KHPY	KHPX
	30,00	1,08	1,30	0,90					0,15	1,00	1,00	
	45,00	1,00	1,00	1,00					0,30	1,03	1,20	
	60,00	0,95	0,80	1,10					0,40	1,09	1,35	

Коэффициенты скорости

Тип материала	Резец	KUV	KUTETTA	CV	XV	YV	M
Литейные сплавы	ВК6М	1,00	1,00	76,00	0,15	0,15	0,25
Никелевые сплавы	ВК6М	1,00	1,00	76,00			
Стали	ВК6М	1,00	1,00	240,00	0,15	0,15	0,25

температурные коэффициенты

Тип материала	Термообработка	KCTETTA
Титановые сплавы	Закаленное	0007152557
Титановые сплавы	Отожжённое	1
Титановые сплавы	Закалка+Старение	0002384186
Титановые сплавы	Закалка+Отпуск	0002384186

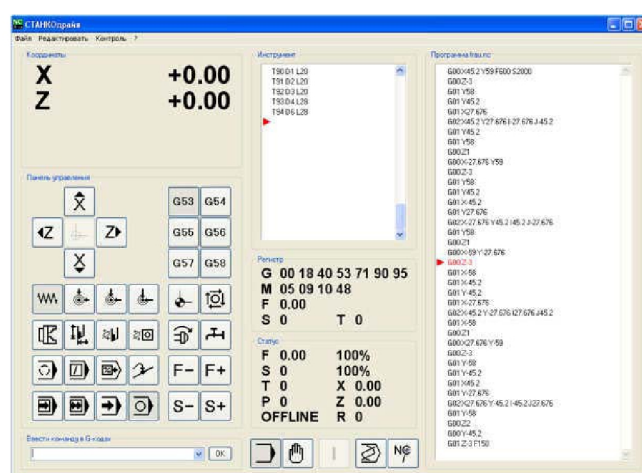
Рис. 5.11. Окно редактирования справочника поправочных коэффициентов

6. РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРОГРАММНОМ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОМ СТАНКЕ QUANTUM D210x400

6.1. УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ NC DRIVE

В состав современного программируемого станочного оборудования входят стойки с ЧПУ. Стойки позволяют управлять органами станка, отслеживать перемещение инструмента, создавать и редактировать ручную управляющие программы. Передача УП на станок осуществляется также с помощью стойки с ЧПУ.

В качестве такой стойки для станка Quantum D210x400 используется персональный компьютер со специализированным программным обеспечением NC DRIVE. Интерфейс программы представлен на рис. 6.1.



В поле «Панель управления» имеется блок ручного управления перемещениями по этим осям, представленный на рис. 6.2. Кнопки с обозначением осей и стрелками на них соответствуют направлениям перемещения инструмента по указанным осям.

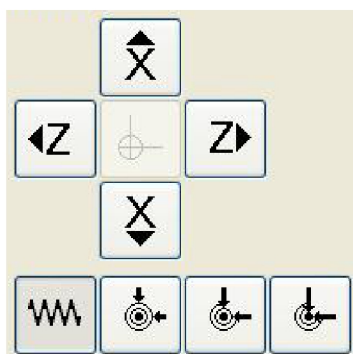


Рис. 6.2. Блок ручного управления перемещениями

Режим ручного перемещения устанавливается следующими кнопками:



– непрерывное перемещение. Перемещение по оси происходит до тех пор, пока нажата клавиша перемещения;



– грубое позиционирование. Одно нажатие на клавишу приводит к перемещению на 1 мм;



– нормальное позиционирование. Одно нажатие на клавишу приводит к перемещению на 0,1 мм;



– точное позиционирование. Одно нажатие на клавишу приводит к перемещению на 0,01 мм.

Для установки нулевой точки (обнуления координат) используется кнопка .

Загрузить управляющую программу в среду NC DRIVE можно через меню «Файл» – > «Открыть программу...». Открывается окно для выбора файла с текстом УП на диске ПК. Программа будет показана в

правом поле окна NC DRIVE. Текст управляющей программы можно прокручивать и запускать на выполнение с определенной пользователем строки.

С помощью функций управления исполнение программы можно осуществлять в различных режимах:



– в режиме «Пошаговый» программа обработки выполняется по одному коду. Продолжение обработки возможно нажатием на эту или на другую кнопку управления исполнением программы;



– в режиме «Блок» программа обработки выполняется по одной полной траектории или циклу. Продолжение обработки возможно нажатием на эту или на другую кнопку управления исполнением программы;



– в режиме «Непрерывно» программа обработки выполняется непрерывно до конца программы или до момента прерывания;



– функция «Остановить» программу обеспечивает остановку программы обработки после исполнения текущего кода. Остановить выполнение управляющей программы можно также, нажав на любую клавишу клавиатуры ЭВМ ПК.

6.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛИ НА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОМ СТАНКЕ QUANTUM D210x400

Выполним обработку заготовки сопловой части макета двигателя JUMO 004. Изготовление детали проведем за два установка.

6.2.1. ПЕРВЫЙ УСТАНОВ

Наладка станка

Закрепление заготовки, чертеж которой представлен на рис. 2.1, при её обработке в условиях первого установка осуществляется в обратных кулачках трехкулачкового патрона токарно-винторезного станка с ЧПУ Quantum 210x400. Схема базирования заготовки при данном установке описана в п.2.1.6.

При этом в резцедержатель станка устанавливают все резцы, участвующие в процессе всей обработки детали: проходной упорный, расточной и отрезной.

Наладка станка выполняется в следующей последовательности:

а) путем переброски ремней на ступенчатых шкивах механизма главного движения, представленного на рис. 3.2, установите число оборотов вращения шпинделя равным 1000 об/мин;

б) задайте направление вращения шпинделя против часовой стрелки при помощи соответствующего переключателя;

в) с помощью пускового переключателя станка включите вращение шпинделя;

г) поверните четырехпозиционный резцедержатель в положение, обеспечивающее проходному упорному резцу занятие рабочей позиции;

д) с помощью кнопок ручного управления в среде NC DRIVE, показанных на рис. 6.2, подведите вершину резца к торцу заготовки до касания с ней. Нажимая кнопку , при подаче по 0,1 мм за нажатие, углубите резец в материал на 0,2 мм;

е) проточите весь торец заготовки, нажимая кнопки  и .

ж) расположите вершину резца, лежащую в плоскости торца заготовки, на расстоянии 0,2..0,5 мм от наружной поверхности заготовки в направлении её оси;

и) обнулите координаты, используя кнопку .

к) проточите наружную поверхность заготовки, нажимая кнопку , на длину 5..7 мм. Отведите резец кнопкой  от заготовки на 20..30 мм. Остановите вращение шпинделя с помощью пускового переключателя станка;

л) замерьте диаметр D выполненной проточки штангенциркулем и включите вращение шпинделя;

м) с помощью кнопки  верните вершину резца в положение $z = 0$;

н) с помощью кнопки  переместите вершину резца в точку с координатой $x = -D$;

п) обнулите координаты, используя кнопку .

Теперь вершина инструмента находится на оси заготовки в плоскости торца, что соответствует точке начала координат на рис. 4.7.

Обработка по управляющей программе

Для обработки заготовки по управляющей программе при первом установе необходимо:

- загрузить управляющую программу в среде NC DRIVE, через меню «Файл» – > «Открыть программу...»;

- отвести резец в безопасную позицию, определенную в пункте 4.1.1 как «Начало цикла». Убедиться, что вращение шпинделя включено;

- запустить управляющую программу на выполнение с помощью кнопки . Система управления отработает по программе подрезку торца и отведет инструмент в безопасную позицию. Остановить выполнение управляющей программы во время отвода резца с помощью кнопки .

- повернуть четырехпозиционный резцедержатель в положение, обеспечивающее расточному резцу занятие рабочей позиции;

- позиционировать новый инструмент относительно заготовки. Для этого необходимо повторить пункты наладки станка с д) по п). Пункт д) выполняется без углубления в материал. Достаточно касания торца резцом;

- запустите управляющую программу на выполнение с помощью кнопки .

После выполнения расточки заготовки и отхода инструмента в безопасную позицию закончится текст управляющей программы. Перемещение инструмента прекратится.

6.2.2. ВТОРОЙ УСТАНОВ

Закрепление заготовки при втором установе осуществляется по внутренней поверхности на разжим в трехкулачковом патроне. Схема базирования заготовки при данном установе описана в п.2.1.6.

Наладка станка при втором установе полностью аналогична наладке станка при первом установе. Обработка по управляющей программе также выполняется подобным образом. После смены инструмента необходимо точно его позиционировать относительно заготовки. В результате отработки управляющей программы будет подрезан торец и выполнено формообразование наружных поверхностей.

Изготовленная сопловая часть макета двигателя JUMO 004 представлена на рис. 6.3.



Рис. 6.3. Сопло макета двигателя JUMO 004

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В подготовленном авторами учебно-практическом пособии изложены технологии геометрического 2D и 3D моделирования деталей типа тел вращения и проектирования технологических процессов их изготовления на основе CAD/CAM системы ADEM в версии ADEM 7.1. Определение наивыгоднейших условий формообразования поверхностей на операциях точения в созданном маршруте обработки осуществлялось на основе разработанной математической модели, реализованной в программе расчета.

Материалы, изложенные в пособии, будут весьма полезны при выполнении лабораторных работ, связанных с разработкой управляющих программ для станков с ЧПУ, в частности малоразмерных токарных, и изготовлением деталей, а также при выполнении курсовых работ и проектов по проектированию технологических процессов изготовления деталей как общего машиностроения, так и деталей газотурбинных двигателей.

Вместе с тем, исходя из материала, приведенного в пособии, можно сделать следующие выводы:

1. Современный технолог должен в совершенстве владеть компьютерной графикой, что позволит ему выполнить геометрические 2D и 3D модели деталей любой сложности и использовать их, в частности, при построении технологических процессов их изготовления.

2. САПР ТП должна быть основой современного производства, что позволит существенно сократить сроки подготовки производства, повысить производительность труда и качество обработки за счет использования в процессе производства продукции станков с ЧПУ.

3. Определение рациональных режимов обработки должно осуществляться на основе использования соответствующих математических моделей, реализованных в программах расчета, что позволит обеспечить наибольшую производительность обработки при соблюдении технических требований, предъявляемых к деталям.

Данное учебное пособие может быть рекомендовано в качестве составной части учебно-методических комплексов по таким дисципли-

нам, как «Обработка конструкционных материалов», «Оборудование машиностроительных производств», «Разработка оптимальных технологических процессов с использованием CAE/CAD/CAM/PDM систем» и «Моделирование процессов механической обработки».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Построение чертежей в CAD ADEM [Текст]: метод. указания к выполнению лаб. работ по курсу «САПР ТП» для студентов специальности 120100 «Технология машиностроения» всех форм обучения / сост.: А.В. Вальтер, А.В. Воробьёв, А.А. Сапрыкин. – Юрга: ИПЛ ЮТИ ТПУ, 2005. – 36 с.
2. Построение трёхмерных объектов в CAD ADEM [Текст]: метод. указания к выполнению лаб. работ по курсу «САПР ТП» для студентов специальности 120100 «Технология машиностроения» / сост.: А.В. Вальтер, А.В. Воробьёв, А.А. Сапрыкин – Юрга: ИПЛ ЮТИ ТПУ, 2005. – 32 с.
3. Руководство по эксплуатации станка. Токарно-винторезный станок Quantum D210x400 [Текст], 2004. – 40 с.
4. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ с использованием CAD/CAM-системы ADEM [Текст]: метод. указания к лаб. работе по курсу «CAD/CAM-системы» / сост. С.С. Кугаевский. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. – 18 с.
5. Разработка управляющей программы токарной обработки в ADEM 7.0 [Текст]: метод. указания к лаб. работе / сост.: М.В. Винокуров, К.Ю. Машиннов. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2004. – 28 с.
6. ADEM 7.1: Руководство пользователя [Электронный ресурс] (6.2 Мб).
7. Постпроцессор. – <http://чпу-станки.рф/post.html>
8. Горанский, К.Г. Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин [Текст] / К.Г. Горанский. – Минск: Госиздательство БССР, 1963. – 192 с.
9. Лепилин, В.И. Режимы резания авиационных материалов при точении [Текст]: учеб. пособие /В.И. Лепилин. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2000. – 128 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ЗАГОТОВКИ ПРИ ПЕРВОМ УСТАНОВЕ

N1 G97 S1000
N2 T1
N3 G0 Z-0.02
N4 G0 X55.64
N5 G1 X19.64 F20.
N6 G0 Z1.98
N7 G0 X60 Z30
N8 G97 S1000
N9 T2
N10 G0 X24.37
N11 G0 Z2.98
N12 G1 Z0.98 F28.
N13 G18
N14 G2 X24.16 Z0.72 I46.36 K-3.62
N15 G1 X22.59 Z-1.28
N16 G0 Z2.88
N17 G0 X26.86
N18 G1 Z0.88
N19 G18
N20 G2 X24.88 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N21 G1 Z-15.18
N22 G18
N23 G2 X24.16 Z-16.72 I45.36 K-18.42
N24 G1 X23.51 Z-18.72
N25 G0 Z2.78
N26 G0 X29.4
N27 G1 Z0.78
N28 G18
N29 G2 X27.25 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N30 G1 Z-15.37

N31 G18
N32 G2 X26.25 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N33 G18
N34 G2 X26.25 Z-18.67
N35 G18
N36 G3 X26.31 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N37 G18
N38 G3 X24.16 Z-33.19
N39 G1 X23.47 Z-35.19
N40 G0 Z2.68
N41 G0 X32
N42 G1 Z0.68
N43 G18
N44 G2 X29.61 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N45 G1 Z-15.57
N46 G18
N47 G2 X28.61 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N48 G18
N49 G2 X28.62 Z-18.64
N50 G18
N51 G3 X28.67 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N52 G18
N53 G3 X24.16 Z-38.91
N54 G1 X23.15 Z-40.91
N55 G0 Z2.58
N56 G0 X34.69
N57 G1 Z0.58
N58 G18
N59 G2 X31.98 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N60 G1 Z-15.79
N61 G18
N62 G2 X30.98 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N63 G18
N64 G2 X30.98 Z-18.61

N65 G18
N66 G3 X31.03 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N67 G18
N68 G3 X24.16 Z-43.28
N69 G1 X22.91 Z-45.28
N70 G0 Z2.47
N71 G0 X37.56
N72 G1 Z0.47
N73 G18
N74 G2 X34.34 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N75 G1 Z-16.02
N76 G18
N77 G2 X33.34 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N78 G18
N79 G2 X33.34 Z-18.58
N80 G18
N81 G3 X33.4 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N82 G18
N83 G3 X24.16 Z-46.99
N84 G1 X22.71 Z-48.99
N85 G0 Z2.35
N86 G0 X40.72
N87 G1 Z0.3
N88 G18
N89 G2 X36.7 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N90 G1 Z-16.28
N91 G18
N92 G2 X35.7 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N93 G18
N94 G2 X35.71 Z-18.55
N95 G18
N96 G3 X35.76 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N97 G18
N98 G3 X24.16 Z-50.29

N99 G1 X22.53 Z-52.29
N100 G0 Z2.26
N101 G0 X43.07
N102 G1 Z-0.01
N103 G1 Z-0.37
N104 G18
N105 G2 X39.07 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N106 G1 Z-16.58
N107 G18
N108 G2 X38.07 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N109 G18
N110 G2 X38.07 Z-18.52
N111 G18
N112 G3 X38.12 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N113 G18
N114 G3 X24.3 Z-53.14
N115 G1 X22.38 Z-55.3
N116 G0 Z2.17
N117 G0 X45.43
N118 G1 Z-0.01
N119 G1 Z-1.2
N120 G18
N121 G2 X41.43 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N122 G1 Z-16.93
N123 G18
N124 G2 X40.43 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N125 G18
N126 G2 X40.43 Z-18.49
N127 G18
N128 G3 X40.49 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N129 G18
N130 G3 X26.46 Z-53.62
N131 G1 X22.64 Z-57.9
N132 G0 Z2.08

N133 G0 X47.79
N134 G1 Z-0.01
N135 G1 Z-2.34
N136 G1 X46.36
N137 G18
N138 G2 X43.79 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N139 G1 Z-17.41
N140 G18
N141 G2 X42.79 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N142 G18
N143 G2 X42.79 Z-18.46
N144 G18
N145 G3 X42.85 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N146 G18
N147 G3 X28.62 Z-54.1
N148 G1 X24.05 Z-59.22
N149 G0 Z2.02
N150 G0 X49.37
N151 G1 Z-0.01
N152 G1 Z-3.13
N153 G1 X46.36
N154 G18
N155 G2 X45.37 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N156 G1 Z-17.93
N157 G1 X45.36
N158 G18
N159 G2 X44.37 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N160 G18
N161 G2 X44.37 Z-18.44
N162 G18
N163 G3 X44.43 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N164 G18
N165 G3 X30.05 Z-54.42
N166 G1 X24.99 Z-60.11

N167 G0 X50.16
N168 G0 Z1.99
N169 G1 Z-3.52
N170 G1 X46.36
N171 G18
N172 G2 X46.16 Z-3.62 I46.36 K-3.62
N173 G1 Z-18.32
N174 G1 X45.36
N175 G18
N176 G2 X45.16 Z-18.42 I45.36 K-18.42
N177 G18
N178 G2 X45.16 Z-18.43
N179 G18
N180 G3 X45.22 Z-20.63 I-121.68 K-20.63
N181 G18
N182 G3 X30.77 Z-54.58
N183 G1 X25.46 Z-60.55
N184 G0 X60 Z30
N185 M2 (TIME=22.219)

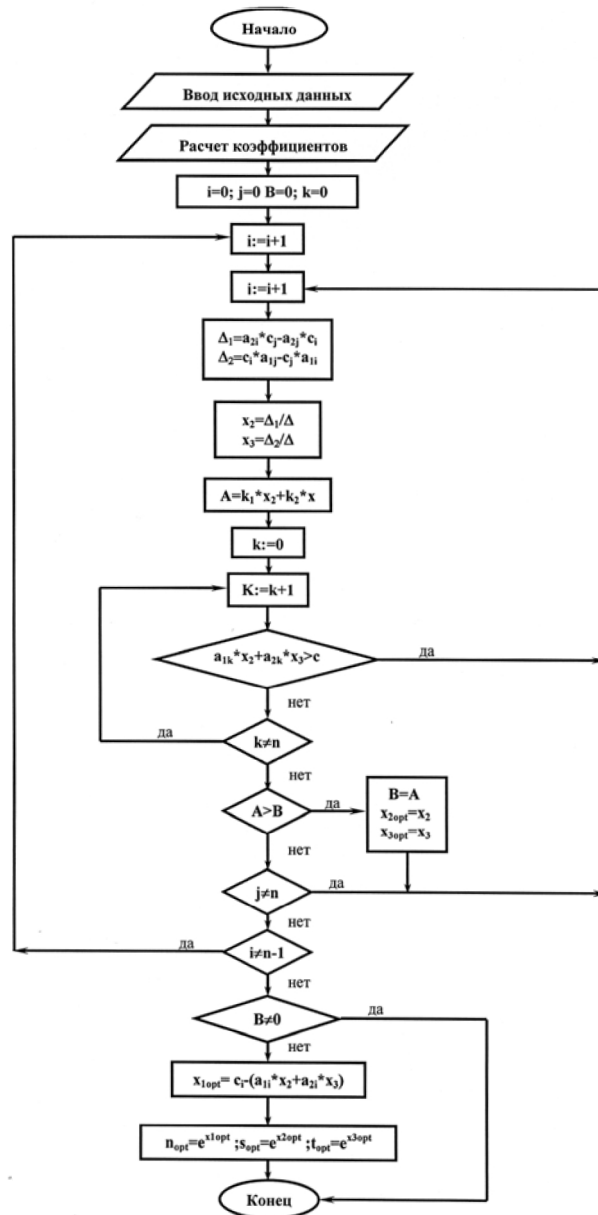
ПРИЛОЖЕНИЕ Б
УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ЗАГОТОВКИ ПРИ ВТОРОМ УСТАНОВЕ

1 G97 S1000
N2 T1
N3 G0 X64
N4 G0 Z0
N5 G0 X58
N6 G1 X26.6 F20.
N7 G0 Z2
N8 G0 X60 Z30
N9 G0 Z2.95
N10 G0 X53.03
N11 G1 Z0.95
N12 G18
N13 G3 X54 Z-0.07 I-91.98 K-34.26
N14 G1 X54.47 Z-0.57
N15 G0 Z2.84
N16 G0 X50.47
N17 G1 Z0.84
N18 G18
N19 G3 X54 Z-3 I-91.98 K-34.26
N20 G1 X54.43 Z-3.5
N21 G0 Z2.72
N22 G0 X47.91
N23 G1 Z0.72
N24 G18
N25 G3 X54 Z-6.19 I-91.98 K-34.26
N26 G1 X54.38 Z-6.69
N27 G0 Z2.6
N28 G0 X45.34
N29 G1 Z0.6
N30 G18

N31 G3 X54 Z-9.73 I-91.98 K-34.26
N32 G1 X54.34 Z-10.23
N33 G0 Z2.48
N34 G0 X42.77
N35 G1 Z0.48
N36 G18
N37 G3 X54 Z-13.81 I-91.98 K-34.26
N38 G1 X54.28 Z-14.31
N39 G0 Z2.36
N40 G0 X40.19
N41 G1 Z0.36
N42 G18
N43 G3 X54 Z-18.84 K-34.26
N44 G1 X54.21 Z-19.34
N45 G0 Z2.24
N46 G0 X37.6
N47 G1 Z0.24
N48 G18
N49 G3 X54 Z-26.5 I-91.98 K-34.26
N50 G1 X54.11 Z-27
N51 G0 Z2.12
N52 G0 X35
N53 G1 Z0.12
N54 G18
N55 G3 X52.34 Z-31.8 K-34.26
N56 G1 X55
N57 G0 Z2.04
N58 G0 X33.27
N59 G1 Z0.04
N60 G18
N61 G3 X50.78 Z-32.6 I-91.98 K-34.26
N62 G1 X52.8
N63 G1 Z-54.5
N64 G1 Z-55.4

N65 G0 X54
N66 G0 Z2
N67 G0 X32.4
N68 G1 Z0
N69 G18
N70 G3 X50 Z-33 I-91.98 K-34.26
N71 G1 X52
N72 G1 Z-55
N73 G0 X60 Z30
N74 G97 S1000
N75 T3
N76 G0 Z-47.5
N77 G0 X56
N78 G1 X50 F20.
N79 G1 Z-38
N80 G1 X52
N81 G0 X60 Z30
N82 M2 (TIME=14.989)

ПРИЛОЖЕНИЕ В **БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММЫ**



Учебное издание

*Скуратов Дмитрий Леонидович,
Рязанов Александр Ильич,
Чигринев Илья Александрович*

**ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ,
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХПРОЦЕССОВ
И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ
НА МАЛОРАЗМЕРНЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ**

Учебное пособие

Редактор Т.К. Кретинина
Довёрстка А.В. Ярославцева

Подписано в печать 22.05.2013. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ.л. 6,5.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. - 16/2013.

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

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

