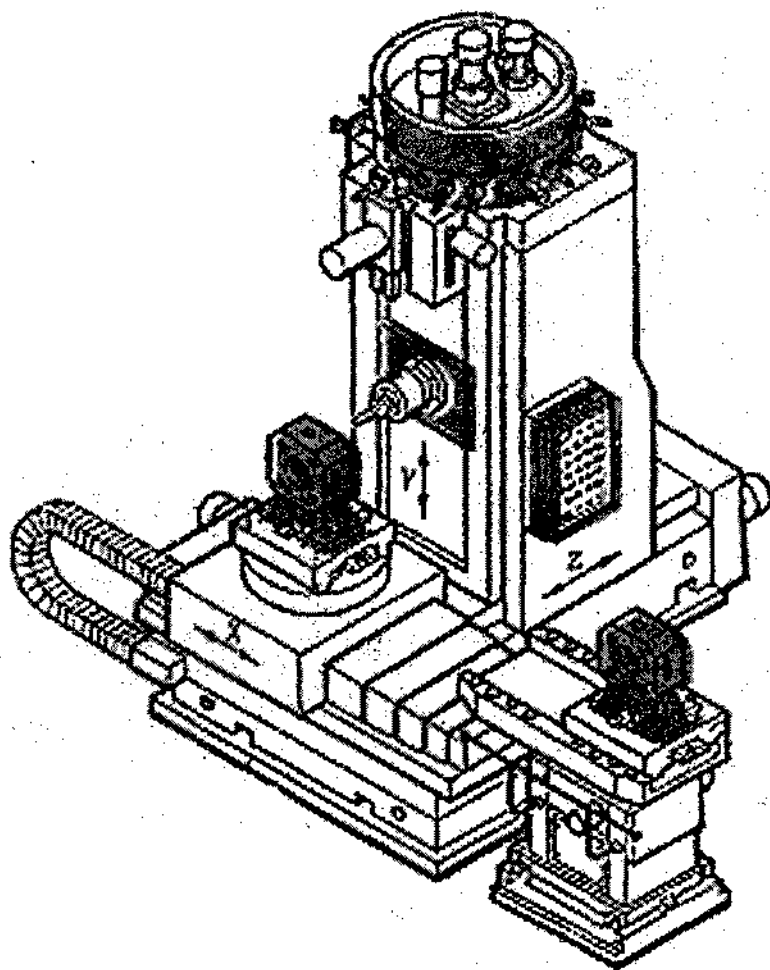


**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК  
НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Учебное пособие



Ульяновск 2000

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК  
НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Учебное пособие

Ульяновск 2000

УДК 658.512.4.011.56: 621.9.06-229+621.9.02(075.8)

ББК 34.5 я7

А 40

Авторы: Ю.И.Самсонов, О.Н.АНИСИМОВ, Е.А. Карев,  
М.Н. Булыгина, П.И. Злобин,

Утверждено редакционно-издательским советом УлГТУ  
в качестве учебного пособия

Рецензенты: Кафедра «Моделирование технических систем и процессов»  
Ульяновского государственного университета;  
канд. техн. наук, доцент Котельникова В.И.

Редактор канд. техн. наук, профессор Гурьянихин.В.Ф.

**Автоматизированное** проектирование технологических процессов  
А 40 механической обработки заготовок на станках с ЧПУ: Учебное  
пособие / Ю.И. Самсонов, О.Н. Анисимов, Е.А. Карев, М.Н. Булыгина,  
П.И. Злобин. -Ульяновск: УлГТУ, 2000. - 84 с.

ISBN 5-89146-132-3

Разработано в соответствии с типовой и рабочей программами дисциплины  
«Компьютерное обеспечение машиностроительного производства». Рассмотрены  
примеры выполнения команд системы «Personal Machinist» по разработке матема-  
тических моделей рабочих трехмерных поверхностей деталей (например, штампов),  
управляющих программ для станков с ЧПУ, выполняющих механическую обработку  
заготовок .

Пособие будет полезно студентам при выполнении практических и лаборатор-  
ных занятий по дисциплинам «Компьютерное обеспечение машиностроительного  
производства», «Основы САПР», «Информационные технологии автомобильного  
производства» и др., а также специалистам в области машиностроения при разра-  
ботке технологических процессов механической обработки заготовок на станках с  
ЧПУ.

УДК 658.512.4.011.56: 621.9.06-229+621.9.02(075.8)

ББК 34.5 я7

© Ю.И.Самсонов, О.Н.Анисимов, Е.А. Карев,  
М.Н. Булыгина, П.И. Злобин, 2000

ISBN 5-89146-132-3

© Оформление. УлГТУ, 2000

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>6</b>
<b>1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КОМАНДАХ И КЛЮЧАХ МНОГОПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ "PERSONAL MACHINIST"</b>	<b>7</b>
1.1. Общие положения. Требования к техническим средствам	7
1.2. Изменение заранее установленных умолчаний	7
1.3. Команда построения траектории движения инструмента (INSERT TOOLPATH)	8
1.3.1. Основные понятия	8
1.3.2. Ключи заготовки	8
1.3.3. Ключи предварительной обработки	9
1.3.4. Ключи окончательной обработки	12
1.3.5. Ключи рисунка траектории инструмента	14
1.3.6. Ключи определения инструмента	17
1.3.7. Другие ключи	19
1.4. Команда редактирования траектории (EDIT TOOLPATH)	20
1.5. Команда и ключи изображения инструмента в движении (DISPLAY TOOL)	21
1.6. Команда изменения последовательности обработки заготовок (GENERATE SEQUENCE). Создание программносителя для станков с ЧПУ	23
1.7. Команда редактирования библиотеки инструментов (EDIT TLIBRARY)	26
<b>2. ПОРЯДОК РАБОТЫ С МНОГОПРОГРАММНОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ</b>	<b>28</b>
2.1. Общие положения	28
2.2. Формирование предварительной обработки заготовок в постоянном режиме	29
2.3. Формирование предварительной обработки с переменным смещением	31
2.4. Формирование предварительной обработки с постоянным смещением	31
2.5. Формирование предварительной обработки по направлению оси Z	32
2.6. Формирование окончательной обработки с использованием функции повторной обработки и автоматическим отводом инструмента по оси Z	33
2.7. Формирование окончательной обработки с использованием функции перекрытия	35
2.8. Формирование окончательной обработки с выключенной функцией перекрытия	36

2.9. Машинная обработка с автоматическим вычислением размеров заготовки	37
2.10. Формирование окончательной обработки с выключенной функцией поперечного резания	38
2.11. Формирование окончательной обработки с использованием функции поперечного резания	40
2.12. Машинная обработка с исключением из механической обработки отдельных областей (Surface Containment) и использованием однонаправленного резания	41
2.13. Машинная обработка с использованием ограничивающих цепочек (Surface Containment)	43
2.14. Формирование предварительной обработки с выключенным автоматическим отводом инструмента по оси Z	43
2.15. Формирование предварительной обработки с включенным автоматическим отводом инструмента по оси Z	44
2.16. Формирование окончательной обработки заготовок с зазорами и перекрывающимися поверхностями	45
2.17. Формирование окончательной обработки при возможности попадания инструмента в зазоры между поверхностями	46
2.18. Создание траектории инструмента проецированием или отображением цепочки	47
2.19. Формирование траектории движения инструмента по линии пересечения поверхностей	50
2.20. Формирование обработки с использованием ключа <b>ZPROFILE</b>	54
2.21. Формирование окончательной обработки N –поверхности с использованием ключа <i>ISO</i>	54
2.22. Формирование окончательной обработки нескольких N –поверхностей с использованием ключа <i>ISO</i>	56
2.23. Формирование окончательной обработки S –поверхности с использованием ключа <b>ISO</b>	57
2.24. Формирование окончательной обработки N –поверхности и S – поверхностей с использованием ключа <i>ISO</i>	59
2.25. Формирование окончательной обработки нескольких S –поверхностей с использованием ключа <i>ISO</i>	61
2.26. Формирование окончательной обработки N –поверхностей с использованием ключа <i>ISO</i>	62
2.27. Формирование окончательной обработки N –поверхности с ключом <i>ISO</i> и использованием ограничивающих цепочек	64
2.28. Окончательное профилирование траектории по одной или нескольким цепочкам	66

2.29. Как закрыть файл чертежа	69
<b>3. ПРИМЕР АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ</b>	<b>70</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>83</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс современного машиностроения в условиях рыночной экономики в значительной степени возможен только при обеспечении высокой мобильности и гибкости производства, быстрой его перестройки на выпуск новых изделий при минимальных затратах трудовых, материальных, энергетических ресурсов, улучшения экологичности производства. А так как производство новых и совершенствование существующих изделий включает в себя технологическую подготовку производства (ТПП), то для ускорения технического прогресса необходима широкая автоматизация инженерного труда. Причем трудоемкость технологической подготовки производства во многих случаях (особенно в единичном и мелкосерийном производствах) составляет 70-80% от трудоемкости всей технической подготовки. Поэтому на стадии подготовки производства имеются большие возможности повышения производительности инженерного труда и качества проектных решений

Традиционный цикл технологической подготовки производства складывается из ряда автономно решаемых задач: научно-исследовательской работы, разработки технологических процессов изготовления изделий, проектирования и изготовления средств технологического оснащения, организации инструментального производства, оснащения производства средствами механизации и автоматизации, опытного производства. В последние годы предприятия машиностроительной промышленности для решения этих задач применяют многопрограммные системы автоматизированного конструкторско-технологического проектирования с помощью ЭВМ, разработанные как у нас в стране, так и за рубежом. Следовательно, одной из задач подготовки выпускников вуза является привитие им навыков использования ЭВМ при решении задач технологического и конструкторского характера. Поэтому в настоящем учебном пособии описана одна из многопрограммных систем автоматизированного проектирования технологических процессов на станках с ЧПУ (для условий единичного и мелкосерийного производства) "Personal Machinist" американской фирмы "Computervision", внедренная на нескольких предприятиях России. Эту систему можно использовать при выполнении курсовых и дипломных проектов, практических и лабораторных занятий, контрольных работ по дисциплинам "САПР ТП", "Компьютерное обеспечение машиностроительного производства", "Информационные технологии машиностроительного производства".

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КОМАНДАХ И КЛЮЧАХ МНОГОПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ "PERSONAL MACHINIST"

## 1.1. Общие положения. Требования к техническим средствам

Многопрограммная система "Personal Machinist" предназначена для проектирования технологических процессов механической и электроэрозионной обработки трехмерных обрабатываемых поверхностей заготовок на станках с ЧПУ. Она защищена на физическом уровне аппаратно с помощью "заглушки".

Система позволяет выполнять следующие команды машинной обработки:

- создавать и вставлять в чертеж траектории движения инструментов;
- создавать и редактировать библиотеку инструментов;
- показывать движение и вращение инструмента по траектории;
- редактировать существующую траекторию.

Для объяснения ключей любой команды имеется интерактивная помощь, которая осуществляется путем ввода команды с клавиатуры с восклицательным знаком <!> .

Система работает только при наличии ЭВМ с оперативной памятью не менее 16 Мб при тактовой частоте свыше 50 МГц и наличии внешней памяти более 120 Мб. Операционная система - PC-DOS/MS-DOS версии 5.0 или UNIX3. Монитор - цветной с размером диагонали не менее 17". Устройство указания - типа мышь. Для вывода графической информации должны быть предусмотрены средства отображения - плоттер рулонного типа формата А0, лазерный принтер, сканер и др.

## 1.2. Изменение заранее установленных умолчаний

Многопрограммная система "Personal Machinist" имеет заранее установленный набор ключей и величин *по умолчанию*, которые назначают каждый раз, когда вводят различные значения для ключей соответствующей машинной команды. Тем не менее, для определенного рабочего сеанса или для ряда элементов, использующих специальные единицы измерения, например, дюймы, можно заменить существующие умолчания командой

**SET MODIFIER <modifier> n**

Можно также хранить группу величин ключевого умолчания, записав команды **SET MODIFIER** в файл **.sgx**, и вызвать их в последующих модификациях путем выполнения файла **.sgx**. Если применять два или более недоступных ключа (например, **ROLLON** и **ROLLOFF**) в команде, то ключ, введенный последним, игнорирует другие.



### 1.3. Команда построения траектории движения инструмента (INSERT TOOLPATH)

#### 1.3.1. Основные понятия

Команда **INSERT TOOLPATH** позволяет рассчитать траекторию инструмента при задании различных операций машинной обработки, которые нужно проделать, чтобы получить поверхность, построенную по математической модели в "Personal Designer" или в "Personal Machinist". Эти операции задают, добавляя ключи в командной строке, вводя их с клавиатуры или выбирая соответствующие пиктограммы меню. После окончания ввода ключей необходимо указать в данном блоке команд поверхности для обработки, как и другие допустимые геометрические объекты.

Например, если добавлен ключ *CONTAIN* или *MATSURF*, то система запросит указать <поверхности, которые не нужно обрабатывать или поверхности, которые определяют границы заготовки СООТВЕТСТВЕННО>. Если же добавлен ключ *STRCONT*, то система запросит <указать цепочки, используемые при выделении поверхностей для обработки>. Система создает траекторию и хранит ее в составном объекте типа **TPATH**. При вводе ключей с клавиатуры можно использовать минимальные сокращения, показанные прописными буквами в имени ключа.

#### 1.3.2. Ключи заготовки

Ключи заготовки определяют границы размеров заготовки вне обрабатываемой поверхности. Для каждой траектории движения инструмента необходимо использовать только один из методов определения границ заготовки: *AUTOMAT*, *XYZ min/max* или *MA TSURF*.

**AUTOMAT** (**Automatic Rough Material Delimitation** - автоматическое определение границ заготовки) (*по умолчанию*). Вычисляет границы заготовки как наименьший параллелепипед, включающий в себя обрабатываемую поверхность с "припуском", равным удвоенному диаметру инструмента. Припуск прибавляется со всех сторон поверхности (в плоскости XY) и по высоте поверхности, измеренной в наивысшей точке. Этот ключ используют только тогда, когда действует ключ *BORDERON*.

Следующая группа ключей определяет границы заготовки как параллелепипед, ограниченный плоскостью с величинами ключей. Здесь можно использовать или все шесть ключей вместе, или только *ZMIN, ZMAX*, или *XMIN, XMAX, YMIN, YMAX*. Действие ключа *BORDERON* в данном случае обязательно.

*XMIN, YMIN, ZMIN* (*по умолчанию* - все 0) - определяют минимальные абсолютные координаты X, Y, Z заготовки соответственно.

**XMAX, YMAX, ZMAX** (*по умолчанию* - все 0) - определяют максимальные абсолютные координаты X, Y, Z заготовки соответственно.

Ключ **MATsurf** (**Material defined by Surface**) указывает системе, что нужно запросить поверхности, определяющие границы заготовки. Если заготовка определяется этим ключом и требуется обрабатывать ее на различную глубину, то единственным пригодным методом является предварительная (черновая) обработка **CONStrgh**. Этот ключ нельзя использовать с ключом **CONTAIN**.

**BORDERON** (**Border of Surfaces Included** - граница включенных поверхностей) (*по умолчанию*). Инструмент проходит по границе поверхности так, что в конце каждого прохода образует касательную к внешней стороне границы с концом инструмента в **ZMIN**. Команда выполняется, когда выбраны ключи : **AUTOMAt** или **XYZ mm/max**.

**BORDEROFF** (**Border of Surfaces Excluded** - граница исключенных поверхностей). Инструмент двигается до касательной к границам заготовки, но никогда не пересекает их. Это значит, что не существует заготовки, кроме границ. Следует обратить внимание на то, что когда строится траектория инструмента по **NURBS**-поверхности, в которой образовано отверстие, и задан ключ **BORDEROFF**, необходимо использовать вспомогательную необрабатываемую поверхность, полностью повторяющую контуры отверстия. Эту поверхность нужно поместить на подходящем уровне **Z** над отверстием, чтобы инструмент не заходил в него. В некоторых случаях инструмент может заходить в отверстие, когда он обрабатывает его по краям, поскольку его боковая поверхность тоже является режущей. Инструмент не отводится, так как он не уходит на уровень **ZMIN**, поскольку даже если **ZMIN** объявлен, этот ключ не действует.

**ROLLON** (**Roll Over Function On** - включить функцию перекрытия) (*по умолчанию*). Инструмент перемещается за границы поверхности и вращается на расстоянии, равном радиусу инструмента (в плоскости **XY**), причем инструмент все еще касается границ.

**ROLLOFF** (**Roll Over Function Off** - выключить функцию перекрытия) Функция перекрытия выключается .

### 1.3.3. Ключи предварительной обработки

Для выбора отдельного метода выполнения повторных проходов в направлении оси **Z** (разрезы предварительной обработки) используется ряд ключей.

**CONSRgh** (**Constant Roughing** - предварительная обработка в постоянном режиме) (*по умолчанию*). По этому ключу инструмент будет обрабатывать поверхность заготовки горизонтально до тех пор, пока не будет достигнута граница обрабатываемой поверхности. В конце каждого прохода система автоматически отводит инструмент в плоскость безопасности по оси **Z**, а затем пе-

ремещает его в плоскости XY на начало нового прохода. Глубина резания не превышает величины, заданной ключом *MAXZDEPTH*. Этот ключ является единственным разрешенным, когда границы заготовки определены ключом *MATSURF*.

*VARIrgh* (**Variable Offset Roughing** - предварительная обработка с переменной глубиной резания). Каждый проход осуществляется по рассчитанной системой поверхности, созданной как смещение обрабатываемой поверхности на переменную глубину резания. Режущий инструмент остается в контакте с заготовкой постоянно на всей ее длине. Поскольку траектория инструмента проходит по поверхности переменного смещения, глубина резания может быть различной в зависимости от кривизны поверхности, но эта глубина резания не может превышать величины, заданной ключом *MAXZDEPTH*. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится в плоскость безопасности по оси Z и перемещается в плоскости XY на начало нового прохода.

*OFFSrgh* (**Constant Offset Roughing**-предварительная обработка с постоянной глубиной резания). Каждый проход осуществляется по рассчитанной системой поверхности, созданной смещением обрабатываемой поверхности на постоянную величину. Режущий инструмент остается в контакте с заготовкой, перемещаясь по поверхности смещения. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится в плоскость безопасности по оси Z с учётом перебега инструмента и перемещается в плоскости XY на начало нового прохода. Глубина резания в основном постоянна, пока траектория проходит по поверхности постоянного смещения и никогда не превышает величины, заданной ключом *MAXZDEPTH*.

*ZROUGH* (**Constant Z-Roughing**-предварительная обработка с постоянной глубиной резания по направлению оси Z). Команда используется только при зигзагообразном резании (*ZIGZAG cutting*). По этому ключу инструмент будет обрабатывать заготовку горизонтально до тех пор, пока не будет достигнута граница обрабатываемой поверхности. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится в плоскость безопасности по оси Z, не замечая минувшую поверхность, углубляется опять на предыдущем Z уровне и продолжает резание заготовки. Если в модели имеются отверстия или углубления, то инструмент поднимается над поверхностью модели, а затем обрабатывает каждое углубление или отверстие последовательно одно за другим на каждом уровне Z.

*BORDERON* - определение границ. В данном случае должно быть определено достаточное количество припуска материала. Ввиду последующего завершения **ZROUGH** предполагает определение границ заготовки ключами *AUTOMAT* или *XMIN, XMAX, YMIN, YMAX, ZMIN, ZMAX*. В конце каждого прохода инструмент автоматически выводится в плоскость безопасности Z и занимает новую позицию в плоскости XY для нового прохода. Глубина резания не превышает величины, заданной ключом *MAXDEPTH*.

После выбора в командной строке поверхностей, определяющих модель, система просит <указать точки заглабления в плоскости XY, в которых инструмент будет двигаться вдоль оси Z до дна углубления>. Эти точки должны быть указаны на графике чертежа. Можно указать позиции заглабления во всех областях, где удаляется материал в заготовке или вне границ заготовки, чтобы на первом проходе инструмент прошел вдоль всей боковой стороны заготовки. Если же не указывать точки заглабления или указывать их неправильно, то система определяет эти точки автоматически и игнорирует заданные пользователем точки, когда нажимается ключ возврата, чтобы закончить командную строку.

**PANGLE (Plunge Angle-угол углубления)** (*по умолчанию-20°*). Этот ключ совместно с ключом **ZRPRF** задает величину угла (от 1 до 90°), на которую инструмент углубляется в заготовку при обработке наклонных поверхностей.

**ZRPRF (Constant Z-Depth Roughing with Waterline Finishing First)**. Комбинирует функции **ZROUGH** и **ZPROFILE** на каждом уровне резания. Окончательное изображение в разрезе имеет место вначале вместе с **UNIONE** или **UNITWO**, управляющими направлением резания. Предварительная обработка с постоянной глубиной резания по направлению оси Z следует вместе с зигзагообразным резанием. Пользовательски-определенные указатели подачи инструмента при врезании невозможны с этим ключом. Следует использовать ключ **PANGLE**. Инструмент быстро передвигается к позиции, касательной в плоскости XY на изображении в разрезе, в подходящем уровне безопасности по оси Z. Используя величину **PANGLE**, система вычисляет длину для прибытия инструмента на Z-уровень резания, определенный **MAXZ** п. Инструмент движется вдоль контура, одновременно замедляясь в направлении Z, вычисляется длина (но не менее одного прохода по контуру) до тех пор, пока не достигнут первый уровень резания. Инструмент затем окончательно изображает контур в разрезе для пересылки спирально сгенерированного входного изображения в разрезе. После прохождения всех контуров появится изображение в разрезе Z уровня, а система **ZIGZAG** срежет остающийся материал на уровне Z. Любые восстановления позиций инструмента имеют место там, где материал уже удален.

**ZRPRL (Constant Z-Depth Roughing with Waterline Finishing Last)**. Комбинирует функции **ZROUGH** и **ZPROFILE** на каждом уровне резания. Предварительная с постоянной глубиной резания обработка в плоскости Z следует вместе с зигзагообразным резанием. Окончательное изображение в разрезе имеет место вначале вместе с **UNIONE** или **UNITWO**, управляющими направлением резания.

**MAXZdepth (Maximum Z Depth per Pass - максимальная глубина резания на каждом проходе по оси Z)** (*по умолчанию - 500.0*). Задает максимальную глубину резания при каждом проходе. Используется действительная величина.

Если глубина поверхности по оси Z превышает 500.0 единиц измерения, то требуется только одна величина глубины резания по оси Z.

#### 1.3.4. Ключи окончательной обработки

Ключи окончательной обработки заготовок используют для поверхностей уже обработанных с помощью функции предварительной (черновой) обработки или для поверхностей, не требующих предварительной обработки. Они выполняют обработку поверхности в плоскости, перпендикулярной оси Z на различной глубине.

**RECUTON (Recut Function On** - включить функцию повторного резания). Система определяет, где на поверхности остался неснятый материал при большом диаметре инструмента и заданной кривизне поверхности. Например, если поверхность имеет минимальную кривизну 0.25 и используется инструмент диаметром 1.0, то на поверхности останутся припуски в тех местах, где этот инструмент не может удалить материал при данной кривизне поверхности. Для построения траектории инструмента с повторным резанием требуется, чтобы тип инструмента, высота микронеровностей профиля обработанной поверхности и допуск (дуга/хорда) были теми же, что и для траектории предыдущего инструмента. Функция повторного резания строит новую траекторию так, что удаляется только материал, оставшийся после предыдущей обработки без обработки всей поверхности. Если используется функция **RECUT**, а новая траектория не строится, то это означает, что весь материал уже снят.

**RECUTOFF (Recut Function off** - выключить функцию повторного резания) (*по умолчанию*). Выключается функция повторного резания.

**CROSSCUTON (Crosscut Function On** - ВКЛЮЧИТЬ функцию поперечного резания). При включенном поперечном резании система определяет оставшиеся припуски после предыдущей обработки и строит траекторию инструмента так, что удаляются все остатки материала. При этом вся поверхность заново не обрабатывается. Направление резания составляет 90° с направлением предыдущей траектории.

**CROSSCUTOFF (Crosscut Function Off** - выключить функцию поперечного резания) (*по умолчанию*). Выключает функцию поперечного резания.

**PREVdiamn (Diameter of Previous Cutting Tool** - диаметр предыдущего режущего инструмента) (*по умолчанию* - 1.00). Задается диаметр предыдущего режущего инструмента. Вводится действительное число. Этот ключ используют только с ключами **RECUTON** и **CROSSCUTON**.

**OPTimize** (оптимизировать). Используется с ключами **RECUTON** и **CROSSCUTON**. По этому ключу система сначала завершает снятие одной области припуска и только затем переходит к другой. Преобразовывается в цифровую форму область припусков в требуемом порядке обработки.

**ISO (Isoparametric Machining** - изопараметрическая обработка). Машинная обработка проводится вдоль изопараметрического семейства (U-постоянная) кривых N - поверхностей и S - полюсов. Поверхности должны располагаться в линейном массиве в направлении резания. Каждая поверхность должна быть касательной к следующей и должна иметь законченную кромку с ней. Такие КЛЮЧИ, как: **CHT, SCALL, STEP, TOOLD, BALLM, FLATM, FLATCR, CORNER** и **STRCONT** применяют для режимов машинной обработки **ZIGZAG** и **UNIONE**.

**ISO** имеет автоматическую выборку материала вдоль направления резания, не пересекая направления резания. Выборка материала ограничена к инструменту, чей радиус есть минимум двойной минимальной кривизны поверхности.

**TRIMFirst** (по умолчанию). Выравнивает траекторию инструмента для изопараметрической обработки с помощью ограничения поверхностей для обработки цепочками в первом пересечении.

**TRIMALL**. Выравнивает траекторию инструмента для изопараметрической обработки с помощью ограничений поверхностей цепочками во всех пересечениях.

**INTAuto (Automatic Surface Intersection Machining** - автоматическая обработка линий пересечения поверхностей). До этому ключу автоматически находятся все линии пересечения обрабатываемых поверхностей и создается траектория инструмента, идущая вдоль линии пересечения. Если пересечения непоследовательны, то инструмент движется от одного пересечения к другому в плоскости безопасности Z.

**INTSeries (Intersect Series** - пересечения серии). По этому ключу система просит указать две серии поверхностей и строит траекторию инструмента, которая проходит по линиям пересечения этих двух серий. Дополнительно можно задать третью серию поверхностей, не подлежащих обработке.

**MINAngle**(по умолчанию - 20°). Задаёт минимальный внутренний угол между обрабатываемыми поверхностями. Поверхности, пересекающиеся под углом, меньшим чем заданный, не принимаются во ВНИМАНИЕ, и линия их пересечения не включается в траекторию инструмента.

**PROFile (Finishing Profiling** - окончательное изображение в разрезе). Обработка ведется вдоль 3-мерной цепочки с помощью осей инструмента, ориентированных в Z-направлении от активного CPL до тех Пор, ПОКА не будет использован ключ **DEPTH**.

**DEPth n** (параметр **PROFILE**)(по умолчанию - 0). Траектории инструмента, образованные с помощью **PROFILE**, будут смещаться на расстоянии  $\pm n$  в направлении Z.

**ZPROfile (Waterline Finishing)**. Инструмент обрабатывает поверхность по контуру, смещаясь по оси Z. Расстояние между плоскостями определяют ключом **STEPOVER n**.

**PROJECT (Z-Direction Projection).** Проектирование в направлении Z. Инструмент проводит обработку вдоль цепочки на N-поверхности или S-полюсе. Цепочка может располагаться на плоскости XY активного CPL и может быть сконцентрирована прямо над поверхностью.

**MAP (Mapping - отображение).** Отображает существующую траекторию инструмента, созданную с помощью **INSERT TOOLPATH** в плоскости XY (как определенную активным CPL), на новую траекторию инструмента на поверхности S-полюса. Новая траектория инструмента принимает кривизну поверхности. Ориентация траектории инструмента поверхности определяется углом между X-осью и линией, соединяющей нижний левый и верхний правый S-полюса. Используют этот ключ с ключом **PERCENTAGE**.

**PERcentage n (Percentage) (по умолчанию - 0.90).** Используют при отображении цепочек. Задаёт процент площади поверхности, используемой при отображении. Поверхность должна быть S-поверхностью.

**SEParate (Separate).** Используют при отображении многомерных цепочек. Создает отдельную траекторию для каждой цепочки, когда отображается несколько цепочек. В противном случае из ВСЕХ цепочек создается одна траектория.

**ROLLON (Roll Over Function On - включить функцию перекрытия) (по умолчанию).** Инструмент движется за границы поверхности и вращается на расстоянии (измеренном в плоскости XY), равном радиусу инструмента, так что инструмент все еще касается границ заготовки.

**ROLLOFF (Roll Over Function Off) - выключить функцию перекрытия.**

### 1.3.5. Ключи рисунка траектории инструмента

**ZIGZAG (Zigzag) (по умолчанию).** Система выбирает зигзагообразный метод машинной обработки. Инструмент режет сначала в одном направлении, шагая через расстояние, равное **STEPOVER n**, затем в противоположном направлении. Чередующийся метод машинной обработки единоподобен.

**UNIONE (Unidirectional, Conventional).** Выбирает однонаправленный метод машинной обработки. Обеспечивает стандартное фрезерование в предположении, что используется праворежущий инструмент. Ставится инструмент на правую сторону траектории инструмента, если используется **PROFILE**. Инструмент режет в одном направлении, автоматически отходя в плоскость безопасности Z, и возвращается на противоположную сторону заготовки на расстояние, равное **STEPOVER n** от предыдущего разреза.

**UNITwo (Unidirectional, Climb).** Система выбирает однонаправленный метод машинной обработки, но фрезерование происходит в противоположном направлении, чем в **UNIONE**, обеспечивая при обработке подъем по Z. Ставит инструмент на левую сторону траектории инструмента, если используется **PROFILE**. Инструмент режет в одном направлении, автоматически отходя в

плоскость безопасности Z, и возвращается на противоположную сторону заготовки на расстояние, равное **STEPOVER n** от предыдущего разреза.

**Angle n** (угол) (по умолчанию - 0.0). Система задает величину угла между вектором, определяющим направление резания и осью X ("3 часа"). Этот угол определяет также угол поверхности, с которого начнется траектория. Угол может быть положительным (+) или отрицательным (-) и может содержать до трех десятичных разрядов (например +0.000 или -360.0). Положительный угол - это угол по часовой стрелке, отрицательный -против. Знак '+' ставить не требуется.

**CHTolerance n (Chord Height Tolerance)** (по умолчанию - .01). Система задает величину допуска дуга/хорда в направлении резания (МИНИМУМ-0.0001).

**STOCK N** (по умолчанию - 0.0) Система задает припуск материала, оставленный на поверхности для дальнейшей обработки. Этот ключ действует глобально на всех поверхностях в команде построения траектории инструмента.

**USESTOCK(Use Stock Property)**. Система добавляет величину дополнительного припуска на поверхности к глобальному **STOCK n**, если этот дополнительный припуск был заранее задан на поверхности как свойство с помощью команды **INSERT PROPERTY STOCK**. Объединяет величины **STOCK c** поверхностями, использующими все соглашения команды **INSERT PROPERTY**. Для этого необходимо ввести слово **STOCK**, используя прописные буквы. Это позволяет различным поверхностям иметь различные значения **STOCK**. Когда определяется значение **USESTOCK c** с помощью команды **INSERT PROPERTY**, необходимо ввести величины следующим образом: **1.0(но не 1)** или **0.5 (но не 5)**. Если величина отрицательная, используется ключ **NUMERIC**.

**STEPOVER n (Stepover)** (по умолчанию - 0.10). Система задает расстояние между проходами инструментов по поверхности, называемое шагом (stepover). Следует ввести действительное число. Когда используется ключ **VARPASOFF**, шаг задан явно или рассчитан по высоте неровностей и остается постоянным и равным расстоянию между проходами, измеренным в плоскости XY. Когда используется ключ **VARPASON**, шаг рассчитывают динамически как 3 - мерное расстояние между проходами и изменяется от прохода к проходу в соответствии с изменяющейся кривизной поверхности. Как следствие, расстояние между режущими плоскостями, а соответственно между проходами, измеренное в плоскости XY, будет МЕНЬШЕ, ЧЕМ положение плоскостей.

**SCALLOP n (Scallop Height)** (по умолчанию - 0.01). Система задает высоту припуска материала, остающегося на поверхности, обрабатываемой выбранным инструментом. Инструмент должен быть круглым или с радиусом (фреза). Вводится действительное число. Как и с ключом **STEPOVER**, когда используется **VARPASON**, высота неровностей рассчитывается динамически в соответствии с меняющейся кривизной поверхности. Когда используют ключ **VARPASON**, высота неровностей, заданная явно или рассчитанная, остается постоянной в соответствии с кривизной поверхности.



**NCUTs n (Number of Cuts).** Система задает число разрезов при каждом проходе на выбранных поверхностях. Вводится целое число.

**VARPASON (Variable Distances Between Passes On** - включить переменный шаг между проходами). Система динамически вычисляет величину шага по мере построения траектории в соответствии с кривизной поверхности, проверяя, чтобы смещение между двумя врезаниями не противоречило величине **STEPOVER/SCALLOP** в результате расстояние между плоскостями резания становится переменным.

**VARPASSOFF (Variable Distances Between Passes Off** - выключить переменный шаг между проходами). Шаг между врезаниями, как измеренный в плоскости XY, остается постоянным.

**VARmin n (по умолчанию - CHTOLERANCE).** Задает минимальную величину шага, принятую системой в типе **VARPASON**. Для поверхностей, очень близких к вертикальным, динамически вычисляющийся шаг не может быть меньше, чем величина **VARMIN**. Если никакая величина не задана, **VARMIN** по умолчанию берется как величина допуска дуга/хорда.

**AUTOZOFF (Automatic Z-Retract Off) (по умолчанию).** Отменяет действие ключа **AUTOZON**.

**AUTOZON (Automatic Z-Retract Between Cuts on).** Указывает системе, что нужно автоматически отводить инструмент на вычисленную системой плоскость безопасности Z, когда величина шага между 3-мя плоскостями превышает среднюю величину шага для данной траектории. **AUTOZON** требуется использовать при многопроходной предварительной обработке или при наличии углубления или отверстия в заготовке.

**RATIO n (по умолчанию - 2).** Управляет выполнением **AUTOZON**. Система задает отношение расстояния в двумерном пространстве от одной плоскости резания до другой к величине шага **STEPOVER**. Необходимо ввести значение шага **STEPOVER** или система рассчитает ее по величине неровностей **SCALLOP**. Чем больше отношение, тем меньше инструмент отрывается от заготовки. Чем отношение меньше, тем чаще инструмент отрывается от заготовки.

**RETAUTO (Automatic Selection of Z Retraction Level** - автоматический выбор уровня отвода по Z) (по умолчанию - равен наибольшей высоте поверхности, по которой проходит траектория и с которой инструмент отводится на +2 TOOLDIAM).

**RETABS (Absolute Retraction Level** - абсолютный уровень отвода). Вводится эта величина с помощью ключа **ZABS**.

**ZABS n (по умолчанию - 10).** Система задает абсолютный уровень, расположенный в активной CPL для параметра **RETABS**.

**RETING (Incremental Retraction Level** - уровень отвода с приращением). Система задает уровень отвода по Z через приращение **ZING** более ВЫСО-

кой из двух точек траектории. Следует ввести эту величину приращения с ключом **ZING**. Уровень безопасности Z задан ключами **AUTOZON/RTIO**.

**ZING** (по умолчанию - 0.50). Задается величина приращения для типа **RETINC**.

**CONTAIN (Surface Containment** - исключение поверхностей из обработки). Указывает системе, что нужно запросить поверхности, которые не обрабатываются. По умолчанию система использует не двухмерное, а трехмерное исключение из обработки. Траектория инструмента лежит вне этих поверхностей. Можно использовать как двухмерное, так и трехмерное исключение, но применять одновременно то и другое нельзя. Этот ключ нельзя применять с ключом **MATSURF**.

**STRCont (String Containment** - ограничение поверхностей для обработки цепочками). Указывает системе, что нужно запросить цепочки, используемые для ограничения обработки. Цепочки должны быть двухмерными, плоскими, замкнутыми, без петель. Траектория инструмента полностью лежит внутри цепочки. Система по умолчанию использует не двухмерное, а трехмерное ограничение. Можно применять как двухмерное ограничение, так и трехмерное, но использовать то и другое одновременно нельзя. Этот ключ применяется с ключом **MATSURF**.

### 1.3.6. Ключи определения инструмента

Описанными ниже ключами можно выбрать тип инструмента и задать его геометрические размеры. Каждый тип инструмента имеет свой рисунок (по умолчанию используемый командой **DISPLAY TOOL**, причём внутри этой команды масштаб изображения инструмента меняется при изменении масштабов чертежа).

**BALLMILL**(по умолчанию). Выбирается круглая концевая фреза как тип инструмента. При выборе инструмента из библиотеки инструментов этот ключ не требуется. Рисунок инструмента по умолчанию - **BALLTOL.DRW**.

**FLATMill**. Выбирается цилиндрическая концевая фреза как тип инструмента. Концевая фреза режет обеими сторонами и нижней частью инструмента. При выборе инструмента из библиотеки инструментов этот ключ не требуется. Рисунок инструмента по умолчанию - **FLATTOOL.DRW**.

**FLATCrmill**. Выбирается концевая фреза со скругленными углами как тип инструмента. При выборе инструмента из библиотеки инструментов этот ключ не требуется. Рисунок инструмента по умолчанию - **FLCRTOOL.DRW**. Радиус скругления на этом рисунке автоматически не масштабируется.

**CORNerrad n (Corner Radius)** (по умолчанию - 0.25). Определяется величина радиуса скругления углов концевой фрезы со скругленными углами. **CORNerrad** используют только с ключом **FLATMILL**. Назначаются действи-

тельные числа от 0.0 до 32767.0. При выборе инструмента из библиотеки инструментов этот ключ не требуется.

**TOOLDiam n (Tool Diameter)** (по умолчанию - 100). Система задает диаметр выбранного Вами инструмента. Используются действительные числа от 0.0 до 32767.0. Когда выбирается инструмент из библиотеки инструментов, этот ключ не требуется.

**SPEEd n** (об/мин) (по умолчанию - 1000). Система задает частоту вращения режущего инструмента в оборотах в минуту (n-ЧИСЛО от 0 до 32767). Отрицательное значение (например -1000) обозначает вращение против часовой стрелки вместо обычно принятого направления по часовой стрелке. Этот ключ не требуется, если инструмент выбирается из библиотеки инструментов.

**FEED n** (подача) (по умолчанию - 10.00). Система задает подачу инструмента (n может изменяться от 0.0 до 32767.0). Этот ключ не требуется, если выбирается инструмент из библиотеки инструментов. Следует проверить, что постпроцессор принимает формат, в котором указывается величина данного параметра.

**PLUnge n (Plunge Feed Rate)** (по умолчанию - 3.0). Задается подача инструмента при врезании. Если ключ **PLUNGE** не задан, то соответствующая подача составляет 1/3 подачи **FEED**, по умолчанию округленная до ближайшего целого числа.

**LIBName (Librare Name)**. Задается уникальное имя существующей библиотеки инструментов, в которой хранятся данные о нужном инструменте. Эта библиотека уже должна существовать.

**TOOLNumber n** (по умолчанию - 1). Система присваивает уникальный номер каждому инструменту в библиотеке инструментов. Для этого используются целые числа от 1 до 99.

**MAGpos n (Magazin Position Number)** (по умолчанию - 1). Определяется уникальная позиция в магазине инструментов станка с ЧПУ, которая записывается в выходной файл ленты ЧПУ. Ключ **MAGPOS** не следует путать с ключом **TOOLNUMBER**, используемым внутри библиотеки инструментов.

**COMPON (Tool Compensation On** - включить компенсацию координат по инструменту). Вычисляются координаты траектории, делая поправку на диаметр инструмента. Вычисляется и вносится в файл на машинном языке станка с ЧПУ смещение относительно низа и центра режущего инструмента. Это наиболее используемый метод. Следует учесть, что этот метод требуется всегда, за исключением случая, когда оператор станка с ЧПУ может смещать инструмент по всем трем осям одновременно, однако большинство станков не могут делать этого.

**COMPOFF (Tool Compensation Off** - выключить компенсацию координат по инструменту). Вычисляются координаты инструмента без поправки на диаметр инструмента. Это стандартный формат ISO. Необходимо учесть, что этот ключ используется только для станков, оператор на которых может сме-

щать инструмент по всем трем осям одновременно. Однако большинство станков не могут осуществлять этого.

### 1.3.7. Другие ключи

**TPNAME x** (**Tool Path Name**) (по умолчанию - первые 6 букв имени файла рисунка плюс последующий номер, 0-99). Этот ключ дает каждой траектории инструмента уникальное имя для последующего согласования с командой **GENERATE SEQUENCE**. Используется максимум шестибуквенная алфавитно-цифровая строка.

**COMMENTSx** (по умолчанию - **PM3D TOOL PATH**). Система позволяет ввести комментарий, связанный с определенной траекторией. Вводится алфавитно-цифровая строка до 28 знаков включительно.

**DYNA** (**Dynamic Tool Path Display**). Этот ключ показывает траекторию инструмента последовательно так, как она будет вычисляться. Для этого требуется больше системного времени и возрастает время запуска (пробега) примерно на 25%, но держит пользователя постоянно в курсе образования траектории инструмента. Нажав **D** в течение процесса и периодически переключаясь из одного состояния в другое (между динамическим показом состояния траектории инструмента и нормальным ее вычислением), можно добиться более быстрого вычисления остановкой динамического показа. Этот ключ работает только вместе с ключом **MVIEWS off** и не работает с ключами **MAP**, **PROFILE**, **PROJECT**, **ZPROFILE**, **ZROUGH**, **INTAUTO**, **INTSERIES**, **RECUTON**, **CROSSCUTON**.

**SGX** (**Batch Processing**). Подавляется немедленное создание траектории инструмента. Это означает, что ключ должен использоваться вместе с командой **SELECT JOURNAL ON** для процесса одноразовой загрузки длинных или многократных траекторий инструмента. Вводят ключ **SGX** вместе с другими ключами в командной строке **INSERT TOOLPATH**. Когда нажимается клавиша '**Enter**', информация траектории инструмента вводится в исполнительный файл, у которого есть имя в команде **SELECT JOURNAL ON**. Когда завершается траектория инструмента, необходимо занести в файл рисунок и ввести **SELECT JOURNAL OFF**. Траектория инструмента может быть создана позже, используя команду **EXECUTE**.

**WARNlevel** (**Warning Level when Error Message for Inverted Normals Appears**- уровень предупреждения, когда появляется сообщение об ошибке из-за обратного направления нормали). **WARN1** рассчитывает траекторию и высвечивает поверхности, где имеются нормали, направленные в обратную сторону, но не выводит на дисплей номера MIB объектов с такими нормальями. Пользоваться **WARN1** следует при построении траектории инструмента, когда есть уверенность, что поверхность можно обработать и нет необходимости забивать экран сообщениями об ошибках. Такой ключ, как **WARN2**, означает, что

траектория инструмента может содержать ошибку. Может ли инструмент пройти по такой траектории, определяет только пользователь.

**WARN2** (по умолчанию) рассчитывает траекторию, где имеются нормали, направленные в обратную сторону, и выводит на дисплей их номера MIB. В этом случае траектория инструмента может содержать ошибку. Поэтому необходимо тщательно проверить, является ли траектория правильной.

**WARN3** выводит номер MIB первой же поверхности с обратными нормалью. Обработка останавливается. Этот ключ используется для быстрой проверки новых поверхностей. Данная функция в настоящее время доступна только пользователям системы UNIX.

#### 1.4. Команда редактирования траектории (EDIT TOOLPATH)

Команда **EDIT TOOLPATH** позволяет редактировать или обновлять существующую траекторию инструмента, изменяя ключи, с которыми определялась траектория. Эта команда работает также, как команда **INSERT TOOLPATH**. Например:

**EDIT TOOLPATH** *digitize toolpath* *a* <modifiers> : Enter

**Изменение местоположения вершин.** Когда вы добавляете, удаляете или пересылаете вершины, изменяется масштаб с помощью команды **ZOOM WIN** перед преобразованием в цифровую форму траектории инструмента. Преобразуйте в цифровую форму траекторию инструмента там, где вы будете редактировать, и вершины в локальной области будут принимать значения с помощью вспыхивающих ромбов. Эти ромбы временно показываются и затем исчезают, взмывая вверх. Преобразуйте в цифровую форму вершины в траектории инструмента, где вы будете редактировать и затем введите подходящий ключ. Например, если вы хотите удалить узел цепи, преобразуйте его в цифровую форму, а затем введите ключ **DELVERT**.

**Изменение F-кодов или G-кодов.** При изменении F-кодов или G-кодов вы должны знать направление, в котором движется инструмент. Измените масштаб там, где вы будете редактировать. Покажите инструмент в движении, используя команду **DISPLAY TOOL**, и заметьте направление. Переведите в цифровую форму узел цепи на траектории инструмента там, где вы будете редактировать, а затем введите подходящий ключ. Например, переведите в цифровую форму узел цепи там, где вы будете изменять скорость с замедленной на быструю, и затем введите ключ **FCHANGE**. Скорость увеличится в этом узле цепи и останется такой до следующей замедленной скорости в траектории инструмента. Если вы хотите опять изменить с быстрой на медленную перед следующей замедленной скоростью, переведите в цифровую форму узел цепи там, где вы хотите, чтобы началось замедление, и введите ключ **FCHANGE**.

**Вставка новой траектории инструмента.** Когда вы изменяете нужные вам ключи, указывайте поверхности для обработки, и система вставит новую траекторию инструмента в рисунок. Система удаляет старую траекторию инструмента, если вы не обозначите ключ **KEEP**.

**Ключи.** Ключи задают различные операции машинной обработки, которые определяют траекторию движения инструмента. Эти ключи похожи на те, что существуют в **INSERT TOOLPATH**. Для того чтобы увидеть ключи, которые определяют траекторию инструмента, при редактировании введите знак вопроса (?). Ключи и их текущая величина выведутся на экран. Затем необходимо задать ключи, которые вы хотите изменить, добавить или выключить, равно как и ввести их с клавиатуры или выбрать пиктограммы меню пером или мышью.

**KEEP** используется при редактировании траектории движения инструмента. Этот ключ сохраняет старую траекторию инструмента.

**REPL.** Данный ключ удаляет старую траекторию инструмента и замещает ее новой.

**ADDVERT** добавляет вершины в существующую траекторию инструмента.

**DELVERT** удаляет вершины из существующей траектории инструмента.

**MOVVERT** пересылает вершины в существующей траектории инструмента.

**GCHANGE** изменяет G-КОДЫ в узле цепи.

**FCHANGE** изменяет F-КОДЫ в узле цепи.

### 1.5. Команда и ключи изображения инструмента в движении (DISPLAY TOOL)

Команда **DISPLAY TOOL** позволяет изображать инструмент в движении вдоль траектории инструмента. Пример команды:

**DISplay TOOL <modifiers>. ent 'Enter'**

**Ключи.** Предназначены для изображения различных функций демонстрации движения инструмента.

**NAME x** (необязательный КЛЮЧ). Указывает файл **.DRW**, в котором вычерчен свой собственный рисунок инструмента. Чтобы воспользоваться этим рисунком инструмента, необходимо ввести **NAME**, а затем имя файла с рисунком без расширения **.DRW**. Этот ключ отменяет использование рисунков инструмента *по умолчанию*, связанных с типами инструмента **BALLM**, **FLATM** или **FLATC**. Каждый тип инструмента связан с чертежом его *по умолчанию* (для использования с командой **DISPLAY TOOL**). Во время выполнения этой команды изображение инструмента автоматически масштабируется при измене-

нии масштаба чертежа. Изображение инструмента, вызванное с помощью ключа *NAME*, в отличие от рисунков *по умолчанию*, не масштабируется.

На Вашем собственном рисунке инструмента его центральная и нижняя часть должны быть определены в точке **X0Y0Z0**. Рисунок чертежа должен быть выполнен отрезками прямых. Остальные типы объектов игнорируются. Однако можно воспользоваться командой **EXPLODE ENTITY**, чтобы расчленить объекты других типов (дуги, цепочки и т.д.) на отрезки прямых. Большой объем данных в файле рисунка инструмента и использование нескольких видов замедляет показ движения инструмента.

**NORot (No Rotation)**. Останавливает вращение инструмента при демонстрации его движения. Обычно инструмент вращается, когда он движется по траектории. Ключ может быть использован и для показа токарных инструментов.

**SCALE n** задает масштаб Вашего собственного рисунка инструмента.

**STart** выбирает начальную точку демонстрации движения инструмента, например, вершину траектории, ближайшей к указанной вами позиции. Если нужно выбрать конкретную вершину траектории, следует ввести **VERT TP** и нажать клавишу **Enter**.

**Выбор траектории движения инструмента.** Траектория инструментов состоит из одного или более объектов типа **TRATH**. Когда система просит задать траекторию, необходимо указать начало первого набора объектов **TRATH**. Как только это будет сделано, над первой вершиной траектории появится изображение инструмента. Наверху экрана высветится меню управления инструментом.

**Ручное управление движением инструмента.** Управляя движением инструмента вручную, можно использовать при демонстрации следующие опции:

“+” - перемещает инструмент вперед по траектории до следующего узла.

“-” - перемещает инструмент назад по траектории до следующего узла.

F<sub>n</sub> - перемещает инструмент на n вершин вперед по траектории (n=1-9). Например, F4 перемещает инструмент вперед на четыре узла.

B<sub>n</sub> - перемещает инструмент на n вершин назад по траектории (n=1-9). Например, B9 перемещает инструмент назад на девять узлов.

S<sub>n</sub> - сохраняет изображение по траектории под номером n, содержащем до трех цифр. После n нужно нажать клавишу пробела. Например, S12 сохраняет изображение на экране под номером 12.

R<sub>n</sub> - восстанавливает изображение n траектории инструмента, номер которой может содержать до трех цифр. После n нужно нажать клавишу пробела. Например, R345 восстанавливает изображение на экране под номером 345.

P - уменьшает масштаб изображения в соответствии с указанным пользователем окном (P d1 d2).

A - переключает с ручного в автоматический режим. Режимом *по умолчанию* является ручное управление.

**ZW (Zoom Window)** - увеличивает масштаб изображения указанного вами окна (**ZW d1 d2**).

**ZU (Zoom Up)** - увеличивает размеры изображения траектории (**ZU**).

**ZD (Zoom Down)** - уменьшает размеры изображения траектории (**ZD**).

**ZA (Zoom All)** - изменяет масштаб изображения траектории так, чтобы она вся умещалась на экране (**ZA**).

**ZE (Zoom Extents)** - умещает на экране все объекты, хранящиеся в базе данных чертежа.

Q - прекращает показ движения инструмента. Система при этом просит указать новую траекторию. Если вы хотите полностью прекратить показ движения инструмента, нажмите клавишу **Enter**.

#### ***Автоматический режим движения инструментов по траектории.***

Когда в режиме ручного управления инструментом выбирается опция A, переключается автоматический режим, а наверху экрана появляется новое меню управления. Тогда используются следующие опции:

“<” - инструмент начинает двигаться назад по траектории.

“>” - инструмент начинает двигаться вперед по траектории.

“+” - последовательные нажатия на клавишу '+' увеличивают скорость движения инструмента по траектории. Когда инструмент доходит до конца траектории, он останавливается и подрагивает, ожидая следующей операции.

“-” - последовательные нажатия на клавишу '-' уменьшают скорость движения инструмента по траектории. Когда инструмент доходит до конца траектории, он останавливается и подрагивает, ожидая следующей операции.

M - переключает на ручное управление инструментом. Ручное управление является режимом *по умолчанию*.

Q - прекращает показ движения инструмента. Система при этом просит указать новую траекторию. Если вы хотите полностью прекратить показ движения инструмента, введите Q и нажмите клавишу **Enter**.

### **1.6. Команда изменения последовательности обработки заготовок (GENERATE SEQUENCE). Создание программоносителя для станков с ЧПУ**

Команда **GENERATE SEQUENCE** позволяет изменить любые существующие траектории инструмента, для чего необходимо указать имя файлу, который используется постпроцессором для создания выходной магнитной ленты и создания выходных файлов. Создается рабочий файл из траектории инструмента, находящейся в базе ДАННЫХ, и показывается список параметров, из которых можно осуществлять изменения. Изменения можно реализовать выбором различных параметров, которые возникают наверху экрана. В этом случае



следует переупорядочить согласование траекторий инструмента или удалить их из рабочего файла. Команда выглядит так:

**GENERate SEQUENCE** <modifiers>. ent d1 d2 d3... Enter

Команда **GENERATE SEQUENCE** имеет два ключа: **JOBNAME** и **POSTNAME**.

**JOBname** x (**Job Name**) указывает имя рабочему файлу, который нужно создать (ничего не существует и ничего нельзя прочитать из PMPASS.PMP) Используется для внесения изменения в порядок выполнения операций. Все изменения нужно закончить до того, как передавать файлы постпроцессору.

Можно также внести различные изменения в соответствии с опциями, список которых появляется наверху экрана: **BACKWARD, FORWARD, DELETE, MOVE, SWITCH, WORDS, OUTPUT, QUIT**. Эти опции описаны ниже.

**BACKWARD** разбивает на страницы список траекторий инструмента назад, если список не устанавливается на одном экране.

**FORWARD** разбивает на страницы список траекторий инструмента вперед, если список не устанавливается на одном экране.

**DELETE** удаляет файлы траектории инструмента. Например, если ввести D5 и нажать клавишу **ENTER** для удаления пятого файла, то файлы удаляются из рабочего файла, а не из базы данных.

**MOVE** перемещает один файл траектории инструмента на новую позицию в согласовании файлов. Если ввести M 2,4 и нажать клавишу **ENTER**, то можно поставить вторую траекторию инструмента после четвертой в согласовании файлов.

**OUTPUT** создает выходной файл .nc2 из рабочего файла.

**QUIT** прекращает идущие изменения в файлах траектории инструмента. Если выбирается **QUIT** и не заносятся в файл изменения, то предыдущие файлы траектории инструмента остаются неизменными.

**SWITCH** осуществляет переключения позиций двух файлов траектории инструмента в согласовании файлов. При введении S 2,4 и нажатии клавиши **ENTER** переключаются позиции второй и четвертой траекторий инструмента в согласовании файлов.

**WORDS** вводится слово до или после имени файла траектории. Слову должен предшествовать знак наклонной черты назад (\). Можно вводить также слова:

**\TRANSX** п - система добавляет значение числа п ко всем значениям X в файле траектории.

**\TRANSY** п - система добавляет значение числа п ко всем значениям Y в файле траектории.

**\TRANSZ** п - система добавляет значение числа п ко всем значениям Z в файле траектории.

**\FROM** - используют в основном для токарной обработки. Вводится **\FROM** перед именем файла траектории инструмента при токарной и система выведет точку замены инструмента на ленту с G92. Пользоваться этим ключом можно только для 2 1/2-координатных траекторий.

**\CLRHGT n (Clearance Height-высота зазора)** - используют в основном для фрезерования. Исключает из выходного файла замену инструмента, если на следующей по порядку траектории используется инструмент с одной и той же позиции в магазине инструментов станка (**MAGPOS**, не путать с номером инструмента в библиотеке инструментов). Инструмент поднимается с конца одной траектории на заданную высоту зазора, быстро возвращается и опускается в заданную точку плоскости XY - на начало следующей траектории. Этот способ позволяет слить траектории и предотвратить столкновение инструмента с препятствием.

**\TOOLCHGZ n** - задает координату Z замены инструмента, если это требуется для конкретного станка. Обычно этот ключ ставят перед первой траекторией.

**\INDCLR nnn (Index Clearance Position-зазор при повороте стола)** - задает позицию XYZ, в которую должен отводиться инструмент, когда он переходит с одной стороны детали на другую, а стол совершает поворот на заданный угол. Используется в основном для 2 1/2-координатных траекторий.

**\SETUPV<sub>n</sub>** (**Set Up View** - установить верхний вид) (*по умолчанию - 1*) - задает номер вида, соответствующего стороне детали, на которой начинается траектория, если обрабатываются несколько строн детали.

**\INCLUDE** имя файла **var1 var2 var3 var4 var5 var6 var7 var8 var9**. Задает имя ASCII файла в вашей рабочей директории. Имя файла может иметь до 8 знаков, а расширение имени должно подчиняться требованиям DOS. Вы можете задать до 9 параметров. Параметры нужно отделять пробелами. Эти параметры могут быть выражениями на внутреннем машинном языке станка или числами. Система не расшифровывает их и не выполняет с ними никаких операций. Эти параметры заменяют величины, ограниченные в ASCII файле знаками "#". Например, если в ASCII файле в позиции 3 стоит #3#, а вы задаете **\INCLUDE** имя файла 1.2.75.5, то вместо #3# в ASCII файле используется величина .5.

**POStname x (Postprocessor File Name)**. Используется для того, чтобы дать имя промежуточному файлу, по которому постпроцессор создает выходной файл ленты ЧПУ. Используется этот ключ, когда заканчиваются все изменения с помощью ключа **JOBNAME**.

**Использование команды.** При вводе **GEN SEQ** система выведет список траекторий инструмента в том порядке, в котором они были созданы. Используйте оба ключа **JOBNAME** и **POSTNAME**. Внутри ключа **JOBNAME** следует выбрать выходной параметр для создания выходного файла из рабочего файла

для постпроцессора. Если многократно используется ключ *JOBNAME*, то новый рабочий файл запишется сверху уже существующего. Например:

```
GEN SEQ JOB xxxx O POST yuyu : ALLENT ENTER
```

Здесь создается рабочий файл *xxxx* с траекториями инструмента в порядке, в котором они были созданы в базе данных. Это называется *post.yuyu.nc9*.

Можно перевести в цифровую форму траекторию инструмента для создания порядка в рабочем файле, отличном от порядка, в котором они были созданы.

```
GEN SEQ JOB xxxx O POST yuyu : ent d1 d2 d3 ENTER
```

**Обработка файлов и создание программоносителя для станков с ЧПУ.** Чтобы передать файлы постпроцессору ЧПУ, необходимо выйти из Personal Machinist по команде **EXIT ENTER**.

С уровня операционной системы вводится **STARTNC** и нажимается клавиша **ENTER**. Остальное делается автоматически. Программа **STARTNC** создает выходной файл ленты ЧПУ **.NC2** по файлу для постпроцессора, заданному с помощью ключа *POSTNAME*. Можно также создать файл ленты ЧПУ **.NC2** по существующему файлу для постпроцессора. С уровня операционной системы в этом случае вводится команда:

```
PPOST aaa @xyz ENTER
```

Здесь *aaa* - это имя файла **.JOB**, *xyz* - это имя файла для постпроцессора.

Перед именем файла для постпроцессора должен стоять знак '@'

### 1.7. Команда редактирования библиотеки инструментов (EDIT TLIBRARY)

Команда **EDIT TLIBRARY** позволяет редактировать собственные библиотеки инструментов пользователя и задавать параметры, описывающие в библиотеке конкретный инструмент. Эти параметры задаются с помощью команды:

```
EDIT TLIBrary <modifiers> ENTER
```

**Библиотеки инструментов.** Можно создать сколько угодно библиотек инструментов, копируя библиотеку инструментов *по умолчанию* (**default.TLB**) в файлы с другим именем (например, **TOOL.LIB**), для чего используют с уровня операционной системы команды копирования текстовых файлов. У каждой библиотеки имеется уникальное алфавитно-цифровое имя из восьми знаков и расширение **.TLB**. В каждой библиотеке может быть до 99 инструментов. Как только новая библиотека создана, ее можно отредактировать командой **EDIT TLIB** или практически любым стандартным текстовым редактором. В соответ-

ствии с форматом **DEFAULT.TLB** строки, начинающиеся со звездочки (\*), являются комментариями. Строки, содержащие Данные об инструменте, должны начинаться с пробела. Звездочка здесь не разрешается.

**Ключи.** Ключи задают различные характеристики инструмента или параметры обработки. Выбираются они путём ввода с клавиатуры или выбора пиктограммы меню мышью. Если они вводятся с клавиатуры, то можно использовать минимальное сокращение, обозначенное большими буквами.

**Ключи определения инструмента.** Эти ключи выбирают тип инструмента и задают его диаметр.

**BALLMILL** (по умолчанию). Выбирает круглую концевую фрезу как тип инструмента.

**FLATMill** выбирает цилиндрическую концевую фрезу как тип инструмента. Концевая фреза режет обеими сторонами и нижней частью инструмента.

**FLATCrmill** выбирает концевую фрезу с 0 скругленными углами как тип инструмента.

**TOOLDiam n (Tool Diameter)** (по умолчанию - 50). Задаёт диаметр выбранного вами инструмента. Используются действительные числа от 0.0 до 32767.0.

**CORNerrad n (Corner Radius)** (по умолчанию - 0.25). Определяет величину радиуса скругления углов плоской концевой фрезы со скругленными углами. **CORNERRAD** применяют только с ключом **FLATMILL**. Используются действительные числа от 0.0 до 32767.0.

**Ключи машинной обработки.** Задают параметры инструмента машинной обработки на станках с ЧПУ.

**SPEed n (об/мин)** (по умолчанию - 1000). Задаёт частоту вращения режущего инструмента в оборотах в минуту (n-число от 0 до 32767). Отрицательное значение (например -1000) обозначает вращение против часовой стрелки вместо обычно принятого направления по часовой стрелке. Этот ключ не требуется, если инструмент выбирается из библиотеки инструментов.

**FEED n** (подача) (по умолчанию - 10.00). Задаёт подачу инструмента (п может изменяться от 0.0 до 32767.0). Этот ключ не требуется, если выбирается инструмент из библиотеки инструментов. Следует проверить, что постпроцессор принимает формат, в котором указывается величина данного параметра.

**LIBName x (Tool library Name).** Задаёт существующую библиотеку инструментов для сохранения данных инструмента. Используется имя, состоящее из восьми букв. Система обеспечивает расширение **.TLB**.

**TOOLNumber n (Tool Number)** (по умолчанию - 1). Присваивает уникальный номер каждому инструменту в библиотеке инструментов. Используются целые числа от 1 до 99.

**MAGpos N** (**Magazin Position Number**) (по умолчанию - 1). Определяет уникальную позицию в магазине инструментов станка с ЧПУ, которая записывается в выходной файл ленты ЧПУ.

## 2. ПОРЯДОК РАБОТЫ С МНОГОПРОГРАММНОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ

### 2.1. Общие положения

В начале каждого подраздела описываются отдельные функции "Personal Machinist" и представляются примеры для демонстрации их действия. Затем задаётся последовательность шагов, необходимых для создания траектории движения инструмента (на примерах фрезерования, сверления), использующая команду **INSERT TOOLPATH**. При этом можно добавлять ключи, либо выбирать пункты меню, вводя их с клавиатуры. Иллюстрации в конце подразделов, показывающие траектории движения инструментов, добавляемые к чертежу, не являются детально точными. Некоторые чертежи траекторий изменены для большей ясности.

**Определение траекторий движения инструмента.** Процесс создания траектории инструмента с помощью команды **INSERT TOOLPATH** ориентирован на использовании опций меню. Можно проходить через меню, выбирая соответствующие пункты и вводя всю информацию, необходимую для задания траектории инструмента, включая численные значения. Ключ **TPNAME** является исключением. Для него алфавитно-цифровые данные вводятся с клавиатуры.

**Изменение данных и исправление ошибок.** Исправить ошибки или изменить уже введенные данные очень легко. Для этого необходимо использовать клавишу **Backup** на клавиатуре для удаления ключей или численных значений. Например, если ввели **STEPOVER .01** и следует изменить на **STEPOVER .05**, нужно удалить 1 с помощью **Backup** клавиши и ввести 5.

Если уже введены данные и нужно изменить их, то следует выбрать в меню правильный ключ. Система принимает последний введенный ключ. Например, если выбрали **CROSSCUTON** и хочется что-то изменить, используйте **CROSSCUTOFF**.

**Просмотр траектории и подготовка к ЧПУ-обработке.** После окончания определения траектории инструмента, можно выбрать команду **DISPLAY TOOLPATH**, чтобы увидеть движение инструмента по траектории. Можно также воспользоваться командой **EDIT TOOLPATH** для внесения

окончательных изменений или использовать **EDIT TLIB**, чтобы скорректировать параметры инструмента перед обработкой на станках ЧПУ. Наконец, при использовании команды **GENERATE SEQUENCE** переопределяется порядок следования файлов траекторий перед их обработкой постпроцессором ЧПУ.

## 2.2. Формирование предварительной обработки заготовок в постоянном режиме

**Открытие файла.** Пользователи должны набрать **pm pm3doc1** и нажать **Enter**, чтобы открыть файл. После того как деталь появилась на экране, введите **ZOOMALL**, если чертеж не заполнил весь экран. Деталь появляется на экране вместе с меню. Выберите опцию меню **CAM** и **3-Axis Surface Machining**. Затем стройте траекторию инструмента, добавляя ключи к команде **INSERT TOOLPATH**.

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFF UNIONEMAXZDEPTH 1** появится сообщение в командной строке *ToolpathName - pm3doc01.nc2*. Имя траектории (**Toolpath Name**) - максимум 6 символов, алфавитно-цифровая строка плюс следующее по порядку число, уникальное для данной траектории инструмента. Это дает возможность для дальнейшего упорядочивания с помощью команды **GENERATE SEQUENCE**. Если не введено своё имя для **Toolpath Name**, система по умолчанию берет первые 6 символов от файла чертежа плюс следующее по порядку число. Можно также изменить **Toolpath Name** в любое время с помощью ключа **TPNAME**.

**BORDEROFF** определяет, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория движения инструмента использует саму поверхность как границу.

Здесь значением по умолчанию принято **CONSRGH**, поэтому нет необходимости набирать этот ключ в командной строке. При каждом проходе инструмент движется горизонтально до тех пор, пока не встретит поверхность. Затем он будет следовать по контуру поверхности. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится по оси **Z** на безопасное расстояние и переводится в плоскости **XY** в новую позицию для следующего прохода. Глубина резания не превышает величину, определенную с помощью **MAXZDEPTH**.

**UNIONE** (однонаправленное, обычное) фрезерование определяет, что инструмент обрабатывает заготовку только в одном направлении.

**MAXZDEPTH 1** назначает максимальную глубину резания по **Z** - 1 дюйм при каждом проходе. Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Укажите все поверхности на любом виде рассматриваемого чертежа. Или выберите **ALLENT**, нажмите **Enter** и СИС-

тема рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами. Команда выглядит следующим образом:

```
INS TOOL BORDEROFF UNIO MAXZ 1 : Toolpath Name =
pm3doc01.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter
```

Когда расчеты завершены, система вставляет траекторию в чертеж (рис. 1).

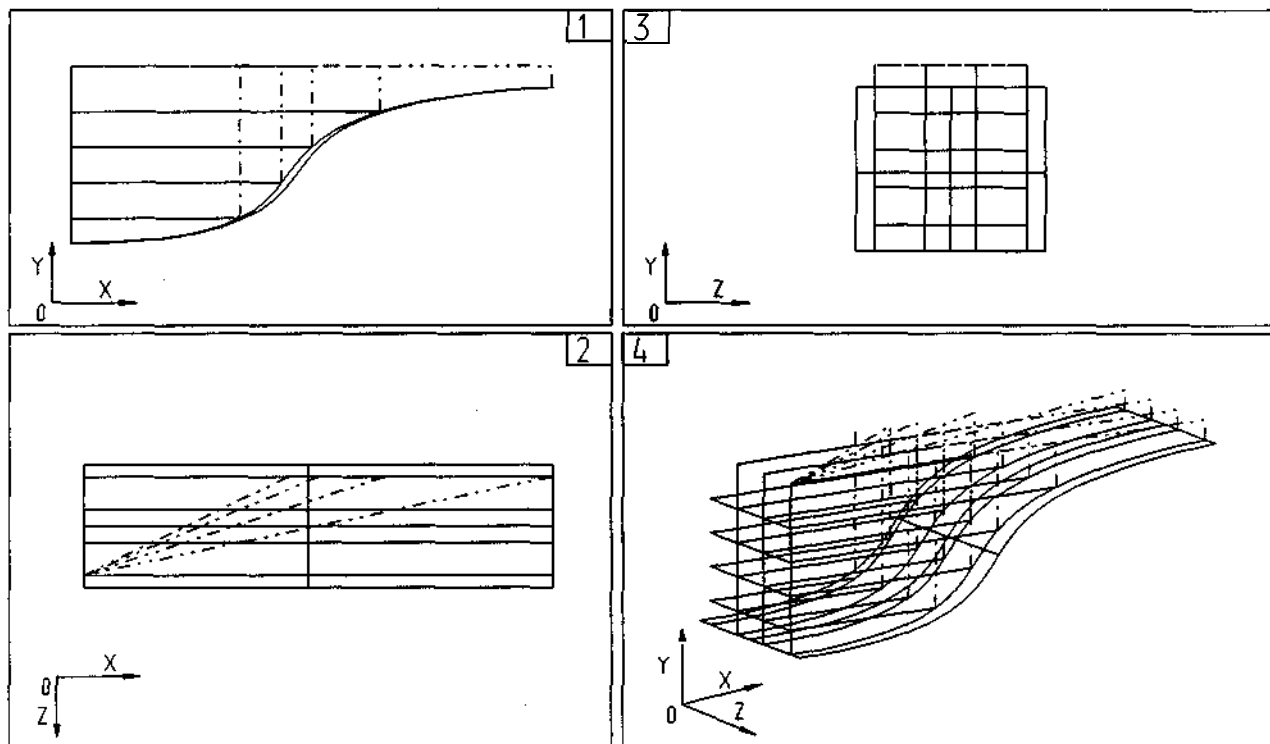


Рис. 1. \*Траектория движения инструмента при предварительной обработке заготовок в постоянном режиме

**Закрытие файла чертежа.** Введите **EXIT** и нажмите **Enter**, чтобы закрыть файл. Нажмите **Enter** в ответ на сообщение *filing name* ( $\langle return \rangle = pm3doc1$ ). Если не хотите сохранить этот чертеж, ответьте **N** (**нет**) на запрос *Save (Y,N,^C)* (**сохранить Y - да, N - нет, ^C - отменить**). Нажмите **Enter** в ответ на сообщение *Part Name* ( $\langle return \rangle = to exit$ ):

>>**EXIT** Enter

*filing name* ( $\langle return \rangle = pm3doc1$ ) Enter

*Save(Y,N,^C)* N

*Part Name* ( $\langle return \rangle = to exit$ ) Enter

---

\* Здесь и далее 1, 2, 3 - соответственно траектория движения инструмента в плоскостях  $xOy$ ;  $zOx$ ;  $zOy$ ; 4 - аксонометрия.

### 2.3. Формирование предварительной обработки с переменным смещением

**Выбор поверхностей для обработки.** При вводе **INSERT TOOL BORDEROFF UNIONE VARIRGH MAXZDEPTH 1** появится сообщение в командной строке

*Toolpath Name = pm3doc02.nc2 .*

**BORDEROFF** показывает, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория инструмента использует саму поверхность как границу.

**VARIRGH** определяет, что в каждом горизонтальном проходе инструмент движется по рассчитанной системой поверхности, которая задается как переменное смещение от обрабатываемой поверхности. Глубина резания не является константой. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится по оси *Z* на безопасное расстояние и переводится в плоскости *XY* в новую позицию для следующего прохода. Глубина резания не превышает величину, определенную с помощью **MAXZDEPTH**.

**UNIONE** (однонаправленное, обычное) фрезерование определяет, что инструмент режет только в одном направлении.

**MAXZDEPTH 1** определяет максимальную глубину резания по *Z* - 1 дюйм при каждом проходе.

После завершения команды появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Укажите все поверхности на любом виде вашего чертежа. Или выберите **ALLENT**. Нажмите **Enter**, и система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами.

**INS TOOL BORDEROFF UNIO VARI MAXZ 1 : Toolpath Name = pm3doc02.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

Когда расчеты завершены, система вставляет траекторию в чертеж (рис. 2).

### 2.4. Формирование предварительной обработки с постоянным смещением

**Выбор поверхностей для обработки.** При вводе **INSERT TOOL BORDEROFF UNIONE OFFSRGH MAXZDEPTH 1 :** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc03.nc2.*

**OFFSRGH** определяет, что на каждом горизонтальном проходе инструмент движется по рассчитанной системой поверхности, которая задается как постоянное смещение от обрабатываемой поверхности, за исключением случаев пересечения инструментом координаты *Z* заготовки. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится по оси *Z* на безопасное расстояние и



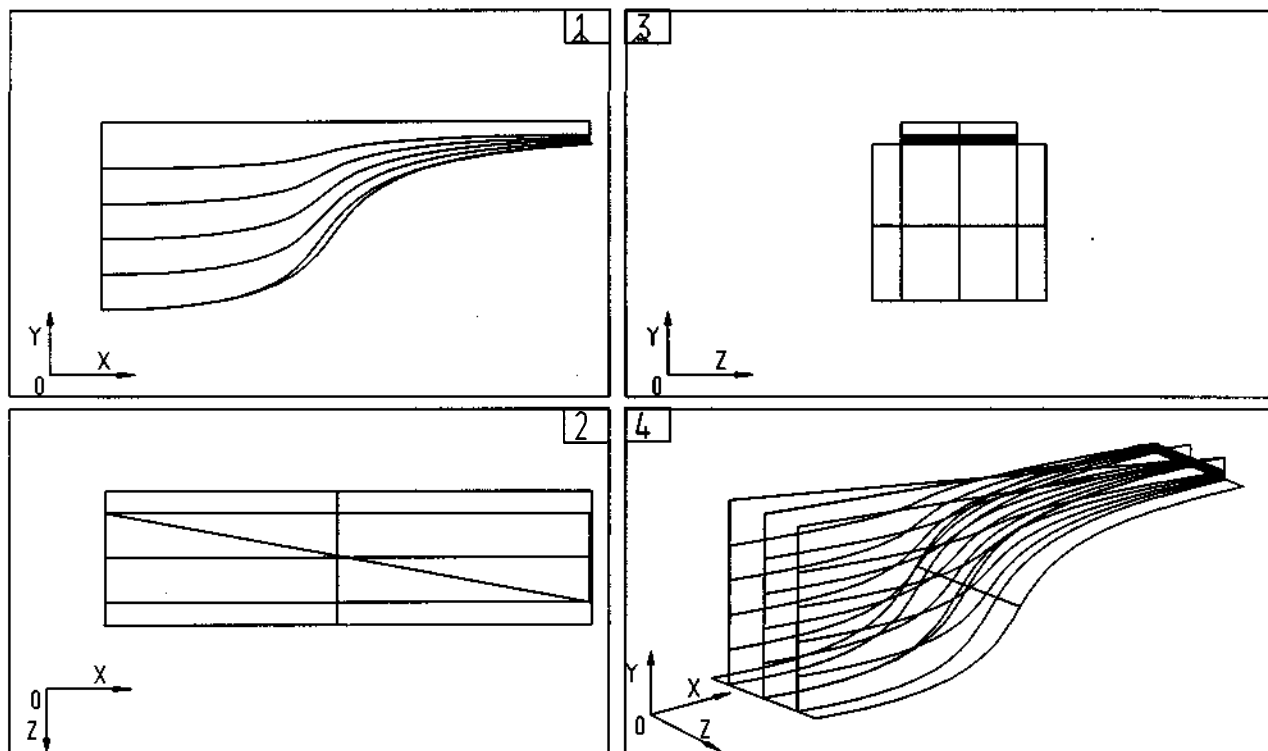


Рис. 2. Траектория движения инструмента при предварительной обработке с переменным смещением

переводится в плоскости XY в новую позицию для следующего прохода. Глубина резания не превышает величину, определенную с помощью *MAXZDEPTH*. Синтаксис команды с ключами и параметрами:

```
INS TOOL BORDEROFF UNIONE OFFS MAXZ 1 : Toolpath Name =
pm3doc03.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter
```

После завершения расчётов система вставляет траекторию в чертёж (рис. 3).

## 2.5. Формирование предварительной обработки по направлению оси Z

**Выбор поверхностей для обработки** При вводе *INSERT TOOL BORDEROFF UNIONE ZROURGH MAXZDEPTH 1* : появится сообщение в командной строке:

```
Toolpath Name = pm3doc04.nc2.
```

**ZROURGH** отличается от других методов обработки тем, что инструмент не следует по поверхности, определяемой моделью. Для твердых тел материал срезается до автоматически определяемой границы заготовки, но инструмент не движется по поверхности. Если в модели есть отверстия или углубления,

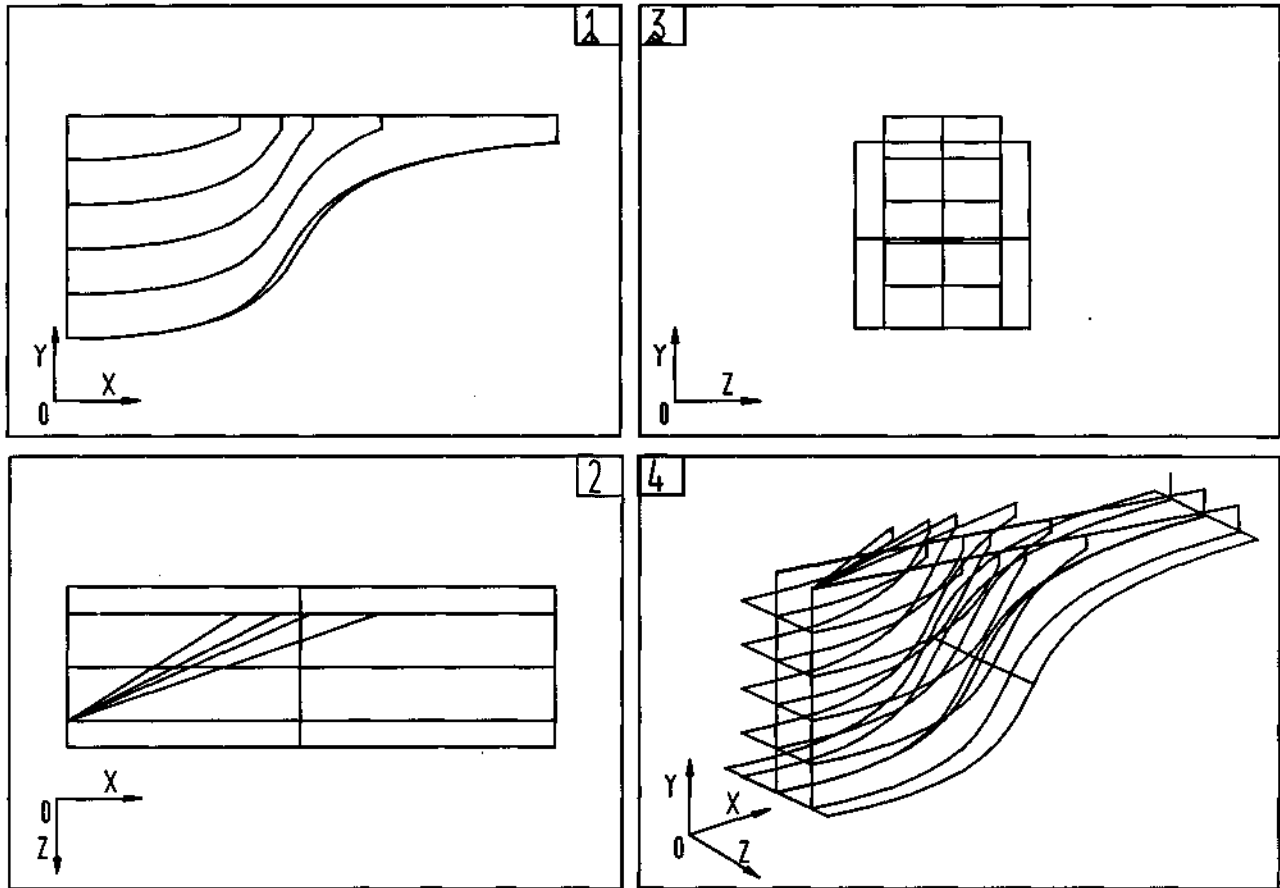


Рис. 3. Траектория движения инструмента при предварительной обработке с постоянным смещением

инструмент поднимается над поверхностью модели, а затем обрабатывает каждое углубление последовательно на каждом уровне Z. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится по оси Z на безопасное расстояние и переводится в плоскости XY в новую позицию для следующего прохода. Глубина резания не превышает величину, определенную с помощью *MAXZDEPTH*. Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). В этом случае необходимо указать все поверхности на любом виде чертежа или выбрать *ALLEN*T. Нажмите **Enter**, и система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами:

INS TOOL ZROU MAXZ 1 : Toolpath Name = pm3doc04.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter

### 2.6 .Формирование окончательной обработки с использованием функции повторной обработки и автоматическим отводом инструмента по оси Z

В этом подразделе рассматриваются следующие функции: *выбор метода окончательной обработки; использование проходов с переменным шагом; использование автоматического отхода по Z; выбор диаметра инстру-*

мента для траектории окончательной обработки; выбор поверхностей для обработки.

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL RECUTON PREVDIAM 1 SCALLOP .005 VARPASON VARMIN .002 AUTOZON BALLMILLTOOLD .25** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc05.nc2*

**RECUTON** определяет, где материал остается на поверхности, когда диаметр предшествующего инструмента был слишком большим по сравнению с кривизной поверхности. Функция повторного резания строит новую траекторию инструмента, согласно которой инструмент удаляет остающийся материал, не обрабатывая при этом всю поверхность. Функция повторного резания требует, чтобы тип инструмента, высота неровностей и допуск (дуга/хорда) были теми же, что и для предыдущей поверхности. В качестве предыдущего инструмента использовалась *кругло-концевая фреза* диаметром 1, *высотой неровностей .005* и *допуском дуга/хорда .010*.

**PREVDIAM 1** назначает диаметр предыдущего инструмента, равный 1.

**SCALLOP .005** назначает высоту неровностей, равную .005.

**VARPASON** позволяет динамически пересчитывать значение **STEPOVER** согласно кривизне кривой, как требует **RECUTON**.

**VARMIN .002** определяет минимальное значение **STEPOVER**, которое используется **VARPASON** даже в случае применения **SCALLOP**.

**AUTOZON** автоматически отводит инструмент на вычисленный системой уровень безопасности по оси Z, если шаг между двумя плоскостями резания превышает средний шаг траектории. Следующие 3 ключа также назначают уровень безопасности по оси Z.

**RETABS** определяет абсолютное положение плоскости безопасности.

**RETINC** определяет приращение от максимальной из двух точек траектории.

**RETAUTO** автоматически устанавливает уровень отвода по оси Z на 2 диаметра больше, чем самая большая положительная величина координаты Z поверхности в плоскости проекции CPL 1. Для более подробных инструкций смотрите команды машинной обработки.

**BALL ENDMILL TOOLD .25** назначает кругло-концевую фрезу с диаметром .25 для новой траектории.

После выполнения вышеприведенной команды появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Затем укажите все поверхности на любом виде чертежа или выберите **ALLENT**. Нажмите **Enter**, и система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами:

**INS TOOL RECUTON PREV 1 SCALL .005 VARPASON VAR .002  
AUTOZON BALLM TOOLD .25 : Toolpath Name = pm3doc05.nc2 Indicate  
Surfaces to Machine ALLE Enter**

Когда расчеты завершены, система вставляет траекторию в чертеж. Иллюстрация - изометрический вид чертежа. Данная траектория повторной обработки является непрерывной. Если, тем не менее, не срезанный материал расположен в нескольких областях, находящихся на некотором расстоянии друг от друга, траектория повторной обработки может быть оптимизирована. С помощью ключа **OPTIMIZE** система заканчивает обработку в одной области, прежде чем перейдет к другой (рис. 4)

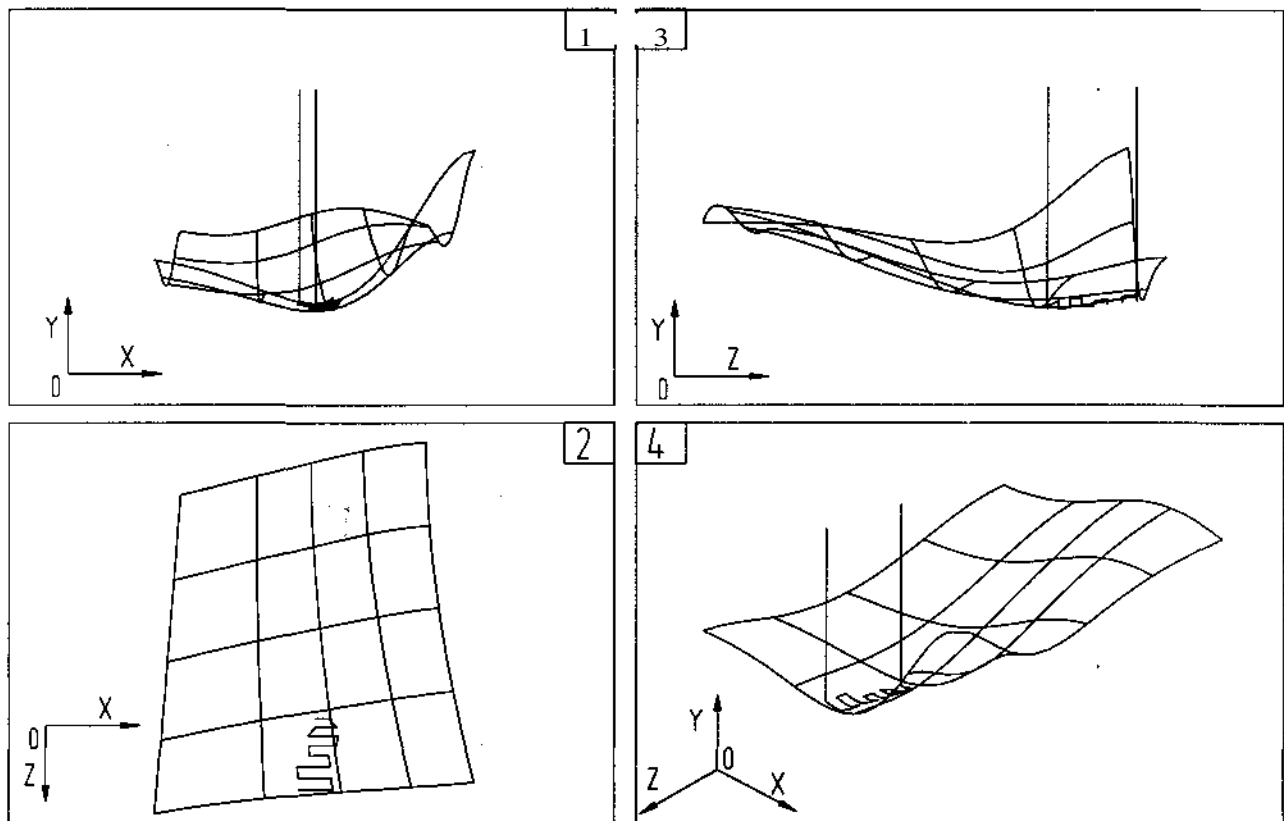


Рис.4. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с использованием функции повторной обработки и автоматическим отводом инструмента по оси Z

### 2.7.Формирование окончательной обработки с использованием функции перекрытия

В этом подразделе описаны следующие функции: *определение границ заготовки; включение функции перекрытия; выбор направления резания и начальной точки траектории; выбор поверхностей для обработки.*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFF ROLLON ANGLE**5 появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc06.nc2.*

Здесь значением по умолчанию принято **ZIGZAG**. Этот ключ не нужно указывать в командной строке. Инструмент режет в одном направлении, а затем в противоположном.

Значением по умолчанию также принято **CONSRGH**. Его не нужно указывать в командной строке. При каждом проходе инструмент движется горизонтально до тех пор, пока не встретит поверхность. Затем он будет следовать по контуру поверхности. В конце каждого прохода инструмент автоматически отводится по оси **Z** на безопасное расстояние и переводится в плоскости **XY** на новую позицию для следующего прохода. Глубина резания не превышает величину, определенную с помощью **MAXZDEPTH**. В данном случае используются и другие ключи:

**ROLLON** включает функцию перекрытия. Система распространяет траекторию за все стороны обрабатываемой поверхности (плоскость **XY**) согласно расстоянию, определяемому в соответствии с диаметром режущего инструмента.

**ANGLE 45** задает направление резания под углом в +45 градусов к оси **X**. Он также определяет начало траектории в нижнем правом углу обрабатываемой поверхности.

При работе с системой выберите **ALLENT**, нажмите **Enter**, и система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами:

**INS TOOL BORDEROFF ROLLON ANG 45 : Toolpath Name = pm3doc06.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

Когда расчеты завершены, система вставляет траекторию в чертеж (рис. 5).

## **2.8. Формирование окончательной обработки с выключенной функцией перекрытия**

В этом подразделе рассматриваются следующие функции: *определение границ заготовки; выбор метода окончательной обработки с выключенной функцией перекрытия; выбор направления резания и начальной точки траектории; выбор поверхностей для обработки.*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFF ROLLON ANGLE 45** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc07.nc2*

**ANGLE 45** задает направление резания под углом в +45 градусов к оси **X**. Он также определяет начало траектории в нижнем правом углу обрабатываемой поверхности. Синтаксис команды с ключами и параметрами выглядит так:

**INS TOOL BORDEROFF ROLLON ANG 45 : Toolpath Name = pm3doc07.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

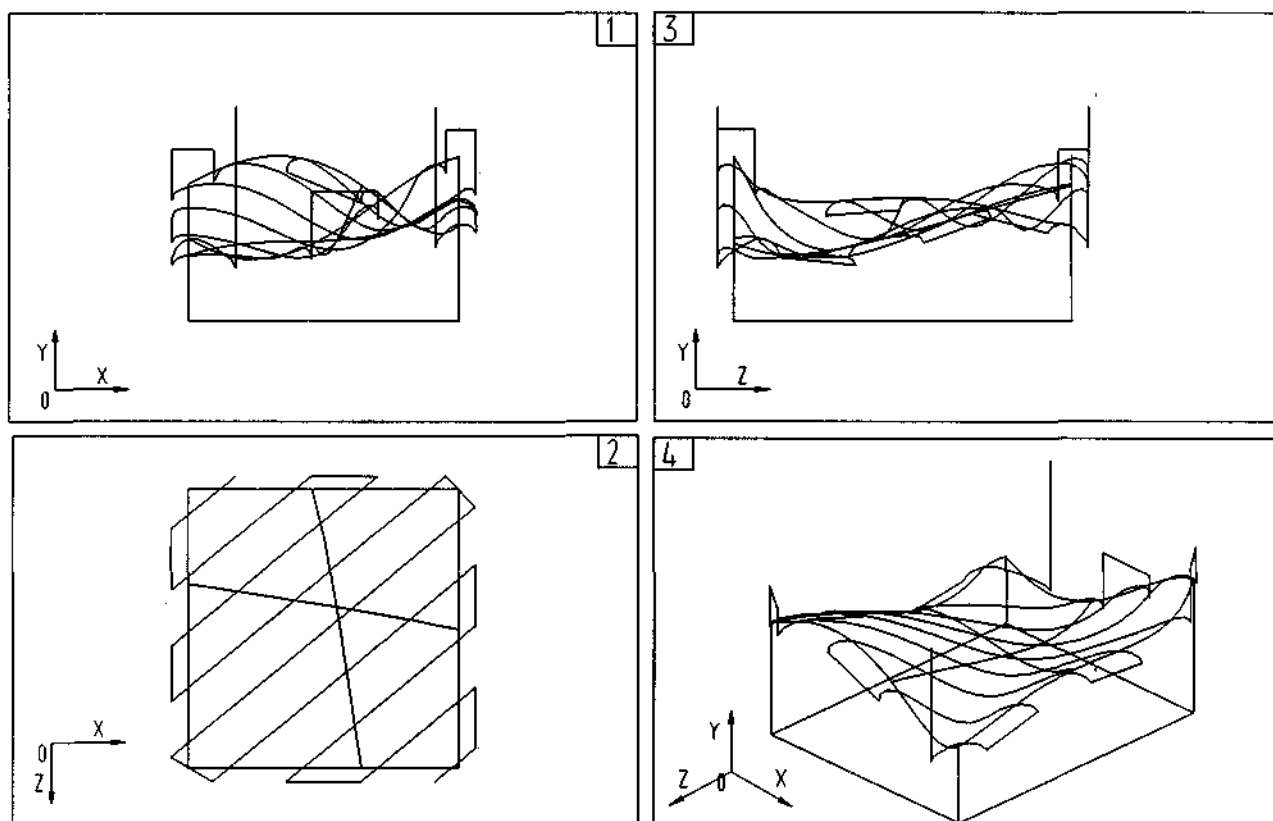


Рис. 5. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с использованием функции перекрытия

Когда расчеты завершены, система вставляет траекторию в чертеж (рис. 6).

### 2.9. Машинная обработка с автоматическим вычислением размеров заготовки

Здесь используются следующие функции: *выбор диаметра инструмента для окончательной обработки; выбор поверхностей для обработки*.

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL TOOLD .25** появится сообщение в командной строке:

*ToolpathName = pm3doc08.nc2.*

Значениями по умолчанию являются ключи **BORDERON** и **AUTOMAT**, автоматически описывающие границы заготовки как наименьший куб, включающий в себя обрабатываемую поверхность, умноженный на удвоенный диаметр инструмента по всем трем направлениям. Заготовка полностью определяется ключом **AUTOMAT**. Если заготовка больше, граница может быть определена с помощью параметров **XMIN**, **XMAX**, **YMIN**, **YMAX**, **ZMIN**, **ZMAX**.

Значением по умолчанию с учётом размеров инструмента приняты **ZIGZAG**, **CONSRGH** и **BALLMILL**. Тип инструмента - концевая фреза.

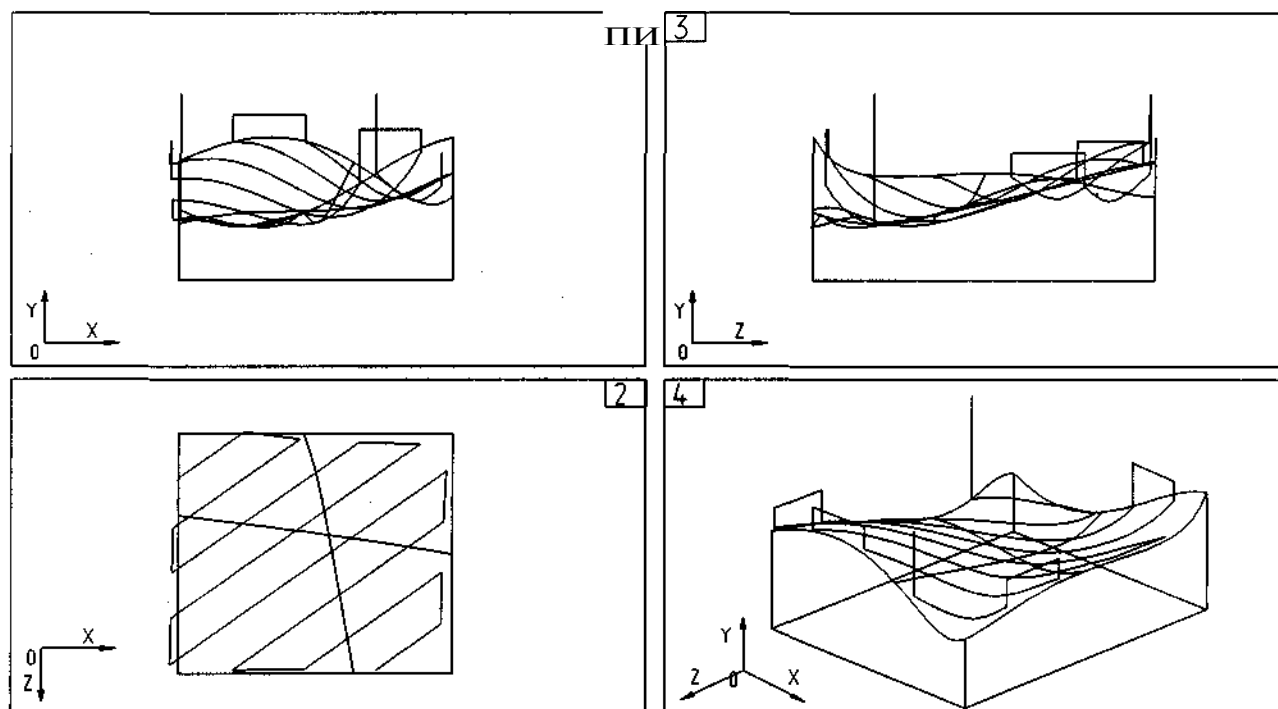


Рис. 6. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с выключенной функцией перекрытия

**TOOLDIAM .25** определяет диаметр инструмента, равный .25 дюйма. Синтаксис команды с ключами и параметрами выглядит так:

**INS TOOL TOOLD .25: Toolpath Name = pm3doc08.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

После завершения расчётов система вставляет траекторию в чертёж (рис. 7).

## 2.10. Формирование окончательной обработки с выключенной функцией поперечного резания

В этом подразделе рассматриваются следующие функции: **выбор режима резания для окончательной обработки; выбор направления резания; выбор поверхностей для обработки.**

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFFANGLE 90** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc09.nc2*

**BORDEROFF** указывает, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория инструмента использует саму поверхность как границу.

Значением по умолчанию принят ключ **ZIGZAG**, поэтому не нужно указывать его в командной строке. Инструмент режет в одном направлении, а затем в противоположном.

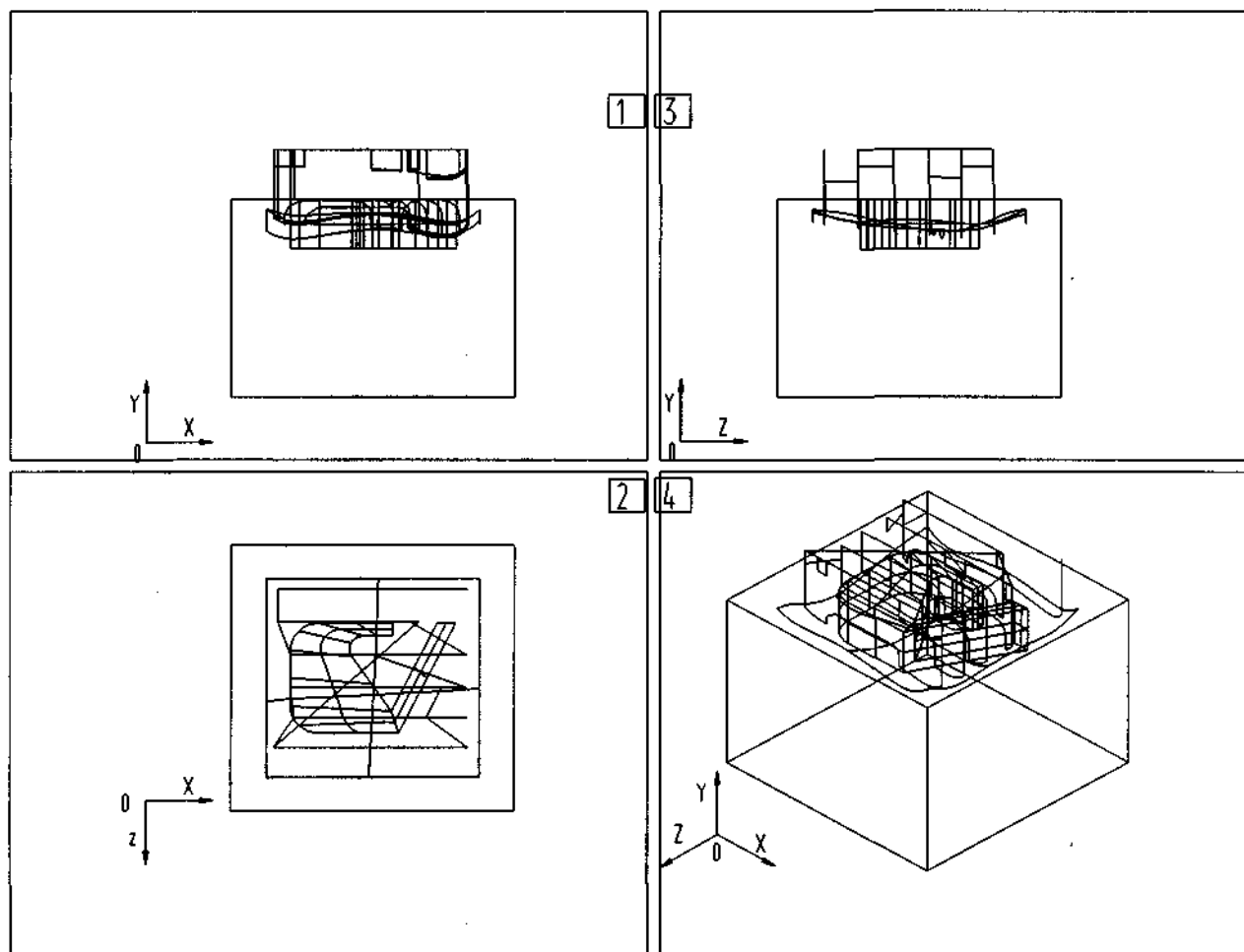


Рис. 7. Траектория движения инструмента с учётом автоматического вычисления размеров заготовки

Также значением по умолчанию принят ключ **CROSSCUTOFF**, не указываемый в командной строке. Поскольку значением по умолчанию является выключенный режим проходов с переменным шагом, все проходы идут параллельно на постоянном расстоянии друг от друга. Нет никакой уверенности в том, что весь материал будет удален вследствие различной кривизны поверхности. Для этого следует использовать функцию поперечного резания (описываемую в следующем подразделе), чтобы быть уверенным, что нет лишнего материала.

**ANGLE 90** задает направление резания под углом в +90 градусов к оси X. Он также определяет начало траектории в нижнем правом углу обрабатываемой поверхности. В итоге команда с ключами и вводимыми параметрами выглядит:

**INS TOOL BORDEROFF ANG 90**    *Toolpath Name = pm3doc09.nc2*  
*Indicate Surfaces to Machine ALLE*    **Enter**

После завершения расчётов система вставляет траекторию в чертёж (рис. 8).



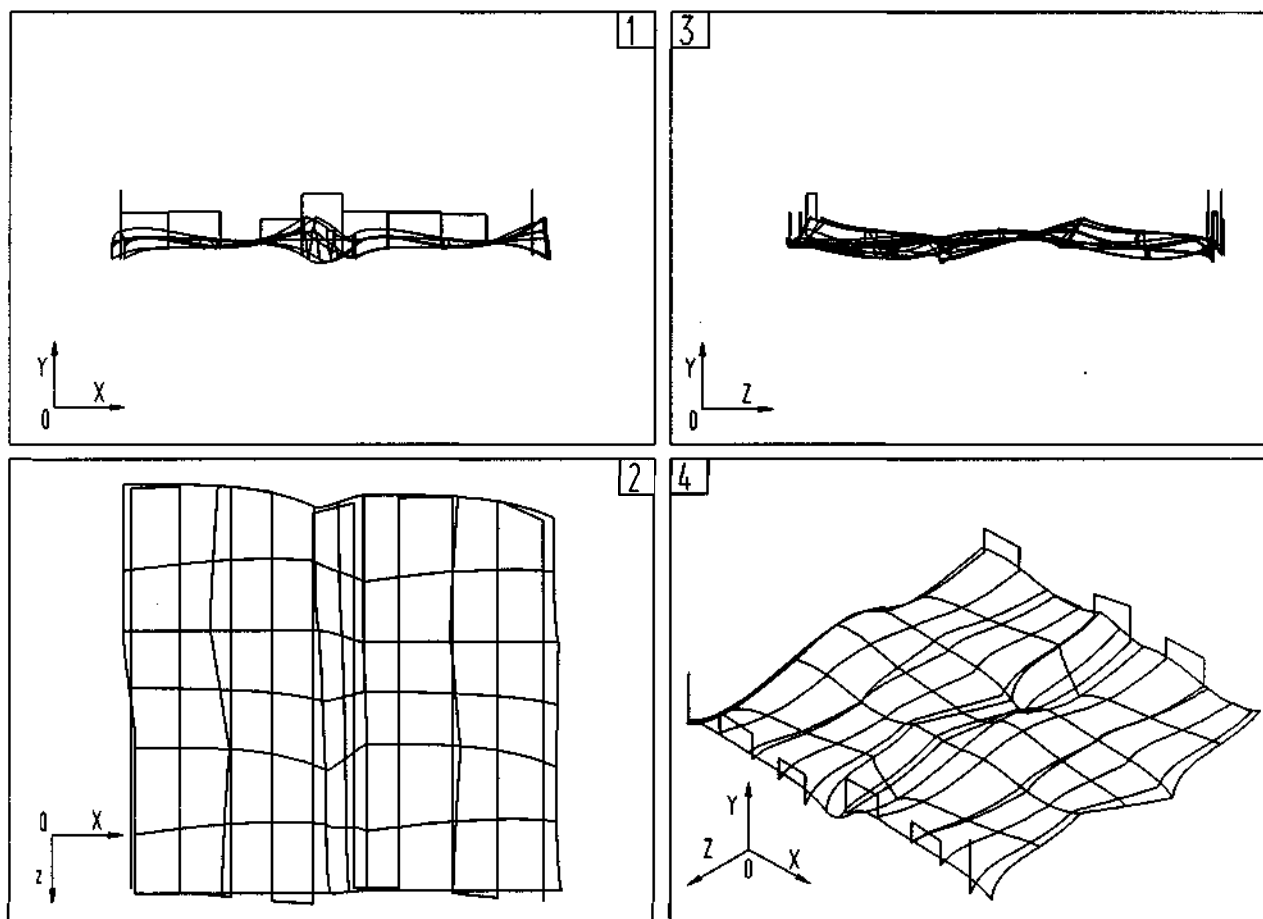


Рис. 8. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с выключенной функцией поперечного сечения

## 2.11. Формирование окончательной обработки с использованием функции поперечного резания

Рассматривается функция *выбора режима резания для окончательной обработки*.

*Выбор поверхностей для обработки.* После ввода **INSERT TOOL CROSSCUTON** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc10.nc2.*

В данном случае не нужно определять контуры заготовки.

**CROSSCUTON** включает функцию поперечного резания. Функция поперечного резания определяет оставленный на предыдущем проходе материал и строит новую траекторию, которая его удаляет без прохода через всю поверхность. Направление резания должно идти под углом в 90 градусов к предыдущей траектории. Если посмотреть на траекторию, созданную в подразделе 2.10, то можно увидеть, что направление резания на предыдущей траектории находится под углом 90 градусов. Приняв текущее значение  $ANGLE=0.0$ , можно

сделать направление резания по новой траектории под углом 90 градусов к первоначальной, поэтому не нужно вводить значение угла в командной строке. После появления сообщения *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки) необходимо указать все поверхности на любом виде чертежа или выбрать **ALLE**. При нажатии **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами.

**INS TOOL CROSSCUTON: Toolpath Name = pm3doc10.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

После расчётов система вставляет траекторию в чертёж (рис. 9).

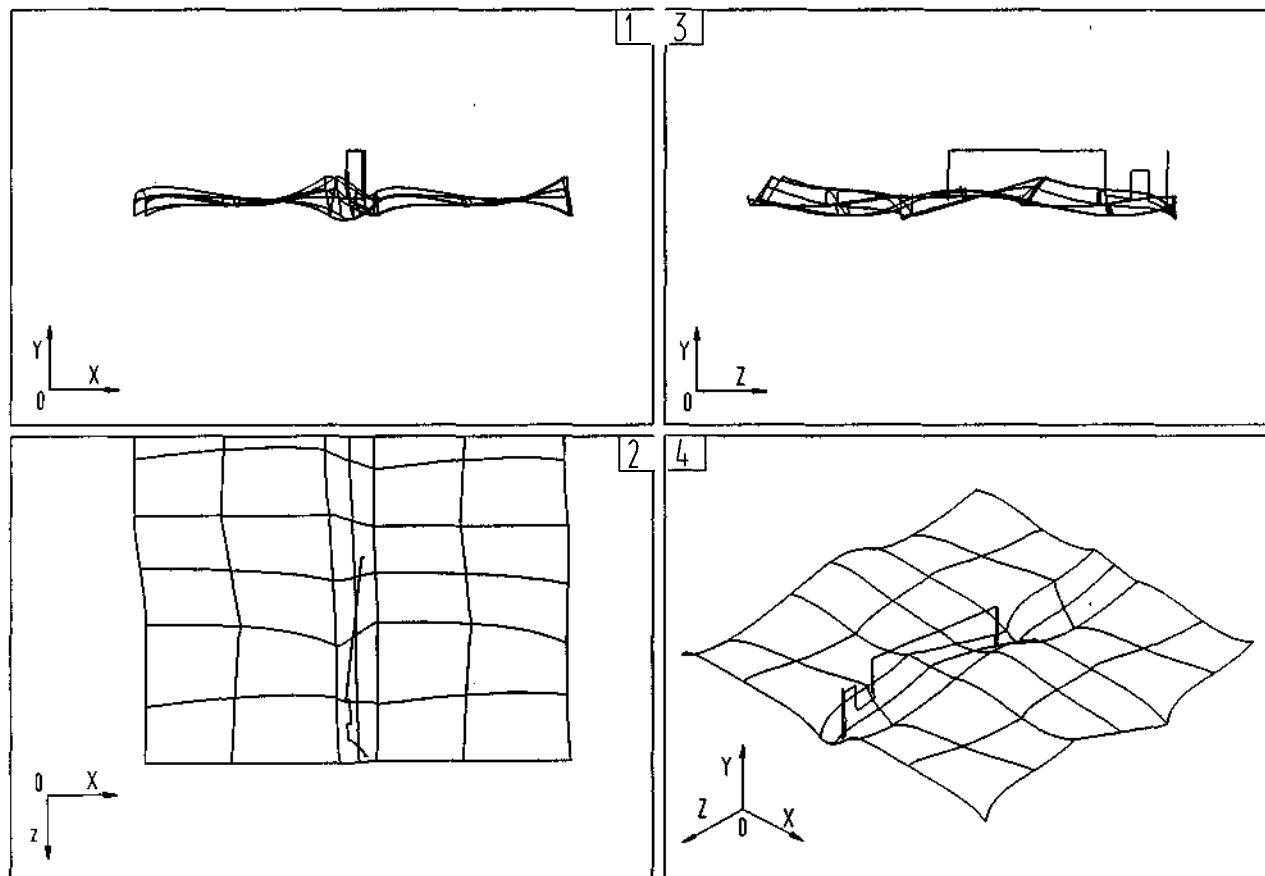


Рис. 9. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с использованием функции поперечного резания

## 2.12. Машинная обработка с исключением из механической обработки отдельных областей (*Surface Containment*) и использованием однонаправленного резания

В данном подразделе рассматриваются функции: *определение границ заготовки; выбор метода резания; выбор поверхностей для обработки.*

*Выбор поверхностей для обработки.* После ввода **INSERT TOOL BORDEROFFUNIONCONTAIN** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name – pm3doc11.nc2*

**BORDEROFF** указывает, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория инструмента использует саму поверхность как границу.

**UNIONE** (однонаправленное, обычное) фрезерование определяет, что инструмент режет только в одном направлении.

**CONTAIN** заставляет систему выдавать запросы на выбор необрабатываемых поверхностей.

После появления сообщения *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки) следует указать все поверхности для обработки за исключением желтой (цвет 12). При нажатии **Enter** система выдаст запрос: *Indicate Containment Surfaces* (укажите необрабатываемые поверхности). Введя желтую (цвет 12) поверхность (d2), после нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными ключами. Она отделит необрабатываемую поверхность от обрабатываемых.

**INS TOOL BORDEROFF UNIONE CONT:** *Toolpath Name = pm3doc11.nc2 Indicate Surfaces to Machine d1... Enter Indicate Containment Surfaces d2 Enter .*

После расчётов система вставляет траекторию в чертёж (рис. 10).

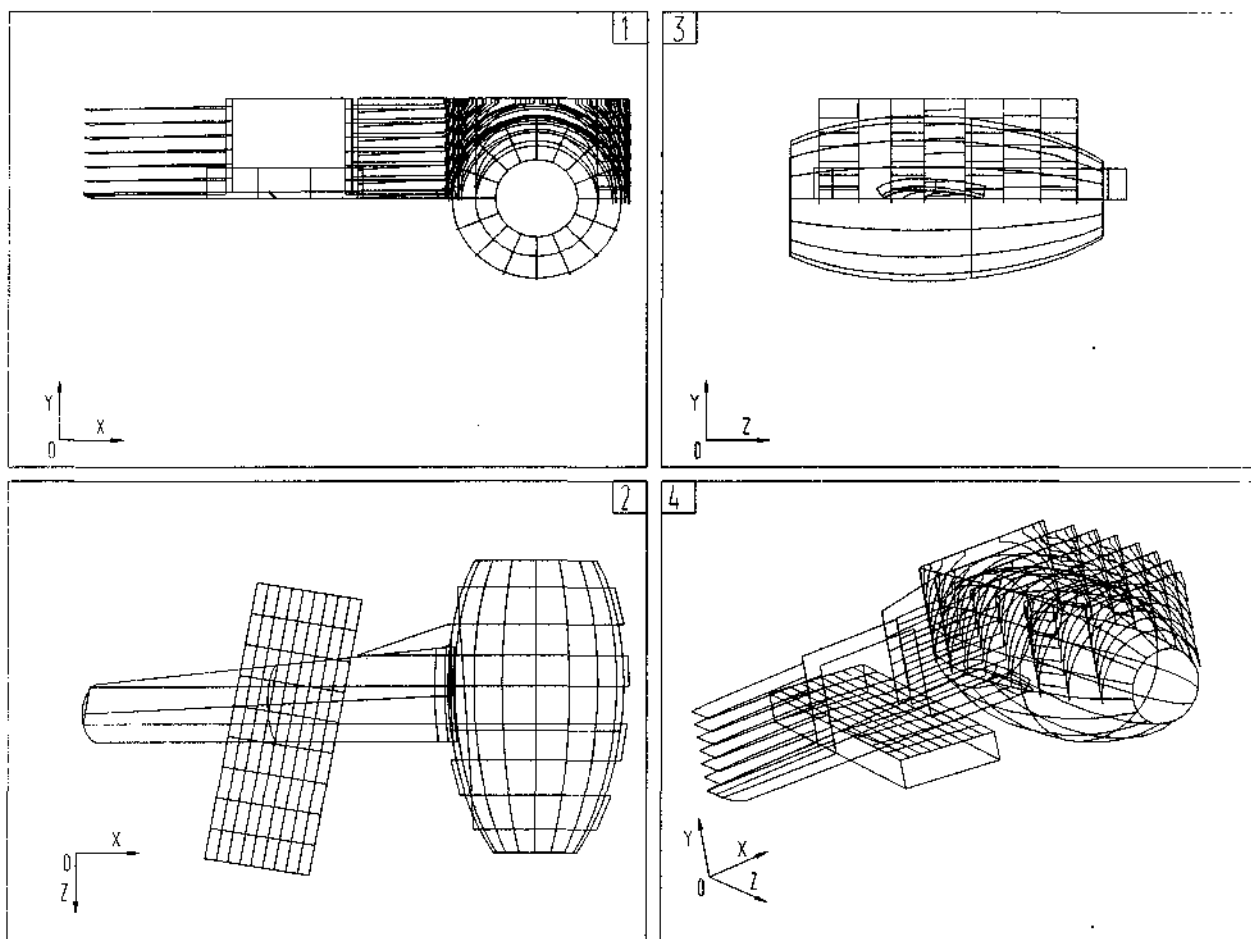


Рис. 10. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с исключением из обработки отдельных областей и использованием однонаправленного резания

### 2.13. Машинная обработка с использованием ограничивающих цепочек (String Containment)

Здесь используются следующие функции: *выбор метода резания; выбор цепочек для ограничения.*

Деталь появляется на экране вместе с меню. Деталь та же самая, что и в подразделе 2.12, за исключением того, что на верхней части зажима находится фиолетового цвета цепочка (цвет 14). Она выходит за длинные стороны тисков на 5 дюймов, т.е. диаметр инструмента выбран по умолчанию.

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFF STRCONT** появится в ответ командной строке:

*Toolpath Name — pm3doc12.nc2*

**BORDEROFF** определяет, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория инструмента использует саму поверхность как границу.

**STRCONT** заставляет систему выдавать запросы на выбор ограничивающих цепочек.

После появления сообщения *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки) необходимо ввести **COL 9 ALLENT** и нажать клавишу (;). Система выдаст сообщение *Indicate Containment String*. При введении **COL** отменяется текущий цвет. Затем, при вводе **COL 14 ALLENT** и нажатии **Enter**, система рассчитает траекторию в соответствии с введенными ключами.

**INS TOOL BORDEROFF STRC: Toolpath Name = pm3doc12.nc2 Indicate Surfaces to Machine d1... Enter Indicate Containment Surfaces d2 Enter**

По окончании расчётов система вставляет траекторию в чертёж (рис.11). Траектория инструмента зеленого цвета проходит через красную поверхность, используя метод резания **ZIGZAG** (по умолчанию). Траектория целиком лежит внутри ограничивающей цепочки фиолетового цвета. Уровень подвода-отвода инструмента определяют как уровень по оси **Z** ограничивающей цепочки минус радиус резания для кругло-концевой фрезы.

### 2.14. Формирование предварительной обработки с выключенным автоматическим отводом инструмента по оси Z

В этом подразделе рассматривается функция *определения границ заготовки и выбора поверхностей для обработки.* После реализации нижеприведённой команды с ключами и введёнными параметрами система определит границы заготовки.

**INS TOOL BORDEROFF: Toolpath Name = pm3doc13.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

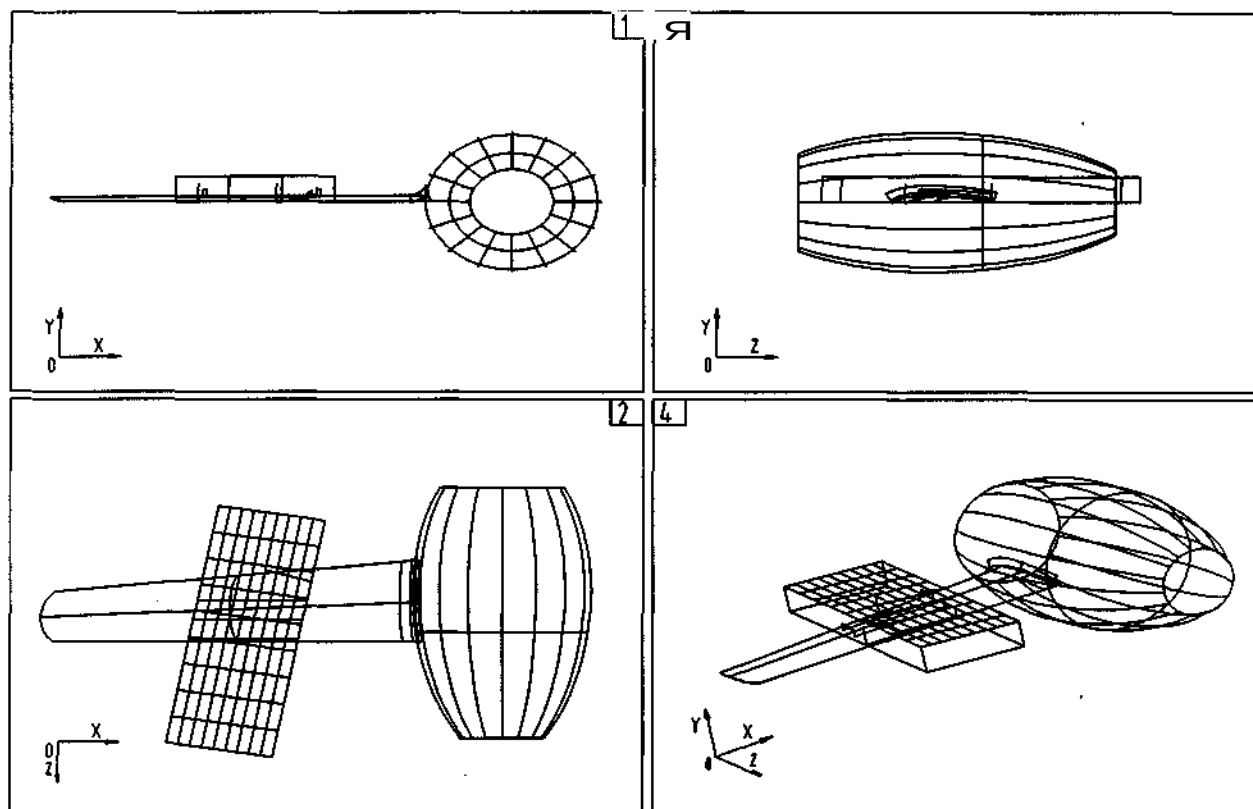


Рис. 11. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с использованием ограничивающих цепочек

### 2.15. Формирование предварительной обработки с включенным автоматическим отводом инструмента по оси Z

Рассматриваются следующие функции: *определение границ заготовки; включение автоматического отвода инструмента по оси Z*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFF AUTOZON** появится сообщение в командной строке:

*ToolpathName = pm3doc14.nc2.*

**BORDEROFF** указывает, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория инструмента использует саму поверхность как границу. Значением по умолчанию принят ключ **ZIGZAG**, который не нужно указывать в командной строке. Инструмент режет в одном направлении, а затем в противоположном.

**AUTOZON** автоматически отводит инструмент на рассчитанный системой уровень безопасности по оси Z, когда шаг между двумя плоскостями обработки резанием превышает средний шаг траектории.

Синтаксис команды с ключами и параметрами выглядит:

**INS TOOL BORDEROFF AUTOZON** *Toolpath Name = pm3doc14.nc2*  
*Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter*

В результате расчёта система вставляет траекторию в чертёж (рис. 12).

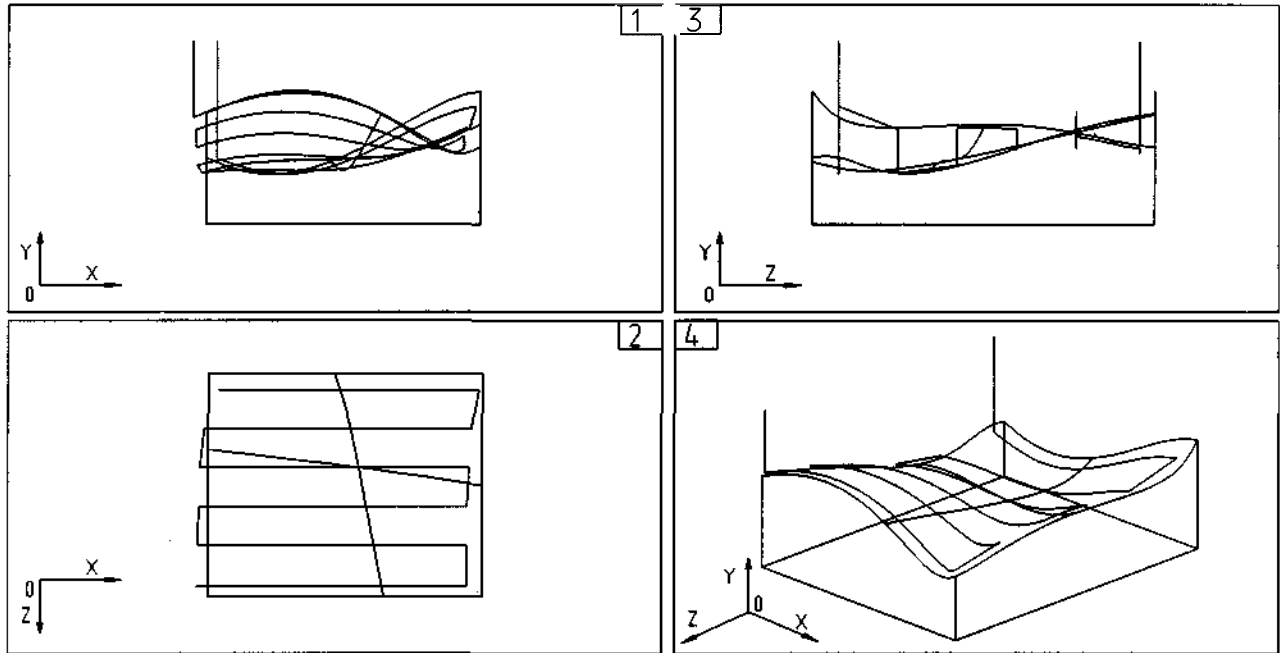


Рис. 12. Траектория движения инструмента при предварительной обработке с включённым автоматическим отводом инструмента по оси Z

## 2.16. Формирование окончательной обработки заготовок с зазорами и перекрывающимися поверхностями

В этом подразделе представлены следующие функции: *определение границ заготовки; выбор диаметра инструмента для окончательной обработки; выбор поверхностей для обработки.*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFF TOOLDIAM 1**: появится сообщение в командной строке:

*ToolpathName = pm3doc15.nc2*

**BORDEROFF** указывает на то, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория инструмента использует саму поверхность как границу - Значением по умолчанию принят ключ **BALLMILL**, который не нужно указывать в командной строке. Тип инструмента - кругло-концевая фреза.

**TOOLDIAM 1** определяет диаметр инструмента, равный 1 дюйму. Синтаксис команды с ключами и параметрами:

**INS TOOL BORDEROFF TOOLDIAM 1: Toolpath Name = pm3doc15.nc2**  
**Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

Так как диаметр инструмента, равный 1.0, не проходит через разрыв между поверхностями, инструмент прекратит обработку первой ПОВЕРХНОСТИ, как только коснется второй ПОВЕРХНОСТИ, и затем будет обрабатывать вторую поверхность, чтобы правильно обработать оставшиеся поверхности.

В результате расчёта система вставляет траекторию в чертёж (рис. 13).

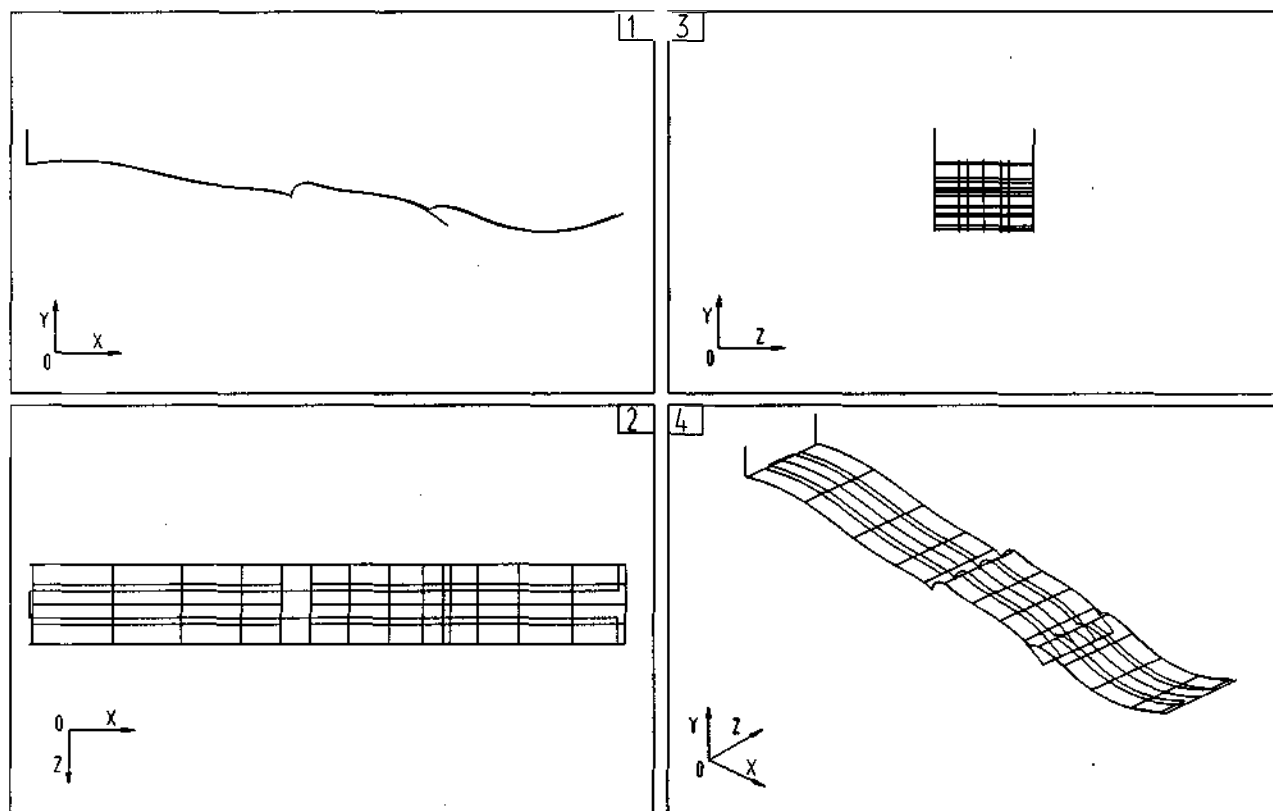


Рис. 13. Траектория движения инструмента при окончательной обработке заготовок с зазорами и перекрывающимися поверхностями

## 2. 17. Формирование окончательной обработки при возможности попадания инструмента в зазоры между поверхностями

Здесь рассматриваются следующие функции: *определение границ заготовки; выбор диаметра инструмента для окончательной обработки; выбор поверхностей для обработки.*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFFTOOLDIAM .25** появится сообщение в командной строке:

*ToolpathName = pm3doc16.nc2*

**TOOLDIAM .25** определяет диаметр инструмента, равный .25 дюйма.

Синтаксис команды с ключами и параметрами:

**INS TOOL BORDEROFF TOOLD .25: Toolpath Name = pm3doc16.nc2**  
**Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

Так как инструмент может пройти в разрыв между первыми двумя плоскостями, то он отходит на уровень безопасности по оси **Z** и затем перемещается в плоскости **XY** для нахождения следующей поверхности при условии, когда диаметр инструмента меньше, чем величина разрыва между ПЛОСКОСТЯМИ, и обработка границы выключена (режим **BORDEROFF**). Если бы обработка грани-

ЦЫ была включена (режим **BORDERON**), то инструмент опустился бы по оси Z в разрыв между плоскостями, чтобы обработать границу, а затем поднялся бы по оси Z для нахождения следующей поверхности.

После расчёта по вышеприведённой команде система вставляет траекторию в чертёж (рис. 14).

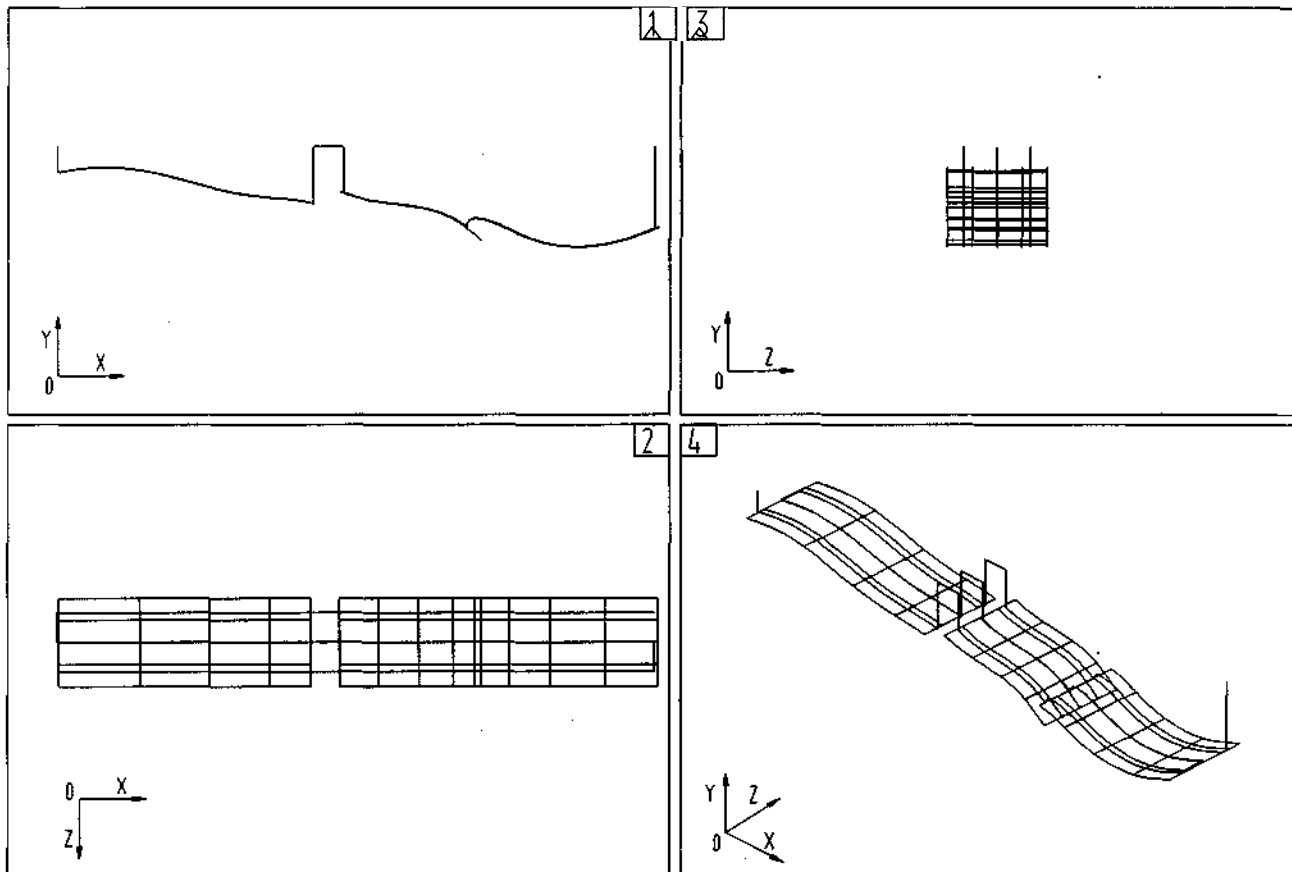


Рис. 14. Траектория движения инструмента при окончательной обработке и возможности попадания инструмента в зазор между поверхностями

### 2.18. Создание траектории инструмента проецированием или отображением цепочки

В данном случае используют следующие функции: *создание траектории проецированием цепочки на поверхность*; *создание траектории отображением цепочки на поверхность*.

Любая проецируемая или отображаемая цепочка должна быть двухмерной и лежать в плоскости XY, как определено на виде 1 (**View 1**), а также находиться над поверхностью и вписываться в границы поверхности.

В верхнем левом углу размещают белую (цвет 15) двухмерную спиральную цепочку. Эта цепочка центрирована относительно голубой (цвет 13) поверхности, находится над ней и полностью укладывается внутри ее границы. В нижнем правом углу - слово TEST красного цвета (цвет 9). Это слово вставлено



как текст и представлено как серия двухмерных цепочек. Над и немного правее слова TEST находится зеленая (цвет 10) поверхность.

**Создание траектории проецированием белой цепочки на голубую поверхность.** При вводе **INSERT TOOL PROJECT** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc17.nc2.*

**PROJECT** заставляет систему выдавать запросы на цепочку для проекции на поверхность. Цепочка должна лежать в плоскости XY, как на виде 1, находиться над поверхностью и полностью вписываться в ее границы,

Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки), при котором нужно выбрать голубую поверхность (**d1**), нажать клавишу (;), тогда появится сообщение *Dig string* (укажите цепочку). Так как белая спиральная цепочка единственная, можно ввести ее (**d2**). При нажатии **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами:

**INS TOOL PROJ:** *Toolpath Name = pm3doc17.nc2 Indicate Surfaces to Machine d1; Dig string d2 Enter*

Желтая (цвет 12) траектория является нормальной проекцией белой спиральной цепочки на голубую поверхность. Проекция отображает контуры поверхности. Система автоматически определяет уровень подвода-отвода инструмента как высоту цепочки над поверхностью. Если нужно изменить уровень подвода-отвода инструмента, то необходимо изменить положение плоскости XY относительно поверхности.

При вводе **UNDO** и нажатии **Enter** команда **UNDO** убирает желтую траекторию, и на экране остается первоначальный чертеж (рис. 15):

>>**UNDO Enter**

**Создание траектории отображением красной цепочки на зеленую поверхность.** При вводе **INSERT TOOL MAP** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc18.nc2* в командной строке.

**MAP** заставляет систему выдавать запросы на цепочку для отображения на поверхность. Цепочка должна лежать в плоскости XY, как на виде 1, находиться над поверхностью и полностью вписываться в ее границы. Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Здесь нужно выбрать зеленую поверхность (**d1**), нажать клавишу (;), в результате появится сообщение *Dig string* (укажите цепочку). После ввода **WIN** и прямоугольного окна (**d2 d3**) вокруг красного (цвет 9) слова TEST включаются все цепочки. При нажатии **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами с учётом использования по умолчанию ключа **PERCENTAGE .9** (рис. 15).

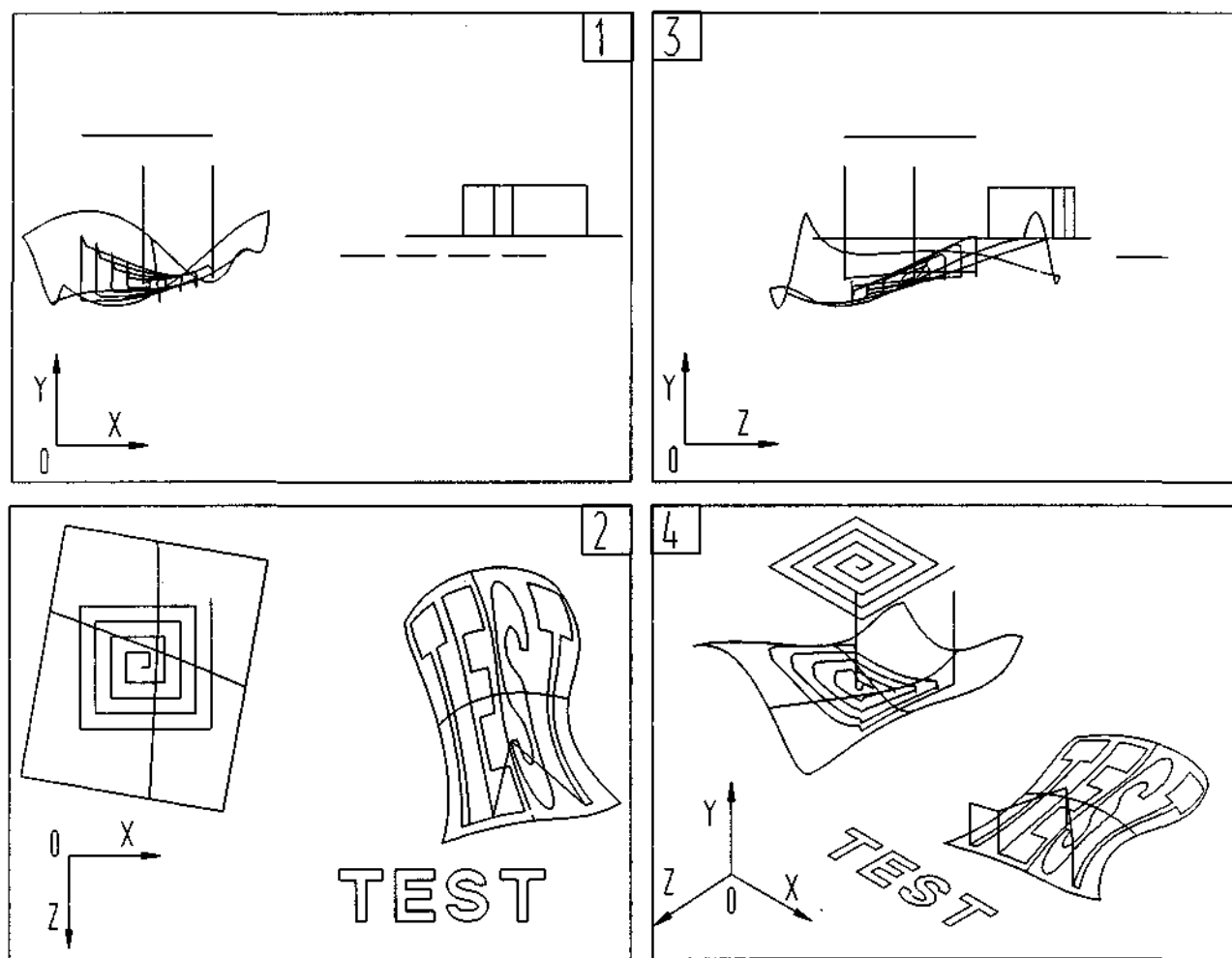


Рис. 15. Траектория движения инструмента при машинной обработке путём проецирования или отображения цепочки

**INS TOOL MAP:** *Toolpath Name = pm3doc18.nc2 Indicate Surfaces to Machine d1; Dig string Win d2 d3 Enter*

Ориентация цепочки на поверхности определяется углом между осью X и линией, соединяющей нижние левый и правый углы S-поверхности. Текст читают слева направо.

Желтая (цвет 12) траектория является отображением красных цепочек на зеленую поверхность. Отображение цепочки повторяет изгибы поверхности и заполняет ее на 90%.

При повороте слова TEST на 90 градусов в плоскости XY и отображении на зеленую поверхность линия, параллельная оси X, будет иметь ту же ориентацию, что и раньше, но слово TEST будет читаться снизу вверх.

Если указать ключ **SEPARATE** в командной строке, то система создаст отдельные траектории для каждой цепочки, а не одну непрерывную траекторию.

При вводе **UNDO** и нажатии **Enter** команда **UNDO** убирает желтую траекторию, и на экране остается первоначальный чертеж.

>>**UNDO Enter**

**Создание траектории отображением белой цепочки на зеленую поверхность.** После ввода **INSERT TOOL MAP** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc19.nc2.*

**MAP** заставляет систему выдавать запросы на цепочку для отображения на поверхность. Цепочка должна лежать в плоскости XY, находиться над поверхностью и полностью вписываться в ее границы.

Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). После выбора зеленой поверхности (**d1**), нажатия клавиши (;) появится сообщение *Dig string* (укажите цепочку). Так как белая спиральная цепочка единственная, можно ввести ее путём (**d2**). При нажатии **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами, используя по умолчанию ключ **PERCENTAGE .9**. Полностью команда с ключами и введенными параметрами выглядит так: ,

**INS TOOL MAP: Toolpath Name = pm3doc19.nc2 Indicate Surfaces to Machine d1; Dig string d2 Enter**

Ориентация цепочки на поверхности определяется углом между осью X и линией, соединяющей нижние левый и правый углы S-поверхности. Текст читают слева направо. Желтая (цвет 12) траектория является отображением белой спиральной цепочки на зеленую поверхность. Отображение цепочки повторяет изгибы поверхности и заполняет ее на 90% (рис. 16).

## 2.19. Формирование траектории движения инструмента по линии пересечения поверхностей

В данном разделе рассматривают следующие функции: **автоматический выбор поверхностей для определения линии пересечения; выбор двух серий поверхностей для пересечения; выбор двух серий поверхностей для пересечения и третьейсерии необрабатываемых поверхностей.**

**Автоматический выбор поверхностей для определения линии пересечения.** В процессе ввода **INSERT TOOL INTAUTO** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc20.nc2.*

**INTAUTO** автоматически находит пересечения всех выбранных поверхностей и создает траекторию, которая будет следовать по линии пересечения.

Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Далее необходимо указать все поверхности на любом виде чертежа или выбрать **ALLENT**. При нажатии **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами (рис. 17):

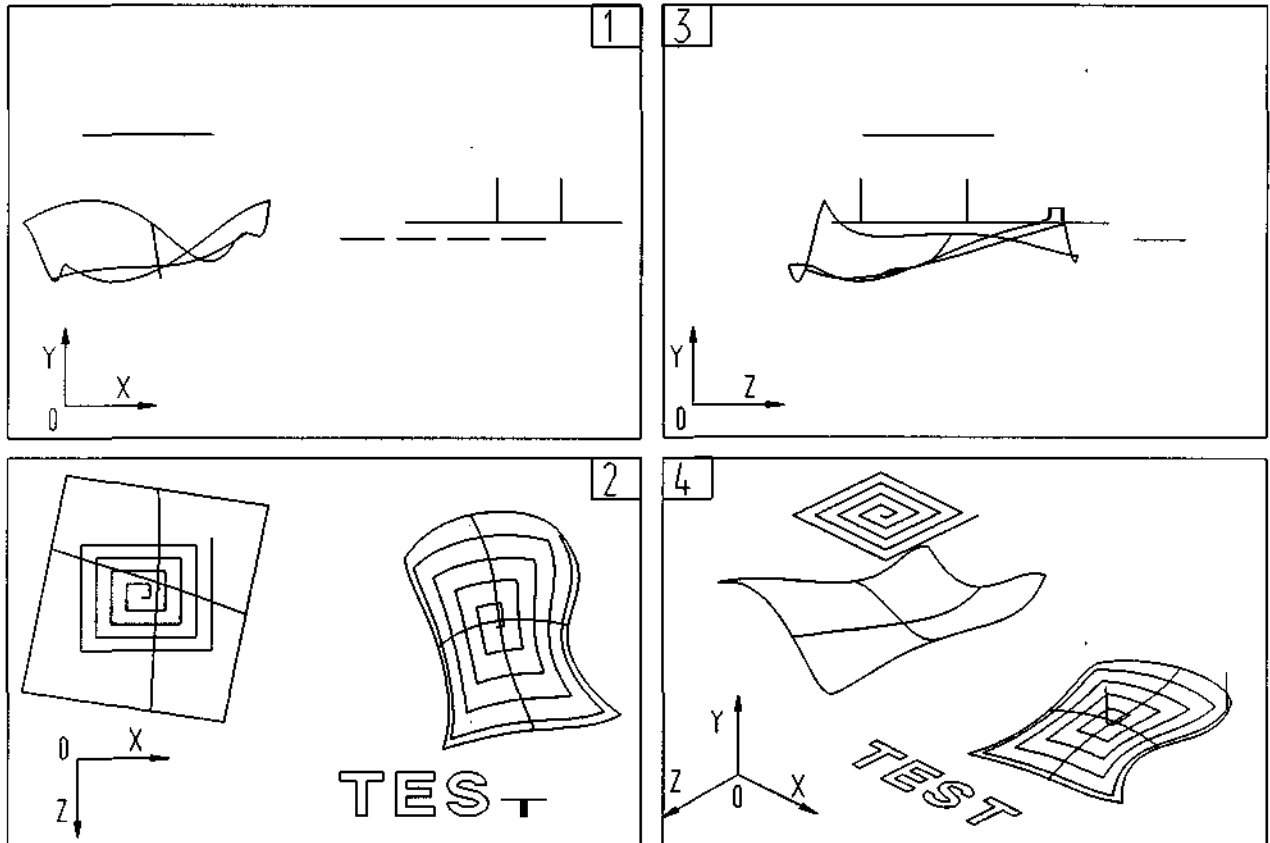


Рис. 16. Траектория движения инструмента при машинной обработке путём отображения белой цепочки на зелёную поверхность

**INS TOOL INTA:** *Toolpath Name = pm3doc20.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter*

Зеленая (цвет 10) траектория следует по линии пересечения всех белых поверхностей друг с другом, а затем по линии пересечения этих белых поверхностей с фиолетовой поверхностью вниз.

При вводе **UNDO** и нажатии **Enter** команда **UNDO** убирает желтую траекторию, и на экране остается первоначальный чертеж.

>>**UNDO Enter**

**Выбор двух серий поверхностей для пересечения.** После ввода **INSERT TOOLPATH INTSERIES** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc21.nc2*

**INTSERIES** заставляет систему выдавать запросы на выбор двух серий поверхностей и создает траекторию, которая будет следовать по линии пересечения. Возможен выбор третьей серии для исключения из обработки.

Появляется сообщение *First series of surfaces* (первая серия поверхностей). После ввода **COL 15, ALLEN** и запятой появится сообщение: *Second series of surfaces*. Затем необходимо ввести **COL COL14, ALLENT**, а также запятую, и в результате появится сообщение *Containment surfaces*. Следует учесть,

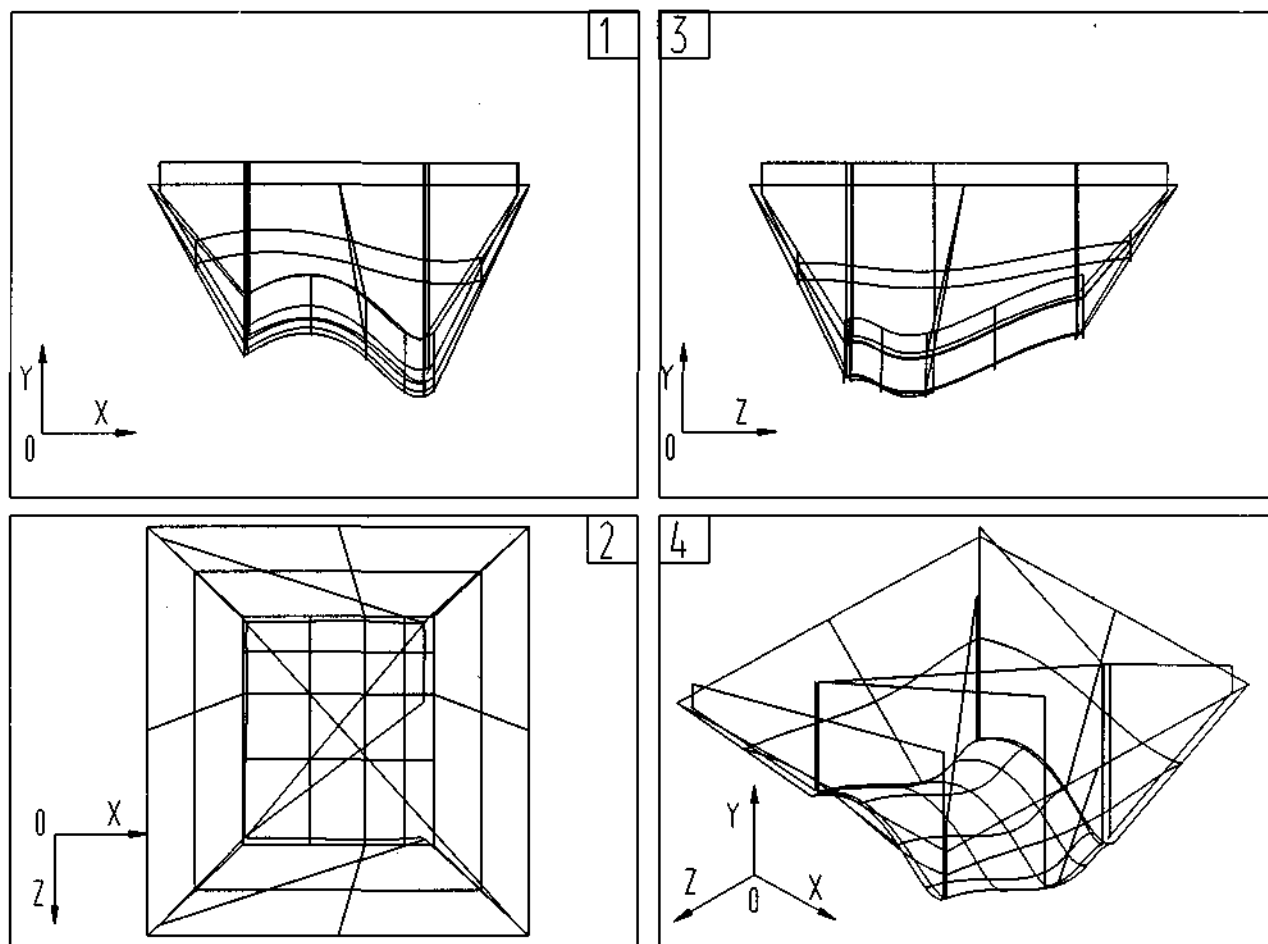


Рис. 17. Траектория движения инструмента по линии пересечения поверхностей при автоматическом выборе поверхностей для определения линии пересечения

что здесь не выделяют необрабатываемые поверхности, поэтому после нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами.

**INS TOOL INTS:** *Toolpath Name = pm3doc21.nc2 First series of surfaces COL 15 ALLE, Second series of surfaces COL COL 14 ALLE, Containment surfaces Enter*

Зеленая (цвет 10) траектория следует по линии пересечения всех белых поверхностей с фиолетовой поверхностью только внизу.

При вводе **UNDO** и нажатии **Enter** команда **UNDO** убирает желтую траекторию, и на экране остается первоначальный чертеж (рис. 18).

>> **UNDO Enter**

**Выбор двух серий поверхностей для пересечения и третью серию необрабатываемых поверхностей.** После ввода **INSERT TOOLPATH INTSERIES** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc22.nc2.*

**INTSERIES** заставляет систему выдавать запросы на выбор двух серий поверхностей и создает траекторию, которая будет следовать по линии пересечения. Возможен выбор третьей серии для исключения из обработки. Появляется сообщение *First series of surfaces* (первая серия поверхностей). Выбрав белую вертикальную поверхность справа вверху на виде сверху и введя запятую, появится сообщение *Second series of surfaces*. Затем, выбрав белую нижнюю горизонтальную поверхность на виде сверху и введя запятую, появится сообщение *Containment surfaces*. После ввода **COL** (чтобы отменить текущий цвет) необходимо выбрать фиолетовую поверхность, нажать **Enter**, и система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами.

**INS TOOL INT:** *Toolpath Name = pm3doc22.nc2 First series of surfaces d1, Second series of surfaces d2, Containment surfaces COL d3 Enter*

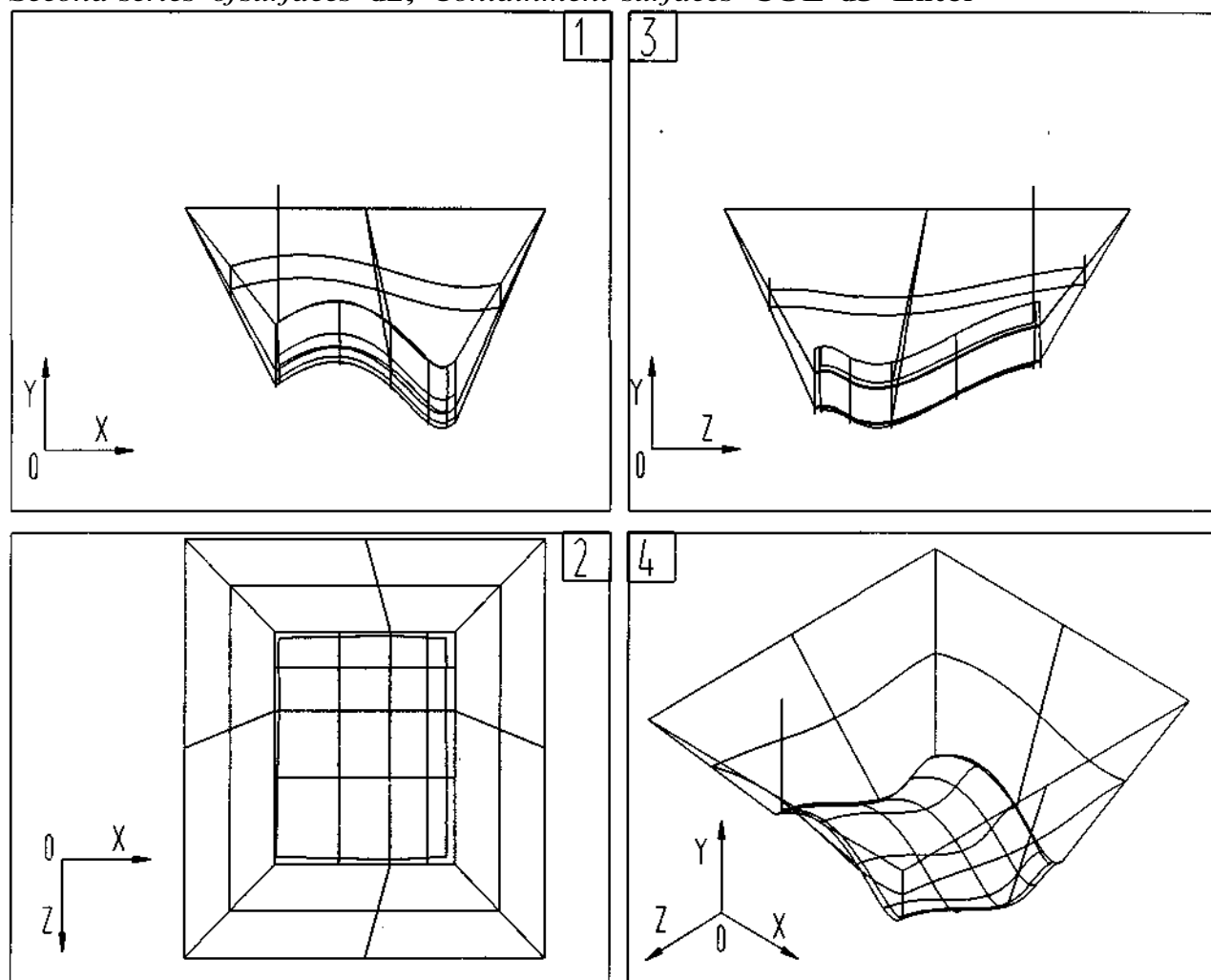


Рис. 18. Траектория движения инструмента по линии пересечения поверхностей при выборе двух серий поверхностей для пересечения

Зеленая (цвет 10) траектория следует по линии пересечения двух белых поверхностей, но не вырезает канавку по дну, так как фиолетовая поверхность исключена из обработки.

## 2.20. Формирование обработки с использованием ключа *ZPROFILE*

В данном подразделе используются следующие функции: *создание траектории инструмента для окончательной обработки с помощью ключа ZPROFILE; определение шага.*

Чертеж, содержащий две модели, появляется на экране вместе с меню. Коробка слева, открытая вверху и закрытая снизу, состоит из поверхностей Безье(S-поверхности). Круглая модель справа с отверстием вверху - NURBS-поверхность. Выбрав опцию меню **CAM** и **3-Axis Surface Machining**, строят траекторию инструмента, добавляя ключи к команде **INSERT TOOLPATH**.

**Выбор поверхностей для обработки.** Введя **INSERT TOOLPATH ZPROFILE STEPOVER .25**, появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc23.nc2*

**ZPROFILE** режет по направлению оси **Z**, следуя по исключаемой из обработки поверхности.

**STEPOVER .25** определяет значение шага, равное .25

Появляется сообщение: *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Указав все поверхности на любом виде чертежа или выбрав **ALLEN**T, необходимо нажать **Enter**, после чего система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами (рис. 19):

**INS TOOL ZPRO STEP .25: Toolpath Name = pm3doc23.nc2 Indicate Surfaces to Machine ALLE Enter**

Желтая траектория показывает обработку поверхности Безье слева и NURBS-поверхность справа. Она следует по контурам каждой модели, снаружи и внутри, двигаясь сверху вниз через все уровни **Z**, задаваемые значением шага. Если не нужно обрабатывать все внутренние и внешние поверхности, то можно ограничить траекторию, используя ограничивающие цепочки.

## 2.21. Формирование окончательной обработки *N*-поверхности с использованием ключа *ISO*

В этом подразделе рассматривают использование следующих функций: *создание траектории инструмента для изопараметрической окончательной обработки с помощью ключа ISO; выбор поверхностей для обработки.*

**Выбор поверхностей для обработки.** Введя **INSERT TOOL ISO**, появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc24.nc2.*

**ISO** задает изопараметрическую окончательную обработку

Появляется сообщение: *Selecting surfaces (in machining order)* (выберите

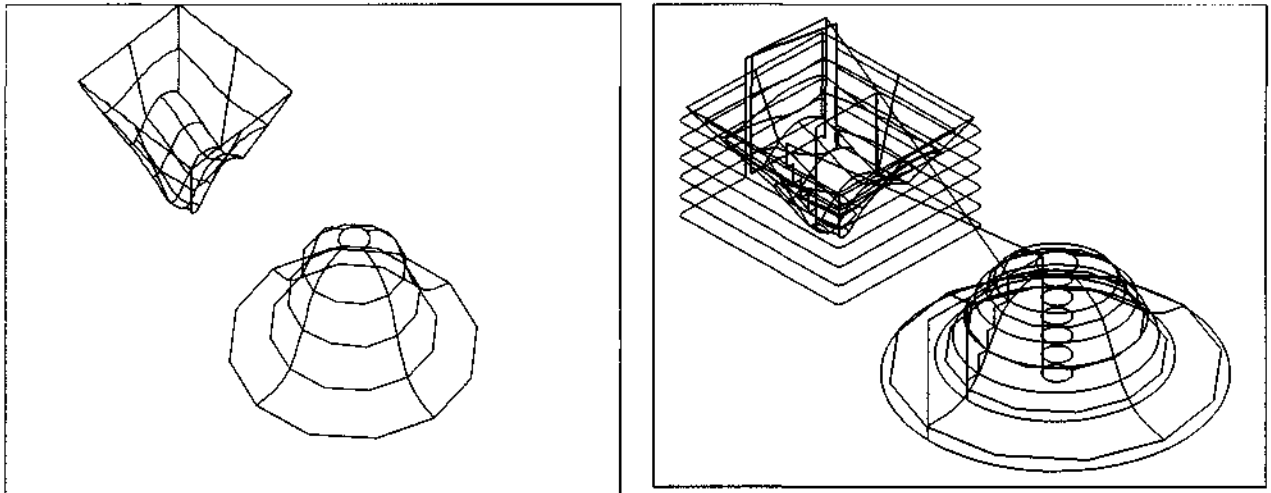


Рис. 19. Траектория движения инструмента при окончательной обработке с использованием ключа *ZPROFILE*

поверхности (в порядке обработки)). После этого следует указать все поверхности чертежа в непрерывной последовательности (слева направо или справа налево). Или, так как здесь одна N-поверхность, можно ввести ALLENT.

При вводе запятой поверхность будет выделена более светлым цветом и стрелками, нормальными к поверхности в положительном и отрицательном направлении по оси Z. Эти стрелки указывают на ту сторону поверхности, которая будет обрабатываться.

Появляется сообщение: *Pick the side you want to machine* (выберите сторону, которую вы хотите обрабатывать). При этом нужно выбрать стрелку, указывающую в положительном направлении по оси Z (**d1**), чтобы обработать верхнюю сторону поверхности. Стрелка будет выделена цветом. Затем необходимо ввести запятую, и сообщение *Pick the direction* (выберите направление) появится вместе с двумя стрелками, задающими направление обработки, каждая с внешней стороны,

Наконец, следует выбрать стрелку вверх чертежа (d2) для определения начала траектории. Стрелка выделяется цветом и обработка будет проходить в направлении, указанном стрелкой, причём задать другое направление в этом случае нельзя.

После нажатия Enter система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами .

INS **TOOL ISO**: *Toolpath Name = pm3doc24.nc2*  
*Selecting surfaces (in machining order). Alle,*  
*Pick the side you want to machine: d1,*  
*Pick the direction: d2 Enter*



Голубая траектория - изопараметрическая обработка N-поверхности. Инструмент движется сверху вниз, следуя по контурам поверхности в большей степени, чем при проходе через постоянные уровни Z при обработке по прямой линии (рис. 20).

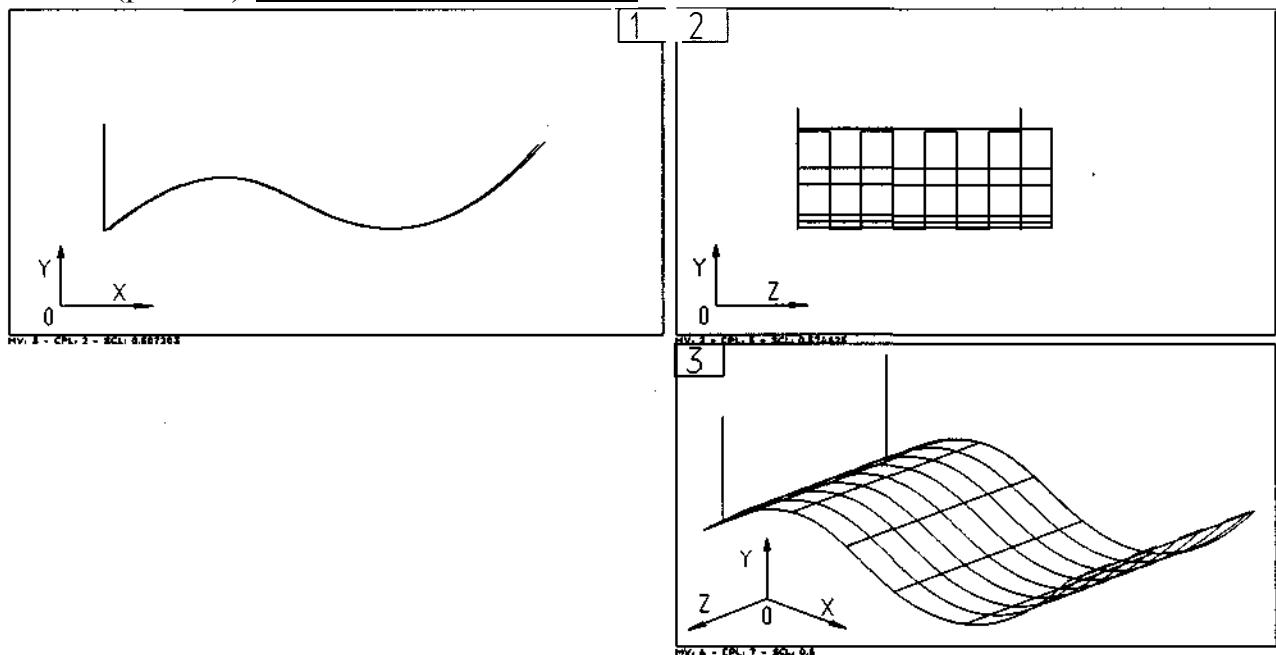


Рис. 20. Траектория движения инструмента при окончательной обработке N-поверхности с использованием ключа *ISO*

## 2.22. Формирование окончательной обработки нескольких N-поверхностей с использованием ключа *ISO*

В этом подразделе рассматриваются следующие функции: *создание траектории движения инструмента для изопараметрической окончательной обработки с помощью ключа ISO; включение проходов с переменным шагом; выбор поверхностей для обработки.*

Чертеж, содержащий три N - поверхности, появляется на экране вместе с меню. Выбрав опцию меню **CAM** и **3-Axis Surface Machining**, строим траекторию инструмента, добавляя ключи к команде **INSERT TOOLPATH**.

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL ISO** появится сообщение в командной строке:

*ToolpathName = pm3doc25.nc2.*

**ISO** задает изопараметрическую окончательную обработку.

Появляется сообщение: *Selecting surfaces (in machining order)* (выберите поверхности (в порядке обработки)). Так как здесь три N - поверхности, то можно ввести **ALLENТ**, затем поверхности вашего чертежа (**d1 d2 d3**) в непрерывной последовательности справа налево. После этого следует ввести запятую, и поверхности будут выделены более светлым цветом и стрелками, нор-

оси Z. Эти стрелки указывают на ту сторону поверхности, которая будет обрабатываться.

Появляется сообщение: *Pick the side you want to machine* (выберите сторону, которую хотите обрабатывать), после которого нужно выбрать стрелку, указывающую в положительном направлении по оси Z (**d4**), чтобы обработать верхнюю сторону поверхности. Стрелка будет выделена цветом.

При вводе запятой появится сообщение *Pick the direction* (выберите направление) вместе с двумя стрелками, задающими направление обработки, каждая из КОТОРЫХ-С внешней стороны.

Наконец, следует выбрать стрелку вверх чертежа (d5) для определения начала траектории. Стрелка будет выделена цветом, и обработка будет проходить в направлении, указанном стрелкой. Причём здесь нельзя задать другое направление.

После нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами:

**INS TOOL ISO:** *Toolpath Name = pm3doc25.nc2 Selecting surfaces (in machining order) d1 d2 d3, Pick the side you want to machine: d4, Pick the direction: d5 Enter*

Голубая траектория - изопараметрическая обработка N-поверхностей. Инструмент движется слева направо, следуя по контурам поверхности в большей степени, чем при проходе через постоянные уровни Z при обработке по прямой линии. Система динамически пересчитывает шаг согласно кривизне поверхности (рис. 21).

### 2.23. Формирование окончательной обработки S-поверхности с использованием ключа ISO

В этом подразделе используются следующие функции: *создание траектории движения инструмента для изопараметрической окончательной обработки с помощью ключа ISO; определение шага; выбор поверхности для обработки; изменение U-вектора S-поверхности.*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL ISO STEPOVER** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc26.nc2.*

**ISO** задает изопараметрическую окончательную обработку;

**STEPOVER .15** задает значение шага, равное .15 дюйма.

Появляется сообщение *Selecting surfaces (in machining order)* (выберите поверхности (в порядке обработки)), после которого следует указать все поверхности Вашего чертежа в непрерывной последовательности (слева направо

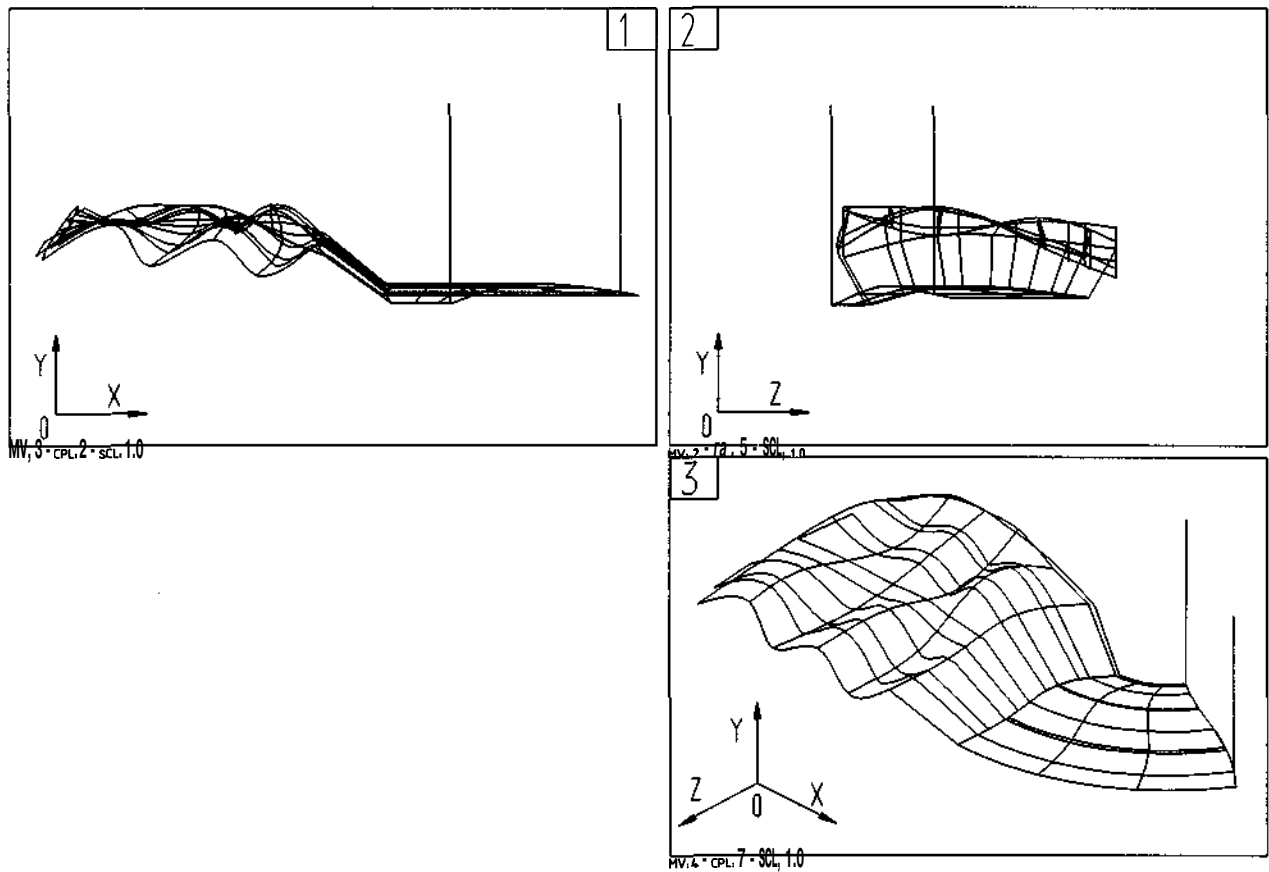


Рис. 21. Траектория движения инструмента при окончательной обработке нескольких N-поверхностей с использованием ключа *ISO*

или справа налево), или, так как здесь одна S-поверхность, можно ввести **ALLENT**.

При вводе запятой поверхность будет выделена более светлым цветом и стрелками, нормальными к поверхности в положительном и отрицательном направлениях по оси Z. Эти стрелки указывают на ту сторону поверхности, которая будет обрабатываться. Появляется сообщение: *Pick the side you want to machine* (выберите сторону, которую вы хотите обрабатывать). Затем нужно выбрать стрелку, указывающую в положительном направлении по оси Z (**d1**), чтобы обработать верхнюю сторону поверхности. Стрелка будет выделена цветом.

После ввода запятой появится сообщение *Pick the direction* (выберите направление) вместе с двумя стрелками, каждая с внешней стороны, задающими направление обработки. После чего необходимо выбрать стрелку вверх чертежа (**d2**) для определения начала траектории. Стрелка будет выделена цветом, и обработка будет проходить в направлении, указанном стрелкой, причём в этом случае нельзя задать другое направление.

После нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами (рис. 22):

**INS TOOL ISO:** Toolpath Name = pm3doc26.nc2 Selecting surfaces (in machining order). **Alle,**

Pick the side you WANT to machine: **d1,**

Pick the direction: **d2 Enter**

Голубая траектория - изопараметрическая обработка N-поверхности. Инструмент движется сверху вниз, следуя по контурам поверхности в большей степени, чем при проходе через постоянные уровни Z при обработке по прямой линии.

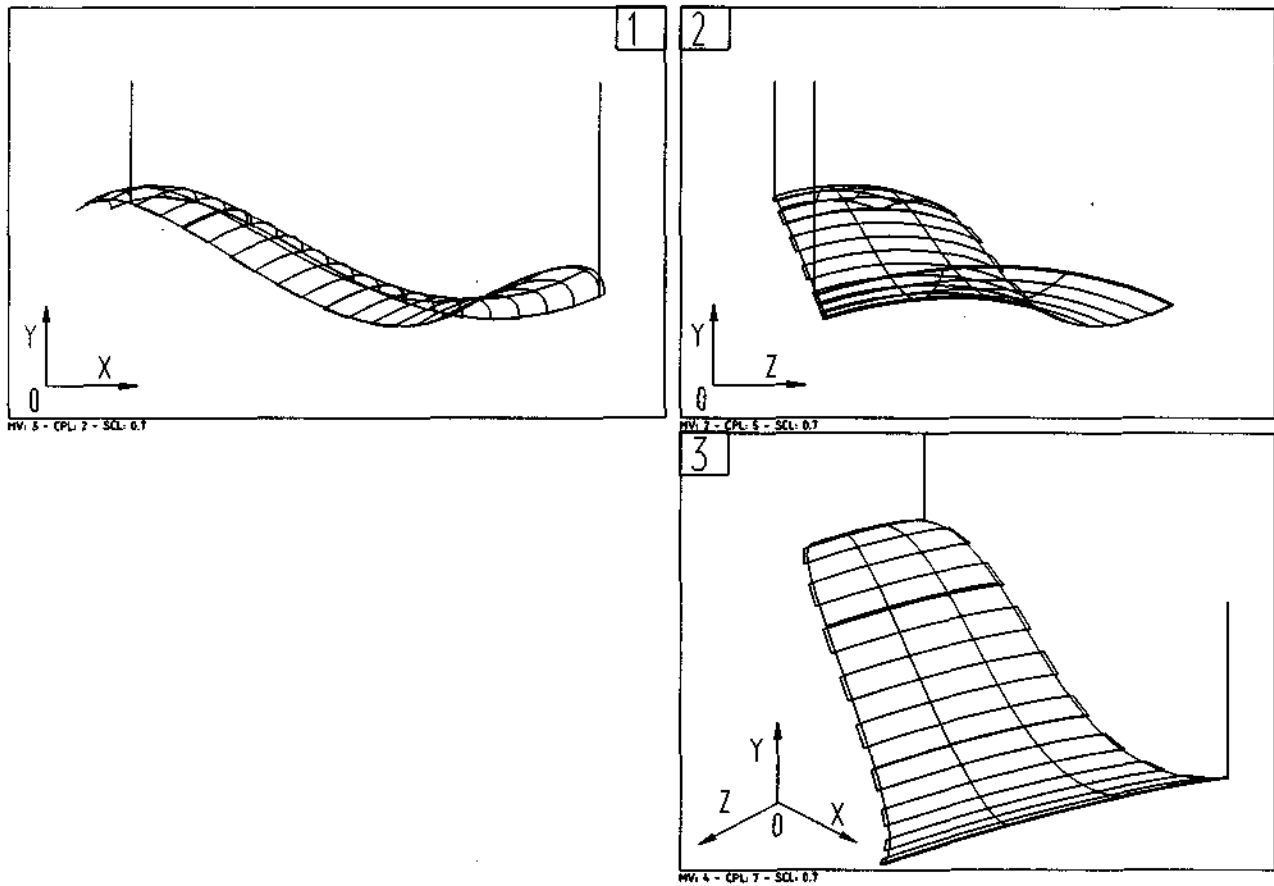


Рис. 22. Траектория движения инструмента при окончательной обработке S-поверхности с использованием ключа *ISO*

**Изменение U-вектора S-поверхности.** Ключ *ISO* всегда обеспечивает изопараметрическую окончательную обработку вдоль *U*-вектора. Изменить *U*-вектор в этом чертеже можно путём ввода **CHANGE SPOLE RANGE 2**, выбора S-поверхности и нажатия **Enter**. Это изменит *U*-вектор так, что *ISO* траектория будет проходить слева направо вдоль S-поверхности, а не сверху вниз.

#### 2.24. Формирование окончательной обработки N-поверхности и S-поверхностей с использованием ключа *ISO*

В этом подразделе показано использование следующих функций: *создание траектории движения инструмента для изопараметрической окон-*

**чательной обработки с помощью ключа ISO; определение высоты неровностей; выбор поверхностей для обработки.**

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL ISO SCALLOP** появится сообщение в командной строке:

*Toolpath Name = pm3doc27.nc2*

**ISO** задает изопараметрическую окончательную обработку.

**SCALLOP .005** задает высоту неровностей, равную **.005** дюйма.

Появляется сообщение *Selecting surfaces (in machining order)* (выберите поверхности (в порядке обработки)). Так как здесь одна N-поверхность и две S-поверхности, то нельзя ввести **ALLENT**. Далее вводят все поверхности вашего чертежа (**d1 d2 d3**) в непрерывной последовательности справа налево, а затем запятую, в результате чего поверхности будут выделены более светлым цветом и стрелками, нормальными к поверхности в положительном и отрицательном направлениях по оси Z. Эти стрелки указывают на ту сторону поверхности, которая будет обрабатываться.

Вновь появляется сообщение *Pick the side you want to machine* (выберите сторону, которую вы хотите обрабатывать), после которого нужно выбрать стрелку, указывающую положительное направление по оси Z (**d4**), чтобы обработать верхнюю сторону поверхности. Стрелка будет выделена цветом. После этого вводится ЗАПЯТАЯ, и сообщение *Pick the direction* (выберите направление) появится вместе с двумя стрелками, каждая с внешней стороны, задающими направление обработки. Выбирают стрелку вверху чертежа (**d5**) для определения начала траектории. Стрелка будет выделена ЦВЕТОМ, и обработка будет проходить в направлении, указанном стрелкой. В этом случае задать другое направление нельзя. При нажатии **Enter** система рассчитывает траекторию в соответствии с введенными параметрами:

**INS TOOL ISO SCALL .005: Toolpath Name = pm3doc27.nc2 Selecting surfaces (in machining order). d1 d2 d3,**

*Pick the side you want to machine: d4,*

*Pick the direction: d5 Enter*

Когда расчеты завершены, система вставляет траекторию в чертеж. Иллюстрация - изопараметрическая траектория окончательной обработки (рис. 23). Голубая траектория - изопараметрическая обработка N-поверхности и S-поверхности. Инструмент движется слева направо, следуя контурам поверхности в большей степени, чем при проходе через постоянные уровни Z при обработке по прямой линии.

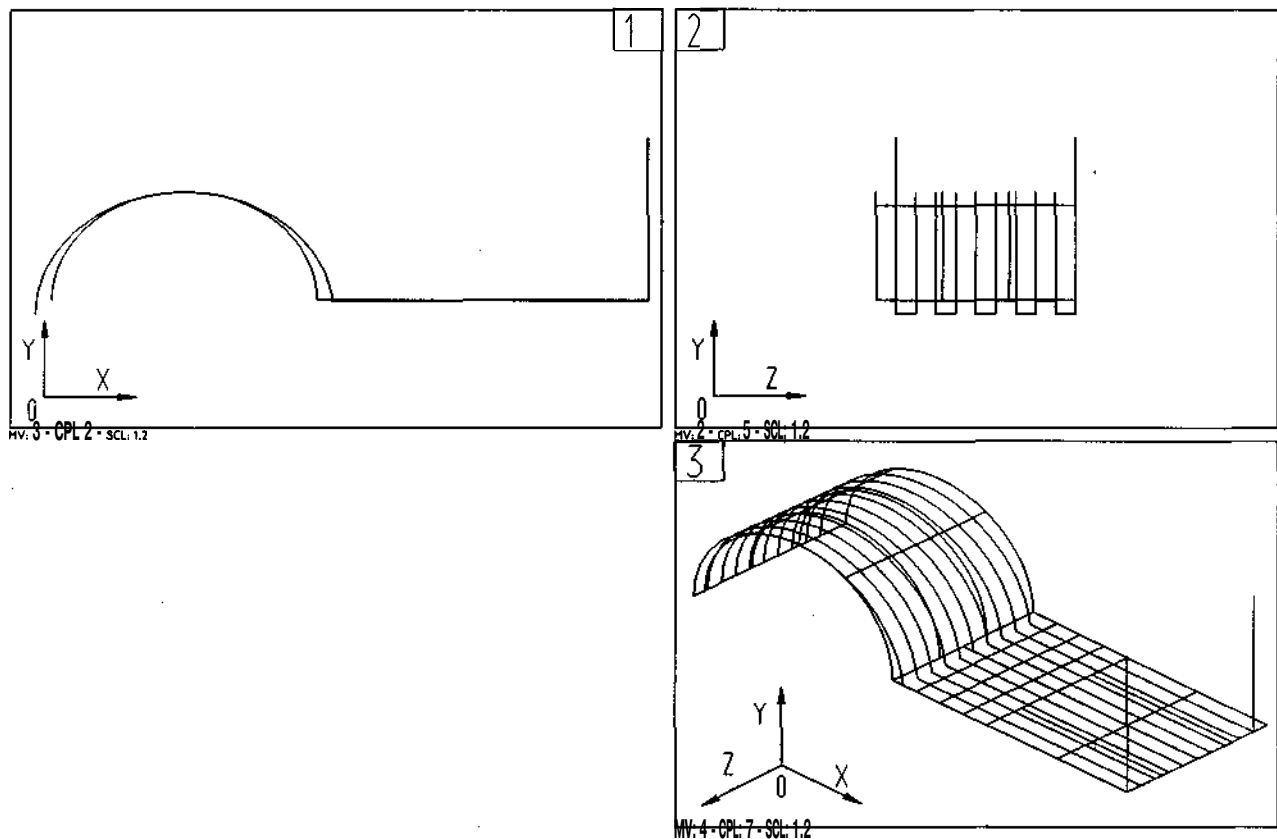


Рис. 23. Траектория движения инструмента при окончательной обработке N-поверхности и S-поверхностей с использованием ключа *ISO*

### 2.25. Формирование окончательной обработки нескольких S-поверхностей с использованием ключа *ISO*

Здесь показано использование следующих функций: *создание траектории движения инструмента для изопараметрической окончательной обработки с помощью ключа ISO; определение диаметра инструмента; выбор поверхностей для обработки.*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL ISO TOOLD** появится сообщение в командной строке:

Toolpath Name = pm3doc28.nc2

**ISO** задает изопараметрическую окончательную обработку .

**TOOLD .25** задает диаметр инструмента, равный .25 дюйма .

Появляется сообщение **Selecting surfaces (in machining order)** (выберите поверхности (в порядке обработки)). Так как здесь шесть S-поверхностей, то ввести **ALLENT** нельзя. Далее следует ввести все поверхности в вашего чертежа (**d1 d2 d3 d4 d5 d6**) в непрерывной последовательности справа налево, а также запятую. Поверхности будут выделены более светлым цветом и стрелками, нормальными к поверхностям в положительном и отрицательном направлении.

ях по оси **Z**. Эти стрелки указывают на ту сторону поверхности, которая будет обрабатываться. В результате появляется сообщение *Pick the side you want to machine* (выберите сторону, которую вы хотите обрабатывать), после которого необходимо выбрать стрелку, указывающую положительное направление по оси **Z (d7)**, чтобы обработать верхнюю сторону поверхности. Стрелка будет выделена цветом. Затем необходимо ввести ЗАПЯТУЮ, и сообщение *Pick the direction* (выберите направление) появится вместе с двумя стрелками, каждая с внешней стороны, задающими направление обработки. Наконец, следует выбрать стрелку вверху чертежа (**d8**) для определения начала траектории. Стрелка будет выделена цветом, и обработка будет проходить в направлении, указанном стрелкой, причем уже другое направление задать нельзя.

После нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами.

**INS TOOL ISO TOOLD .25: Toolpath Name = pm3doc28.nc2 Selecting surfaces (in machining order). d1 d2 d3 d4 d5 d6,**

*Pick the side you want to machine: d7,*

*Pick the direction: d8 Enter*

Голубая траектория - изопараметрическая обработка S-поверхностей. Инструмент движется слева направо, следуя по контурам поверхности в большей степени, чем при проходе через постоянные уровни **Z** при обработке по прямой линии. Траектория показывает, как инструмент автоматически отводится от прорезания выемки на границе первой и второй S-поверхностей слева. Изопараметрическая обработка более эффективна, чем обработка по прямой линии для моделей с S-очертаниями. Можно использовать ключ **ISO** только для окончательной обработки (рис. 24).

## 2.26. Формирование окончательной обработки N-поверхностей с использованием ключа **ISO**

Этот подраздел показывает использование следующих функций: *создание траектории инструмента для изопараметрической окончательной обработки с помощью ключа ISO; определение подачи; выбор поверхностей для обработки.*

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL ISO FEED 1200:** в командной строке появится сообщение:

*Toolpath Name = pm3doc29.nc2.*

**ISO** задает изопараметрическую окончательную обработку

**FEED 1200** задает подачу, равную 1200 мм/мин.

Появляется сообщение *Selecting surfaces (in machining order)* (выберите поверхности (в порядке обработки)), после которого необходимо указать все

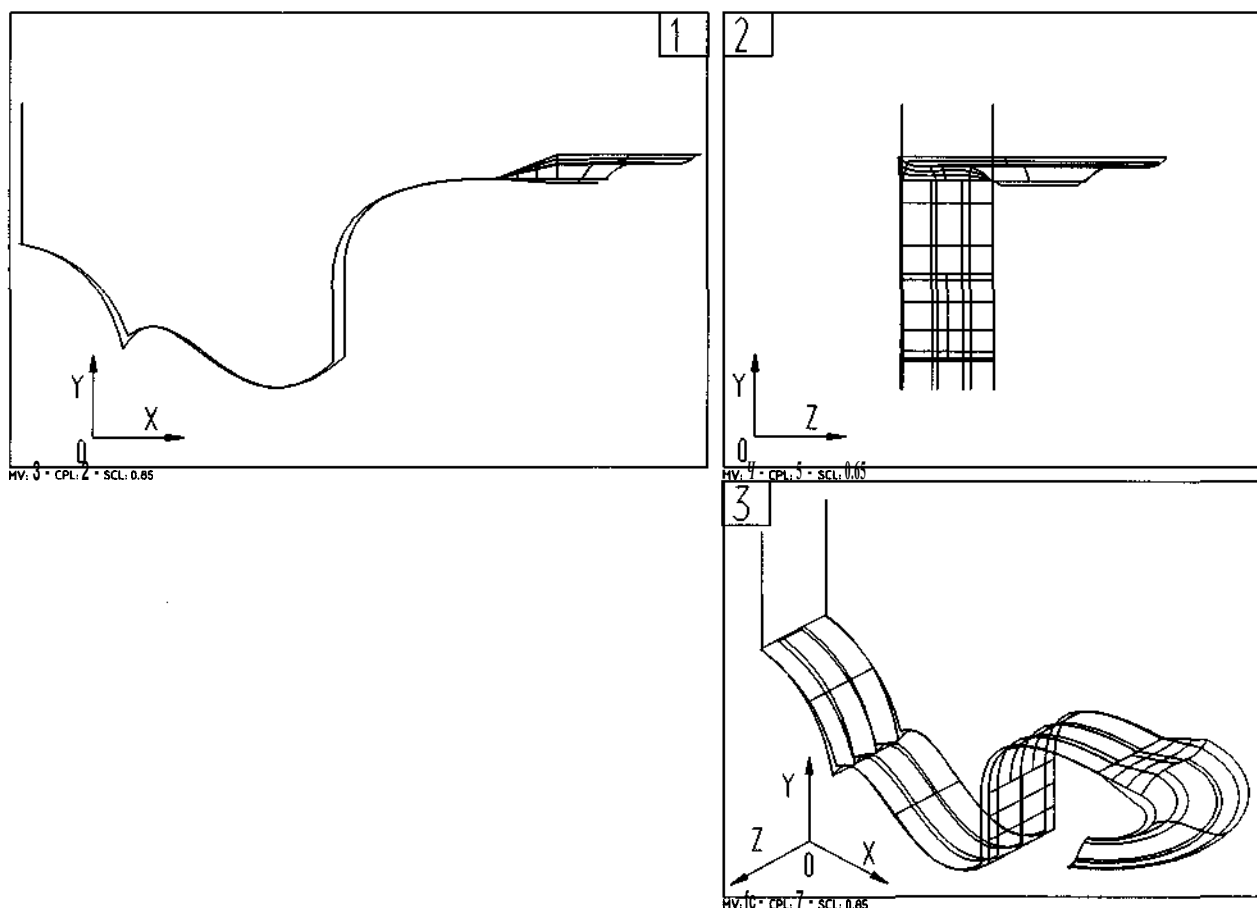


Рис. 24. Траектория движения инструмента при окончательной обработке нескольких S-поверхностей с использованием ключа *ISO*

поверхности вашего чертежа в непрерывной последовательности (слева направо или справа налево). Или, так как здесь одна N-поверхность, можно ввести *ALLENT*, а затем запятую, и поверхность будет выделена более светлым цветом и стрелками, нормальными к поверхности в положительном и отрицательном направлениях по оси *Z*. Эти стрелки указывают на ту сторону поверхности, которая будет обрабатываться.

Появляется сообщение *Pick the side you want to machine* (выберите сторону, которую вы хотите обрабатывать), после которого следует выбрать стрелку, указывающую положительное направление по оси *Z* (**d1**), чтобы обработать верхнюю сторону поверхности. Стрелка будет выделена цветом. Далее необходимо ввести запятую, и сообщение *Pick the direction* (выберите направление) появится вместе с двумя стрелками, каждая с внешней стороны, задающими направление обработки. После этого нужно выбрать стрелку вверх чертежа (**d2**) для определения начала траектории. Стрелка будет выделена цветом, и обработка будет проходить в направлении, указанном стрелкой, причем в этом случае уже нельзя задать другое направление. После нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами.

INS TOOL *ISO FEE 1200*: *Toolpath Name = pm3doc29.nc2* *Selecting surfaces (in machining order). Alle,*



*Pick the side you want to machine: d1,*

*Pick the direction: d2 Enter*

Голубая траектория - изопараметрическая обработка N-поверхности. Инструмент движется справа налево, следуя по контурам поверхности в большей степени, чем при проходе через постоянные уровни Z при обработке по прямой линии. Траектория показывает, как инструмент автоматически отводится от прорезания выемки в углублении рядом с центром N-поверхности. Изопараметрическая обработка более эффективна, чем обработка по прямой линии для моделей с N-очертаниями. Можно использовать ключ *ISO*, но только для окончательной обработки (рис. 25).

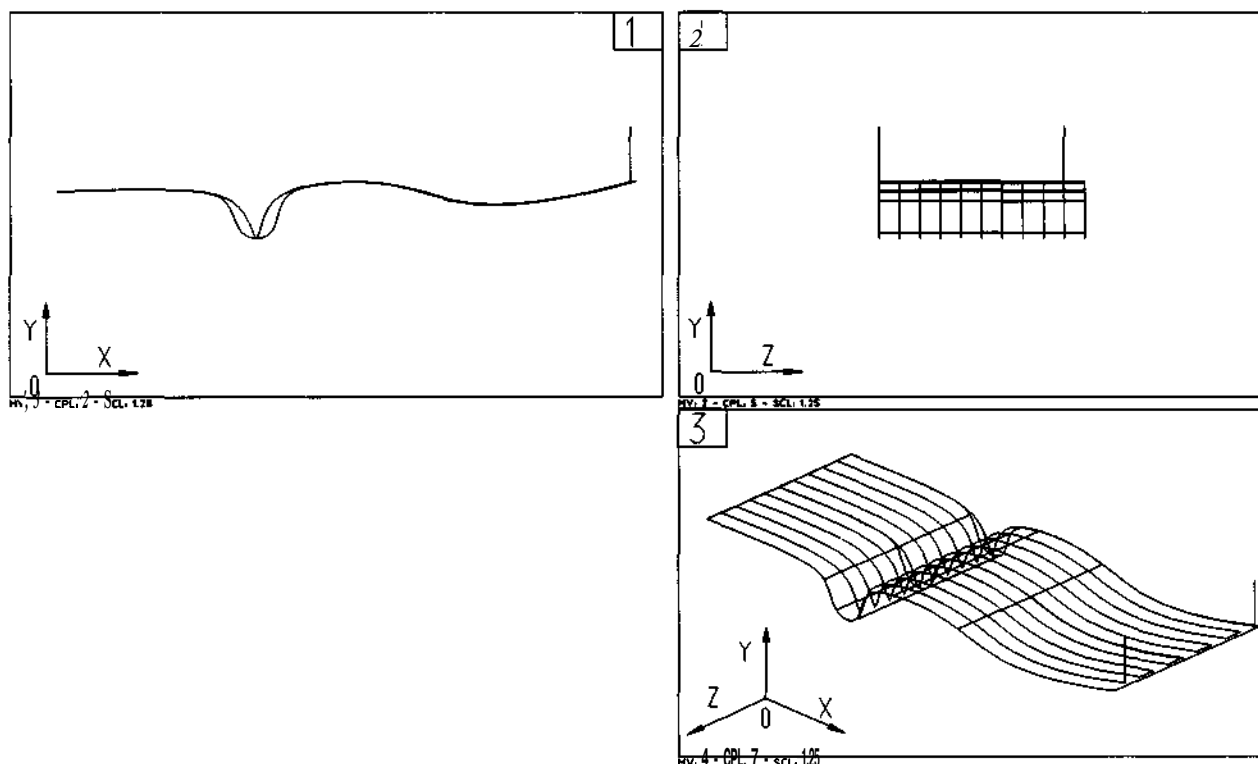


Рис 25. Траектория движения инструмента при окончательной обработке нескольких N - поверхностей с использованием ключа *ISO*

## 2.27. Формирование окончательной обработки N - поверхности с ключом *ISO* и использованием ограничивающих цепочек

В этом подразделе рассматривается использование следующих функций: *создание траектории движения инструмента для изопараметрической окончательной обработки с помощью ключа ISO; выбор цепочек для ограничения; выбор поверхностей для обработки.*

Чертеж появляется на экране вместе с меню и представляет собой коробку, более широкую в верхней части. Коробка открыта сверху. Ее сторонами являются четыре белые (цвет 15) поверхности. Дно - фиолетовая (цвет 14) по-

верхность. Около дна находится цепочка, созданная для траектории инструмента. Над коробкой находится вторая цепочка.

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL BORDEROFF ISOSTRCONT:** в командной строке появится сообщение:

*Toolpath Name = pm3doc30.nc2*

**BORDEROFF** определяет, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория инструмента использует саму поверхность как границу.

**ISO** задает изопараметрическую окончательную обработку.

**STRCONT** заставляет систему выдавать запрос на выбор ограничивающих цепочек.

Появляется сообщение *Selecting surfaces (in machining order)* (выберите поверхности (в порядке обработки)), после чего необходимо указать все белые (цвет 15) поверхности (**d1 d2 d3 d4**) вашего чертежа в непрерывной последовательности против часовой стрелки, начиная с правой поверхности, если смотреть с вида 1 (вверх). Далее следует ввести ЗАПЯТЫЮ, И поверхности будут выделены более светлым цветом и стрелками, нормальными к поверхности в положительном и отрицательном направлениях по оси Z. Эти стрелки указывают на ту сторону поверхности, которая будет обрабатываться. Появляется сообщение *Pick the side you want to machine* (выберите сторону, которую хотите обрабатывать). Выберите стрелку, указывающую внутрь коробки (**d5**), чтобы обработать верхнюю сторону поверхности. Стрелка будет выделена цветом. После этого нужно ввести ЗАПЯТЫЮ, И сообщение *Pick the direction* (выберите направление) появится вместе с двумя стрелками, каждая с внешней стороны, задающими направление обработки.

Выбирают стрелку вверху чертежа (**d6**) для определения начала траектории. Стрелка будет выделена ЦВЕТОМ, И обработка будет проходить в направлении, указанном стрелкой. Вводится (;), и появляется сообщение *Indicate Containment Strings*. Наконец, следует ввести цепочку над фигурой (**d7**) и затем красную (цвет 9) цепочку (**d8**) внизу чертежа. После нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами.

**INS TOOL BORDEROFF ISO STRC:** *Toolpath Name = pm3doc30.nc2*  
*Selecting surfaces (in machining order).* **d1 d2 d3 d4,**

*Pick the side you want to machine:* **d5,**

*Pick the direction:* **d6**

*Indicate Containment Strings* **d7 d8     Enter**

Голубая траектория - изопараметрическая обработка N - поверхности. Инструмент движется слева направо, следуя по контурам поверхности в большей степени, чем при проходе через постоянные уровни Z при обработке по прямой линии. Траектория полностью лежит между ограничивающей цепочкой над фигурой и ограничивающей цепочкой внизу чертежа.

Так как значением по умолчанию является *TRIMFIRST*, инструмент остановится, как только он достигнет красной (цвет 9) цепочки. Следовательно, последний проход по оси *Z* не будет совершен. Этот проход не является необходимым, так как инструмент пройдет по линии пересечения поверхностей, если заготовка действительно будет обрабатываться.

*TRIMALL* может быть использован в этом примере, но это не рекомендуется, так как это может привести к тому, что инструмент будет обрабатывать маленькие, спрямленные участки красной цепочки и отводиться перед следующим проходом (рис. 26).

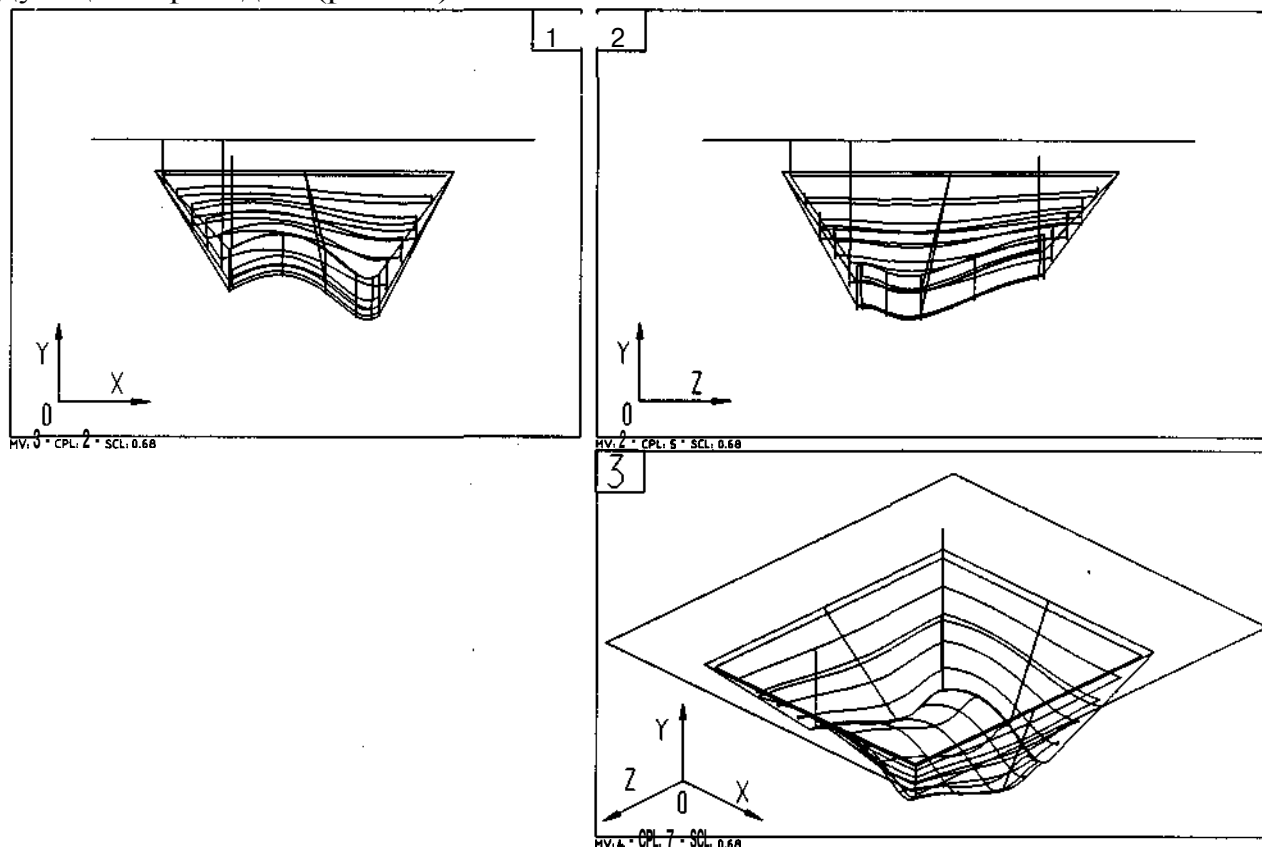


Рис. 26. Траектория движения инструмента при окончательной обработке нескольких *N* - поверхностей с ключом *ISO* и использованием ограничивающих цепочек

## 2.28. Окончательное профилирование траектории по одной цепочке или нескольким цепочкам

В данном подразделе показано использование следующих функций: *определение окончательного профилирования по цепочке*; *определение окончательного профилирования по нескольким цепочкам*; *выбор метода резания*; *определение диаметра инструмента*.

Чертеж появляется на экране вместе с меню и представляет собой светло-желтую (цвет 12) цепочку в изометрии. Это уровень 1.

**Определение окончательного профилирования по цепочке.** После ввода **INSERT TOOL PROFILE UNITWO BALLMILL TOOLD .25 DEPTH -L CHT .005** в командной строке появится сообщение:

*Toolpath Name = pm3doc31.nc2 .*

**PROFILE** задает окончательное профилирование .

**UNITWO** определяет, что инструмент режет только в одном направлении с левой стороны цепочки по умолчанию.

**BALL ENDMILL TOOLD .25** задает кругло-концевую фрезу с диаметром инструмента .25 дюйма.

По умолчанию инструмент касается цепочки в точке, где касается радиус круглого конца. Можно поднять или опустить точку касания, вводя положительное или отрицательное значения по оси **Z**. **DEPTH -1** опускает точку касания на 1 дюйм. По умолчанию допуск высоты дуги/хорды - 0.01. Можно спрятать траекторию, задавая меньшее значение допуска высоты дуги/хорды. Однако, если допуск высоты дуги/хорды будет слишком мал, это приведет к большому числу вершин в траектории, чем в цепочке. Траектория не может быть более прямой, чем цепочка.

**CHT .005** определяет допуск высоты дуги/хорды, равный .005.

Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки), после чего необходимо выбрать левый конец цепочки (**d1**). Выбранный левый конец означает, что инструмент движется слева направо и находится на левой стороне цепочки, как требуется для **UNITWO**-резания. При нажатии **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами (рис. 27).

**INS TOOL PROF UNIT BALLM DIA.25 DEP -.1 CHT .005: Toolpath Name = pm3doc31.nc2 Indicate Surfaces to Machine d1 Enter**

Инструмент совершает окончательное профилирование по цепочке, двигаясь слева направо.



Рис. 27. Схема окончательного профилирования траектории по одной цепочке

**Определение окончательного профилирования по нескольким цепочкам.** Вначале необходимо выбрать уровень 2 чертежа, после чего ввести **ECHO LAY NONE** и нажать **Enter**. Затем следует перерисовать экран. После

появления детали на экране нужно ввести **ZOOM ALL**, если чертеж не заполнил весь экран.

```
SEL LAY 6<7
ECHO LAY NONE  Enter
REPA          Enter
>>ZOOMALL    Enter
```

Изометрический вид чертежа содержит три цепочки, соединенные друг с другом. Если смотреть слева направо, то это светло-желтая (цвет 12), светло-зеленая (цвет 13) и фиолетовая (цвет 14) окраски.

**Выбор поверхностей для обработки.** После ввода **INSERT TOOL PROFILE UNIONE** в командной строке появится сообщение:

```
Toolpath Name = pm3doc32.nc2.
```

**PROFILE** задает окончательное профилирование.

**UNIONE** (однонаправленное) фрезерование определяет, что инструмент режет только в одном направлении (с правой стороны цепочки по умолчанию).

Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки), после которого нужно выбрать правый конец фиолетовой цепочки (**d1**), означающий, что инструмент движется справа налево и находится на правой стороне цепочки, как требуется для **UNIONE** - резания. Затем следует выбрать светлую (цвет 13) (d2) и светло-желтую (цвет 12) цепочки (d3).

После нажатия **Enter** система рассчитает траекторию в соответствии с введенными параметрами:

```
INS TOOL PROF UNIO
```

```
Toolpath Name = pm3doc32.nc2 Indicate Surfaces to Machine d1 d2 d3
Enter
```

Инструмент совершает окончательное профилирование по цепочке, двигаясь справа налево ( рис. 28).



Рис. 28. Схема окончательного профилирования траектории по нескольким цепочкам

## 2.29. Как закрыть файл чертежа

Для закрытия файла чертежа необходимо ввести **EXIT** и нажать **Enter**. Далее следует еще раз нажать **Enter** в ответ на сообщение *filing name* (*<return> = pm3doc15*). Если не нужно сохранить этот чертеж, то ответьте **N** (нет) на запрос *Save(Y,N,^C)* (сохранить *Y* - да, *N* - нет, *^C* - отменить). Наконец, нажимают **Enter** в ответ на сообщение *Part Name* (*<return> to exit*).

**>>EXIT Enter**

*filing name* (*<return> = pm3doc15*) **Enter**

*Save(Y,N,^C)* **N**

*Part Name* (*<return> = to exit*)

Для вывода результатов проектирования на перфоленту для станков с ЧПУ необходимо воспользоваться командами и ключами, описанными в разделе 1.

### 3. ПРИМЕР АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

*Personal Mashinist* - универсальная многопрограммная система для получения управляющих программ для станков с ЧПУ. С её помощью можно смоделировать обработку математической модели изделия и визуализировать движение обрабатывающего инструмента. При этом можно внести коррекцию в траекторию движения инструмента, как всего, так и отдельных участков, когда возникают сомнения в правильности построения ее системой. Причём будет автоматически внесена коррекция на исправленные участки траектории движения инструмента. После этого получается уже откорректированная управляющая программа для станка с ЧПУ.

Для создания моделей и выполнения их обработки сначала необходимо войти в рабочую директорию *Personal Designer/Mashinist*(C:\PD6\USER). Затем в командной строке следует набрать команду запуска *Personal Mashinist*:

**PM <Enter>**

После этого можно выполнить сам процесс создания математических моделей, затем произвести ее обработку и получить управляющую программу для станка с ЧПУ.

Для примера обрабатываем деталь автомобиля. Как говорилось выше, *Personal Mashinist* может обрабатывать как целиком модель, так и её участок.

В открывшемся окне "*FILE NAME*" введите имя математической модели чертежа, например:

**LAKSO <Enter>**

Введите **INS TOOL ZROUGH BORDEROFF UNITWO STRCONT  
VARPASOFF AUTOZOFF BALLMILL TOOLD 30.0 : Toolpath Name =  
detail.nc2 Indicate Surfaces to Machine ... Enter Indicate Containment String ...  
Enter**

В этом примере значением по умолчанию принято *CONSRGH*. Вам нет необходимости набирать этот ключ в командной строке. При каждом проходе инструмента движется горизонтально до тех пор, пока не встретит поверхность. Затем он будет следовать по контуру поверхности. В конце каждого прохода инструмента автоматически отводится по оси Z на безопасное расстояние и переводится в плоскости XY в новую позицию для следующего прохода. Для того чтобы не выполнять операцию обработки с командной строки, нужно указать «мышью» на иконку с надписью SAM и щелкнуть по левой клавише. После этого иконка раскроется, и появятся меню иконок с надписями выполняемых ими операций (рис. 29).

В нашем примере нужно выбрать иконку с надписью **ROUGH** (предварительная обработка) (рис. 30). В свою очередь эта иконка раскроется в подменю, где производятся настройки параметров обрабатывающего инстру-

метода обработки и параметров шероховатости поверхности, которую мы хотим получить после обработки.

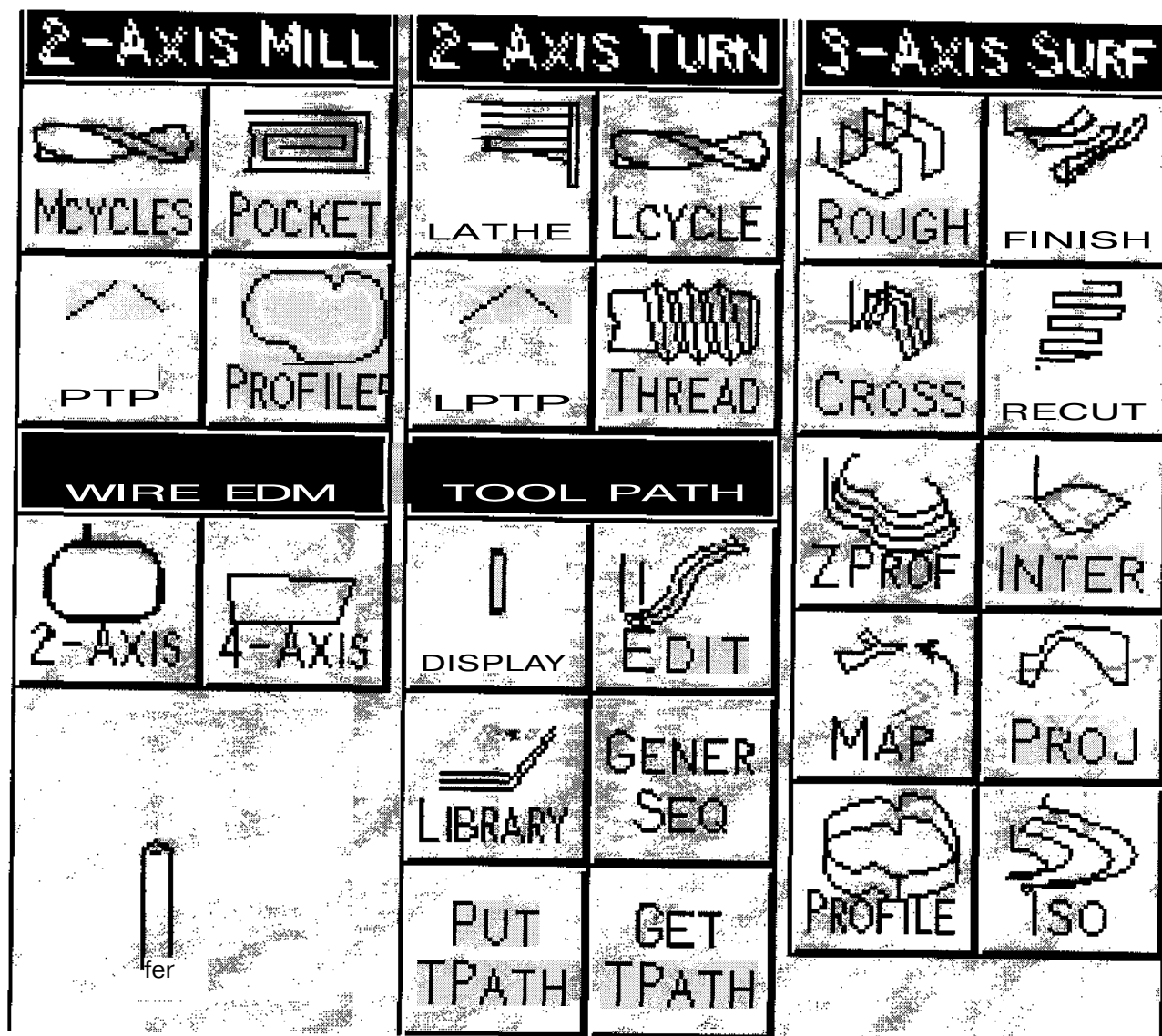


Рис. 29. Отображение иконок с надписями выполняемых операций

Укажем следующие ключи и параметры:

**AUTOMAT (Automatic Rough Material Delimitation)** (автоматическое определение границ заготовки) (по умолчанию), который вычисляет границы заготовки как наименьшего параллелепипеда, заключающего в себя обрабатываемую поверхность с припуском, равным удвоенному диаметру инструмента, прибавляемому со всех сторон поверхности (в плоскости XY) и по высоте поверхности, измеренной в наивысшей точке;

**BORDEROFF** определяет, что на поверхности не будут оставлены припуски. Траектория движения инструмента использует саму поверхность как границу;



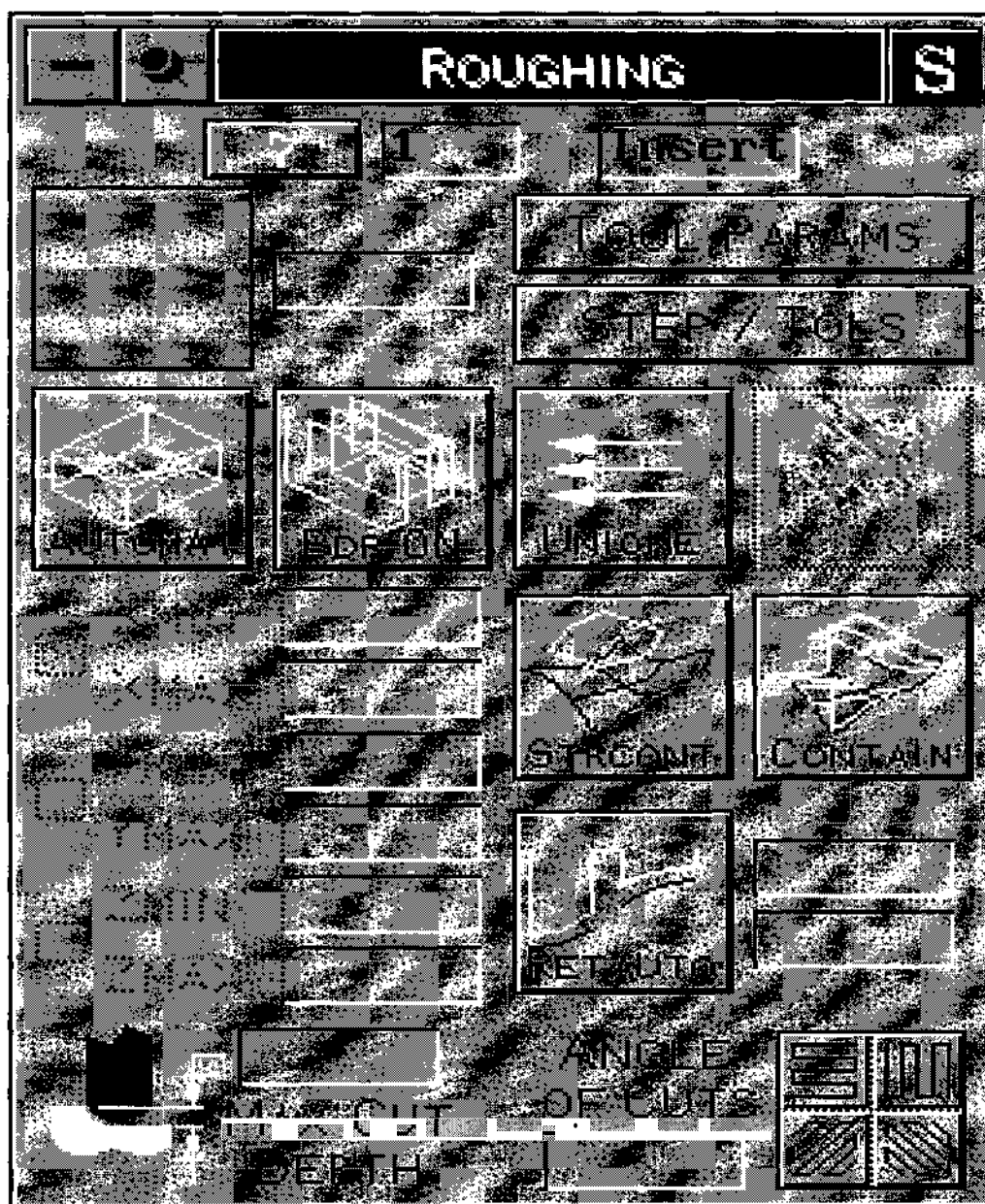


Рис. 30. Отображение меню для выбора ключей и параметров обработки заготовки

**UNITwo (Unidirectional, Climb).** Выбирает однонаправленный метод машинной обработки. Инструмент режет в одном направлении, автоматически отходя в плоскость безопасности по  $Z$ , и возвращается на противоположную сторону детали на расстояние, равное  $STEPOVER \cdot n$  от предыдущего разреза;

**ROLLOFF (Roll Over Function Off).** Выключает функцию перекрытия;

**STRCont (String Containment)** указывает системе, что нужно запросить цепочки, используемые для ограничения обработки. Цепочки должны быть двухмерными, плоскими, замкнутыми, без петель. Траектория инструмента полностью лежит внутри цепочки.

Для установки параметров режущего инструмента укажем на иконку **Tool Params**. В этом подменю выберем инструмент: **Ball Mill** - круглую концевую фрезу как тип инструмента (рис.31).

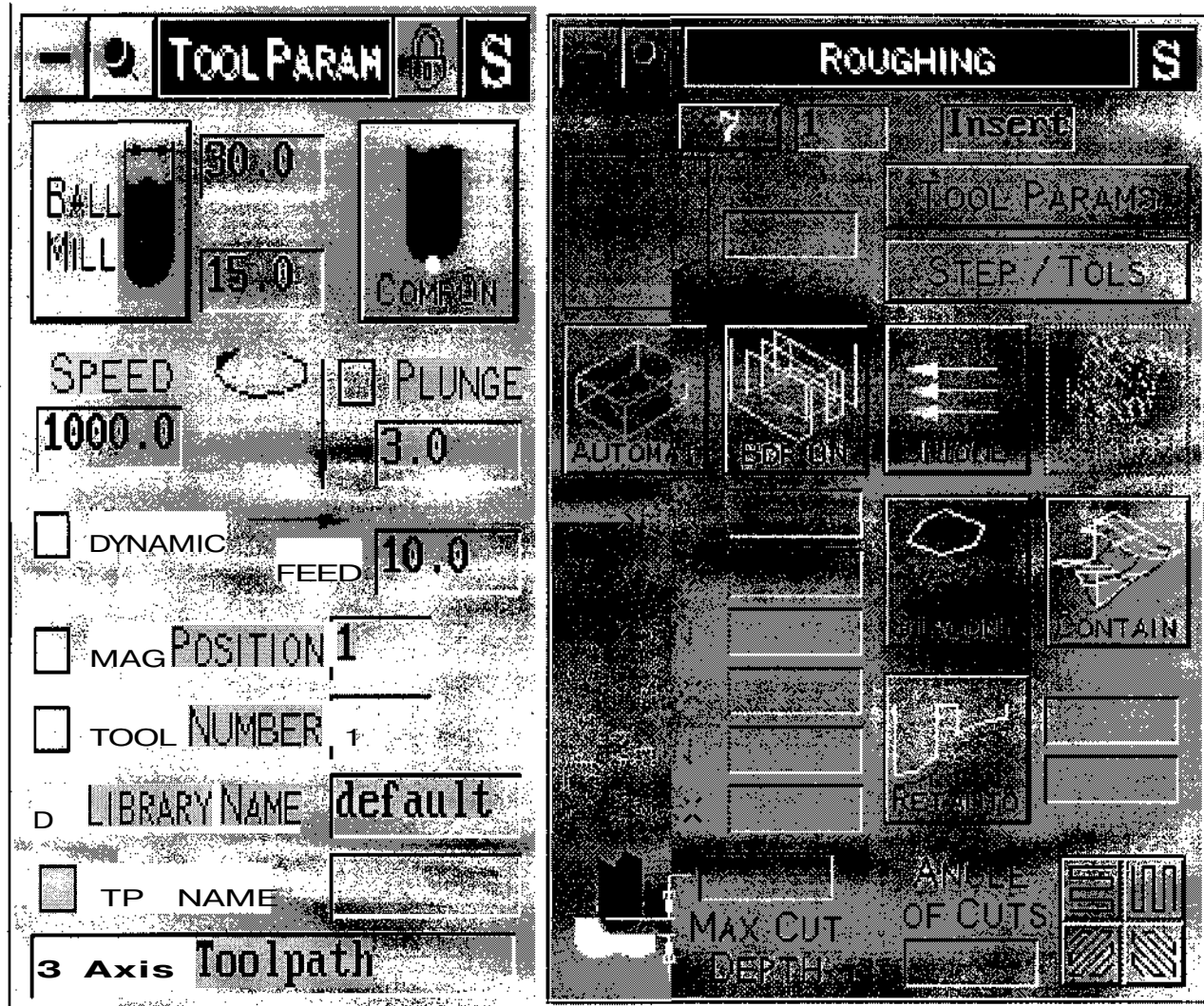


Рис. 31. Отображение меню для выбора параметров обработки и подменю выбора фрезы

**Tool Diam** - устанавливает диаметр фрезы: 30.0мм;

**COMPON (Tool Compensation On)** - включает компенсацию координат по инструменту). Вычисляет координаты траектории, делая поправку на диаметр инструмента. Вычисляет и вносит в файл на машинном языке станка с ЧПУ смещение относительно низа и центра режущего инструмента;

**SPEed 1000.** Задает скорость вращения режущего инструмента в оборотах в минуту;

**PLUnge n (Plunge Feed Rate) 3.0.** Задает подачу инструмента при врезании;

**FEED 10** (скорость передачи). Задает скорость перемещения инструмента.

Для задания параметров чистоты обработанной поверхности и точности, с какой она будет обработана, перейдем в подменю **STEP/TOOL** (рис. 32).

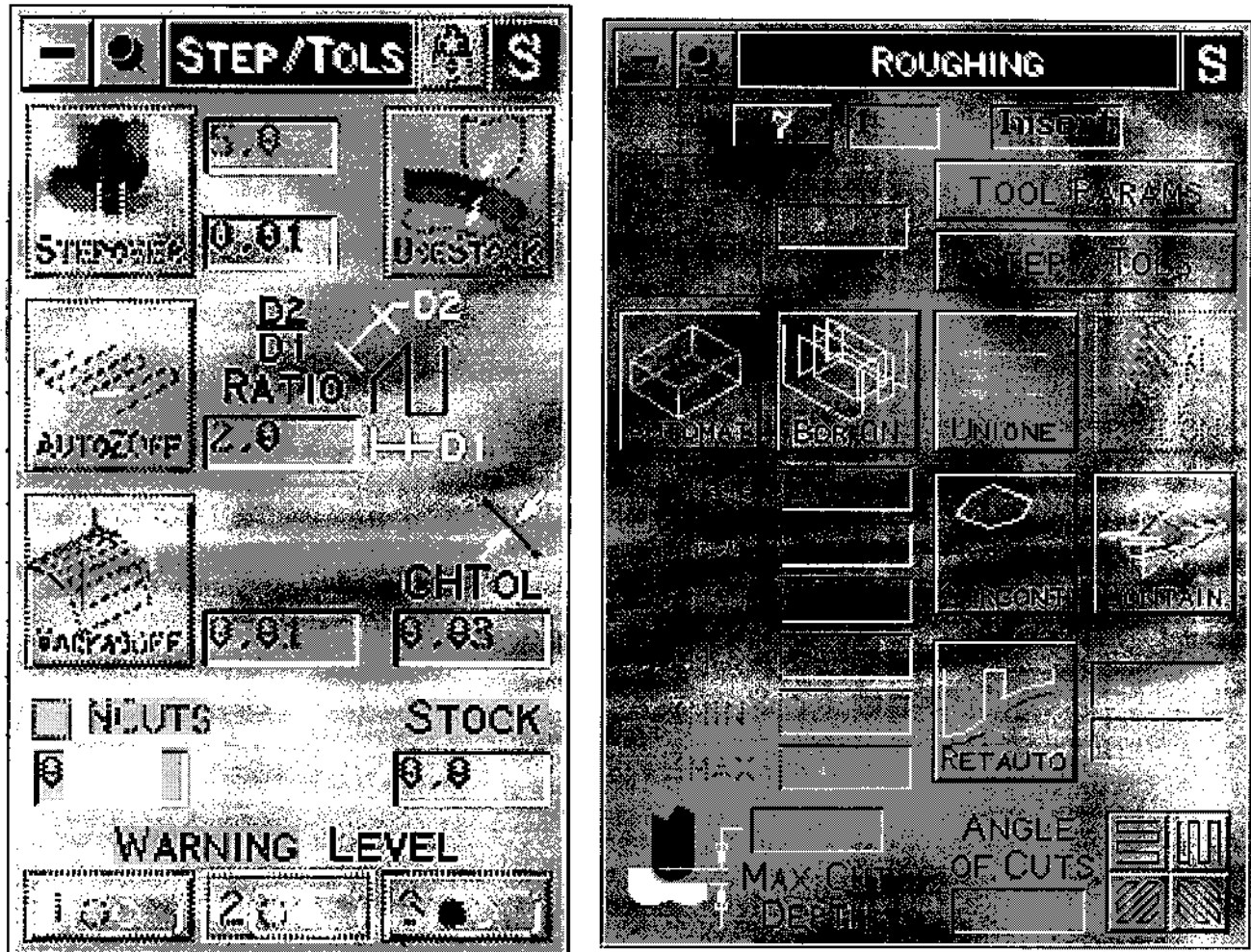


Рис. 32. Отображение меню для выбора параметров обработки и подменю параметров шероховатости и точности обрабатываемой поверхности

**STEPOVER n (Stepover) 10.0**. Задает расстояние между проходами инструмента по поверхности, называемое шагом (*stepover*). Вводится действительное число;

**AUTOZOFF (Automatic Z-Retract Off) AUTOZON (Automatic Z-Retract Between Cuts on)** Указывает системе, что нужно автоматически отводить инструмент на вычисленную системой плоскость безопасности Z, когда величина шага между 3-мя плоскостями превышает среднюю величину шага для данной траектории;

**VARPASSOFF (Variable Distances Between Passes Off)** - выключает переменный шаг между проходами). Шаг между врезаниями, как измеренный в плоскости XY, остается постоянным;

**CHTolerance<sub>n</sub> (Chord Height Tolerance) 0.03.** Задаёт величину допуска дуга/хорда в направлении резания.

**INS TOOL ZROUGH BORDEROFF UNITWO STRCONT VARPASOFF AUTOZOFF BALLMILL TOOLD 30.0 : Toolpath Name = detall.nc2 Indicate Surfaces to Machine ... Enter Indicate Containment String ... Enter**

Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Укажите поверхности, которые предназначены для обработки. Нажмите **Enter**. После этого система выдаст предложение-указать цепочку для ограничения обработки *Indicate Containment String*: укажите границы обработки. Нажмите **Enter**, и система рассчитает траекторию в соответствии с введенными ключами.

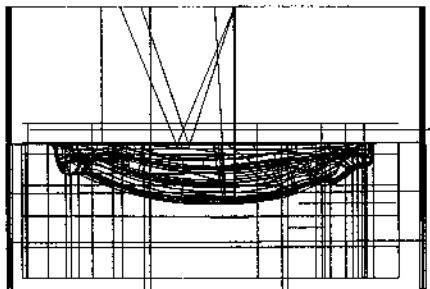
Результатом работы системы будет траектория движения инструмента, изображенная на рисунке 33.

В предыдущем примере осуществили предварительную обработку детали. Теперь необходимо обработать ее окончательно, то есть получить траекторию движения инструмента при окончательной обработке.

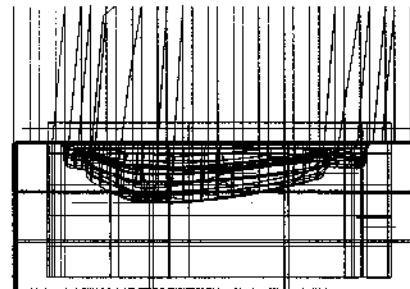
Введите **INS TOOL BORDEROFF UNITWO STRCONT VARPASOFF AUTOZOFF BALLMILL TOOLD 30.0 : Toolpath Name = detall.nc2 Indicate Surfaces to Machine ... Enter Indicate Containment String ... Enter**

Для того чтобы не выполнять операцию обработки с командной строки, нужно указать «мышью» на иконку с надписью CAM и щелкнуть по левой клавише. После этого иконка раскроется, и появятся другие иконки с надписями выполняемых ими операций (см. рис. 29).

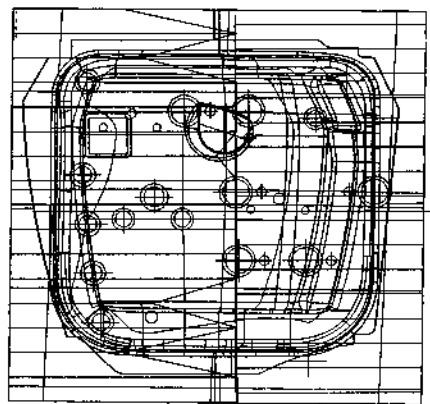
На этом шаге нужно выбрать иконку с надписью **FINISH** (окончательная обработка) (рис. 34).



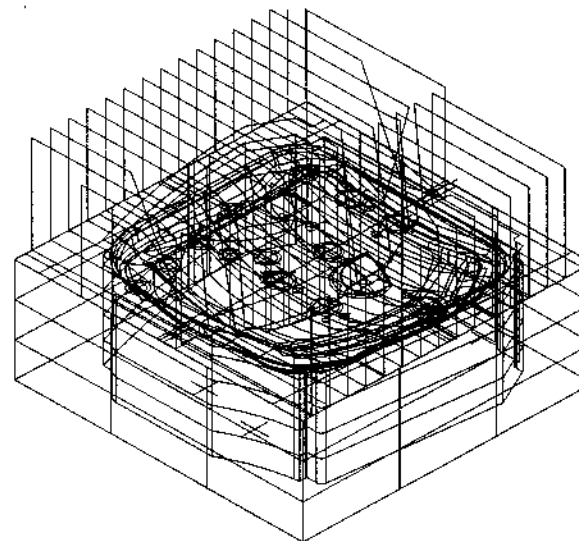
MV: 5 - CPL: 2 - SCL: 0.4



MV: 5 - CPL: 5 - SCL: 0.4



MV: 2 - CPL: 1 - SCL: 0.4



MV: 4 - CPL: 7 - SCL: 0.4

Рис. 33. Траектория движения инструмента при предварительном фрезеровании заготовки матрицы станка

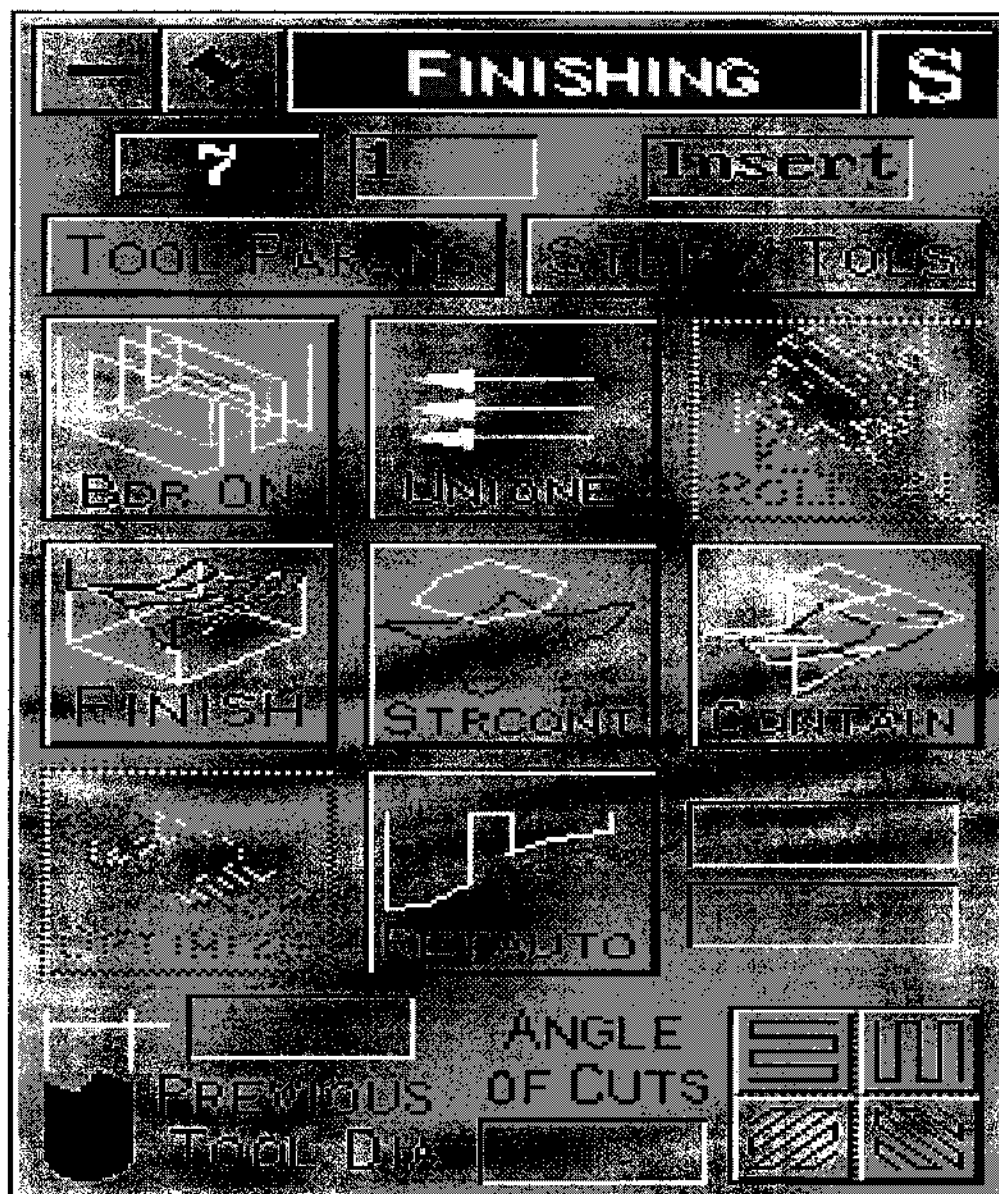


Рис. 34. Отображение меню при выборе ключей и параметров окончательной обработки

Для проведения окончательной обработки в нашем примере оставим все ключи без изменения, не будем также менять тип обрабатываемого инструмента и его геометрические характеристики. Изменим только шаг, т.е. сделаем расстояние между гребешками 5 мм (рис. 35).

```
INS TOOL BORDEROFF UNITWO STRCONT VARPASOFF
AVTOZOFF BALLMILL TOOLD 30.0 : Toolpath Name = detail.nc2 Indicate
Surfaces to Machine ... Enter Indicate Containment String ... Enter
```

Появляется сообщение *Indicate Surfaces to Machine* (определите поверхности для обработки). Укажите поверхности, которые предназначены для обработки. Нажмите **Enter**. После этого система выдаст предложение указать цепочку для ограничения обработки *Indicate Containment String*: укажите границы

обработки. Нажмите **Enter**, и система рассчитает траекторию в соответствии с введенными ключами.

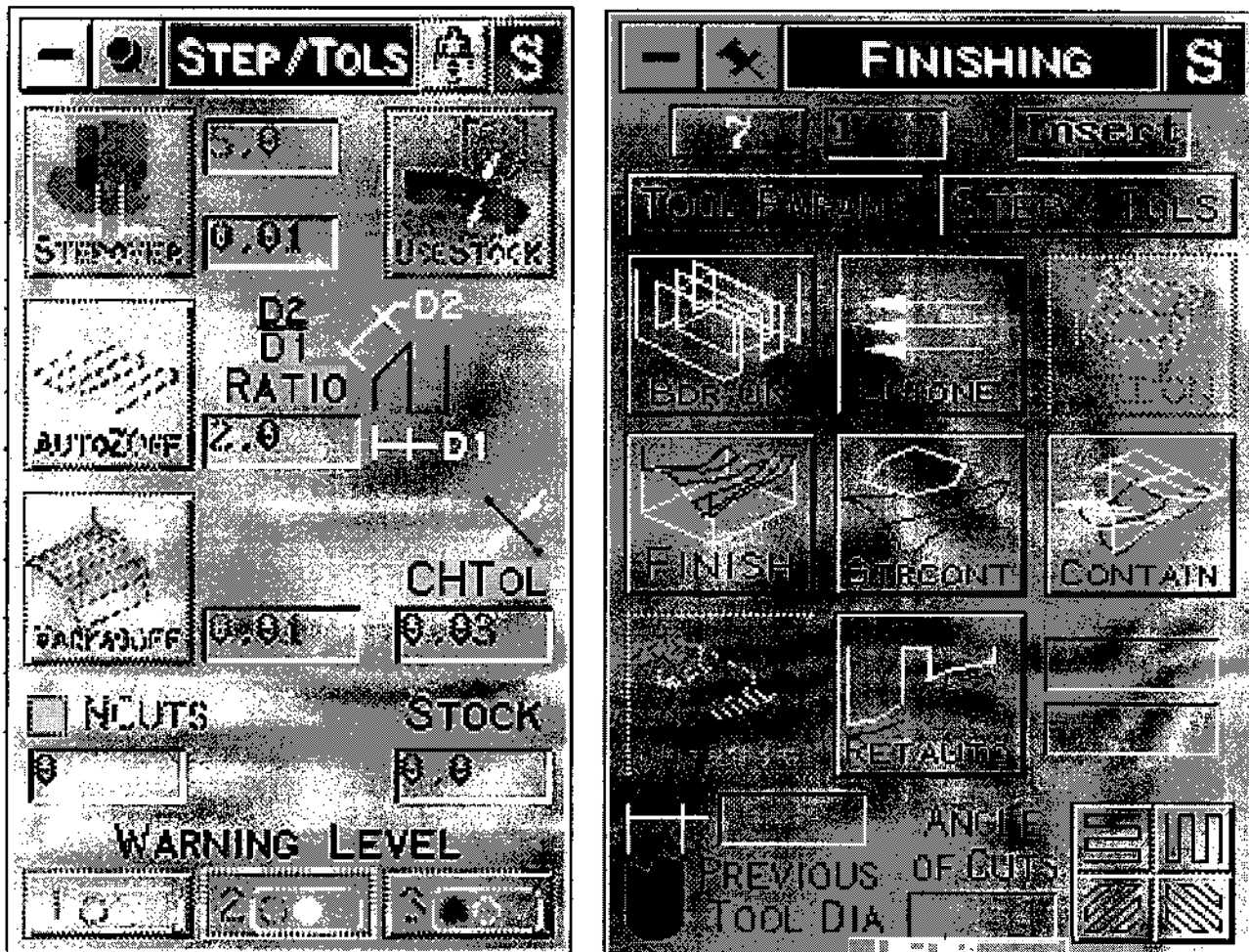


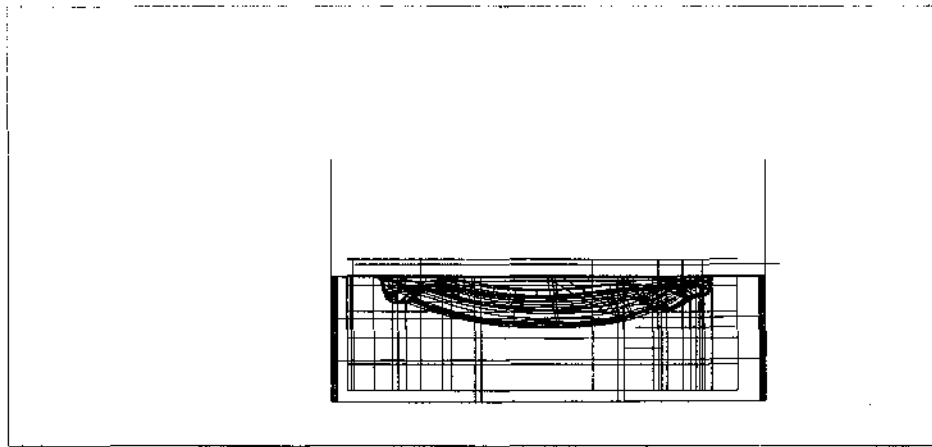
Рис. 35. Отображение иконки для выбора ключей и параметров обработки и подменю параметров шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей

Результатом работы системы будет траектория движения фрезы, изображенная на рисунке 36.

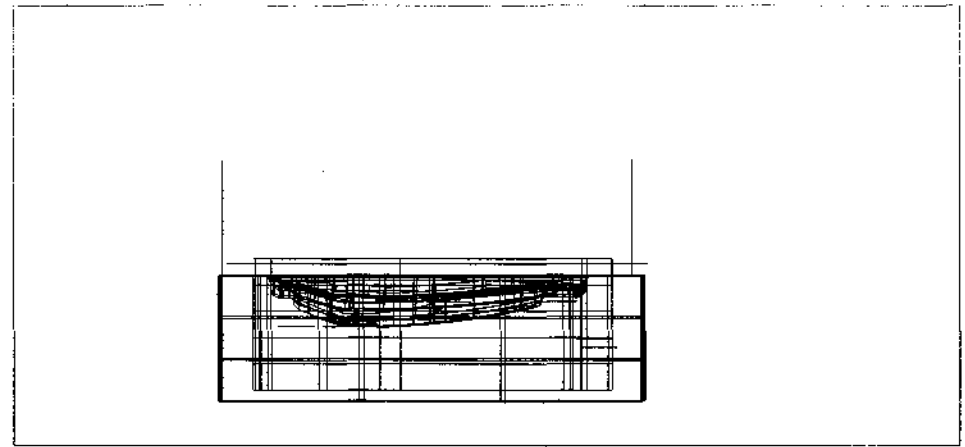
Далее рассмотрим пример, где будет рассмотрен процесс сверления.

Для того чтобы не выполнять операцию обработки с командной строки, нужно указать «мышью» на иконку с надписью **SAM** и щелкнуть по левой клавише. После этого иконка раскроется, и появятся другие иконки, с надписями выполняемых ими операций (см. рис.29).

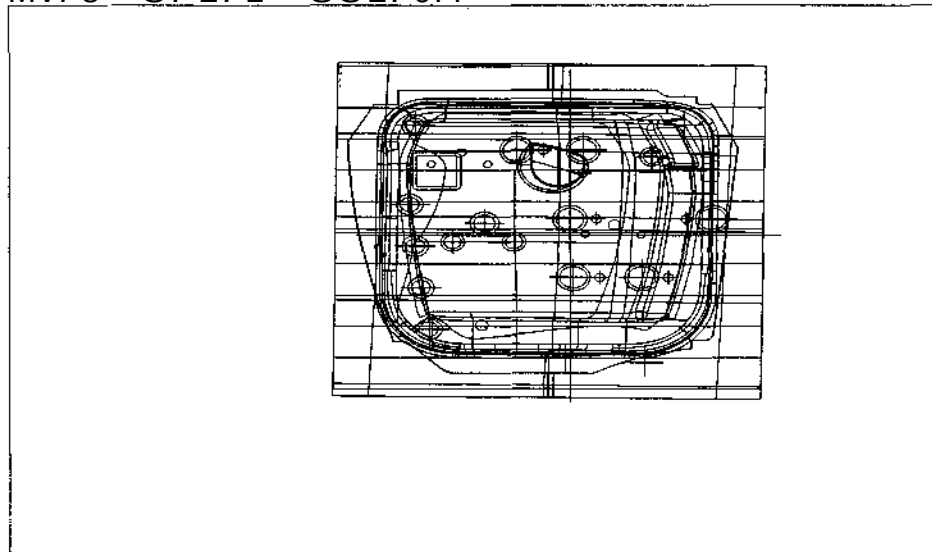
В нашем примере нужно выбрать иконку с надписью **MCYCLES** (сверление, выполняемое на сверлильных станках). В свою очередь эта иконка раскроется в подменю, где производятся настройки параметров обрабатываемого инструмента, метода обработки и параметров шероховатости поверхности, которую мы хотим получить после обработки. Результатом работы системы будет траектория движения сверла, изображенная на рис. 37.



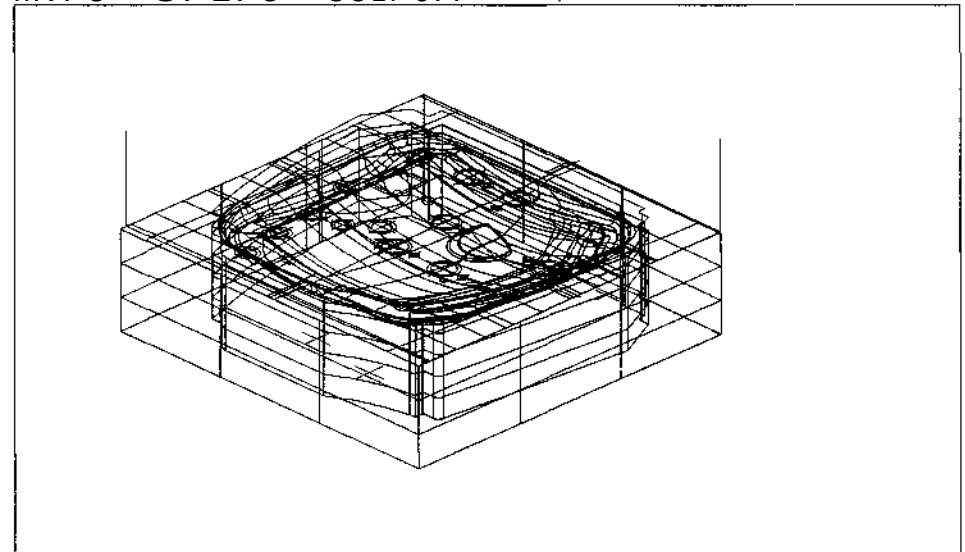
MV: 3 - CPL: 2 - SCL: 0.4



MV: 5 - CPL: 5 - SCL: 0.4



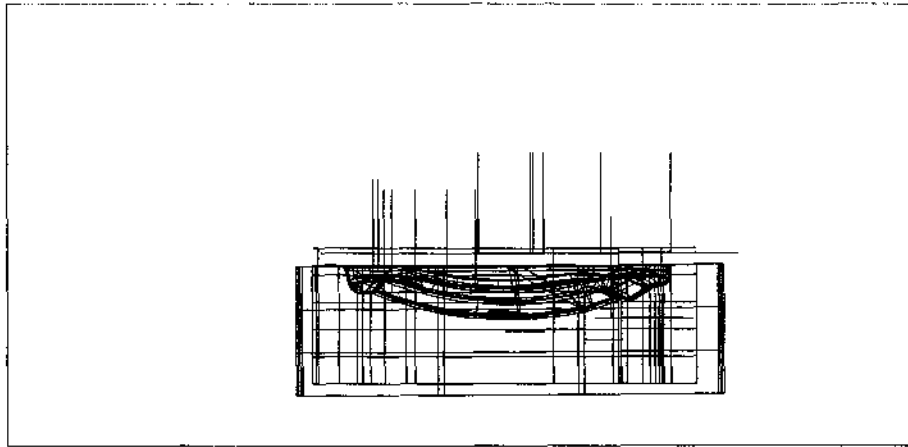
MV: 2 - CPL: 1 - SCL: 0.4



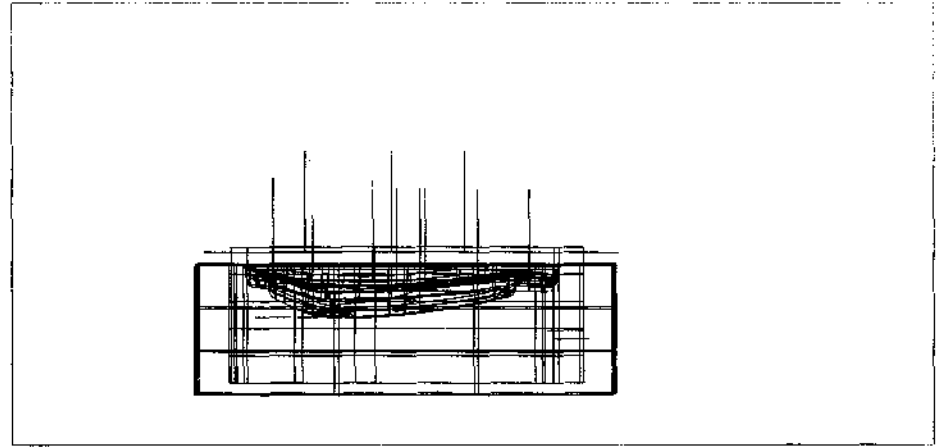
MV: 4 - CPL: 7 - SCL: 0.4

Рис. 36. Траектория движения инструмента при окончательной обработке заготовки матрицы штампа

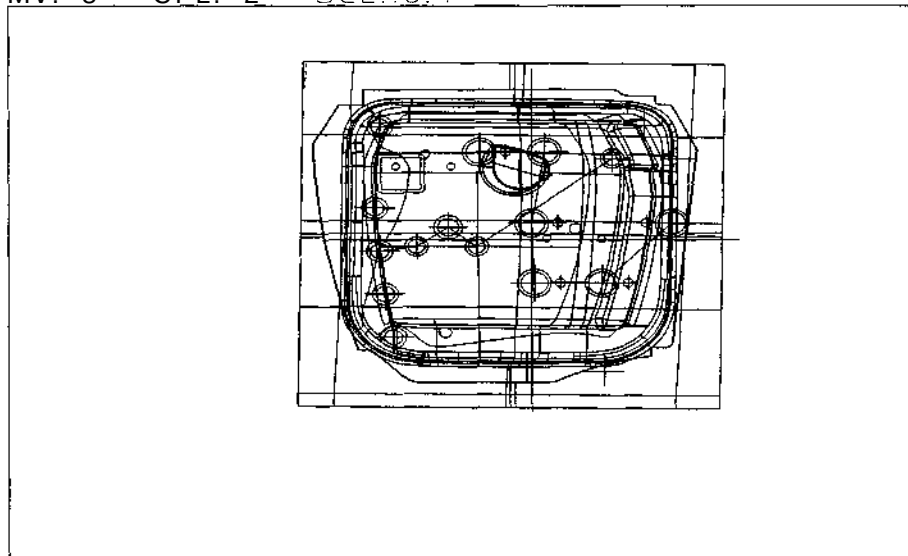




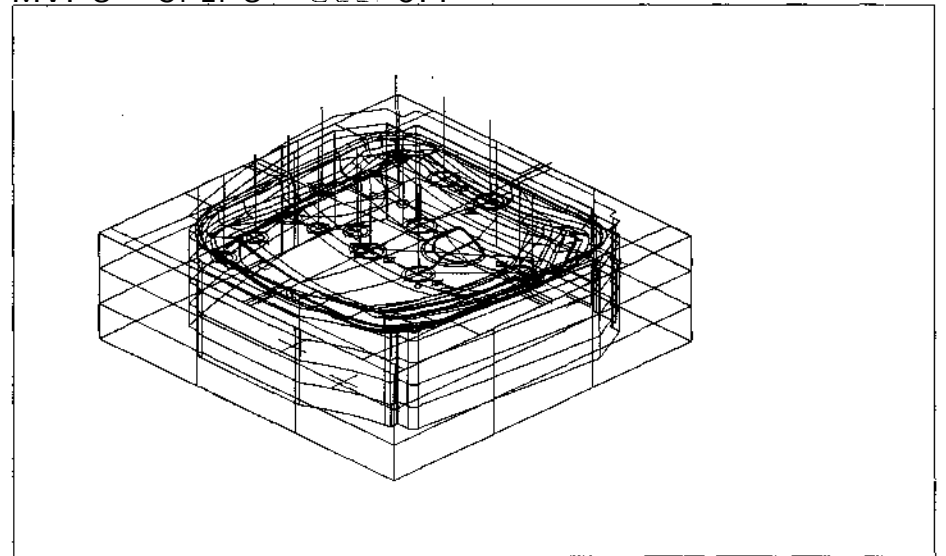
MV: 3 - CPL: 2 - SCL: 0.4



MV: 5 - CPL: 5 - SCL: 0.4



MV: 2 - CPL: 1 - SCL: 0.4



MV: 4 - CPL: 7 - SCL: 0.4

Рис. 37. Траектория движения инструмента при сверлении заготовки матрицы штампа

Наряду с командами создания траектории движения инструмента в *Personal Machinist* имеются команды, которые позволяют:

- редактировать существующую траекторию инструментов (**EDIT TOOLPATH**);
- создавать и редактировать библиотеку инструментов (**EDIT TLIBRARY**);
- динамически показывать движение инструмента по траектории (**DISPLAY TOOL**);
- изменять последовательность обработки (**GENERATE SEQUENCE**).

Все перечисленные команды находятся в меню CAM и представлены иконками с соответствующими надписями (см. рис. 29).

Команда редактирования траектории (**EDIT TOOLPATH**) позволяет редактировать или обновлять существующую траекторию инструмента при изменении ключей, с которыми определялась эта траектория. Эта команда работает так же, как и команда **INSERT TOOLPATCH**.

**EDIT TOOLPATH** *digitize toolpath* *d modifiers*: <Enter>

Можно создать сколько угодно библиотек инструментов, копируя библиотеку инструментов по умолчанию (**DEFAULT.TLB**) в файлы с другим именем. У каждой библиотеки имеется уникальное алфавитно-цифровое имя из восьми знаков и расширение **.TLB**. В каждой библиотеке может быть до 99 инструментов.

Команда **EDIT TLIBRARY** и любой текстовый редактор позволяют редактировать собственные библиотеки инструментов и задавать параметры, описывающие в библиотеке конкретный инструмент. Эти параметры задаются с помощью ключей.

**EDIT TLIBRARY** *modifiers* <Enter>

В соответствии с форматом **DEFAULT.TLB** строки, начинающиеся со звёздочки (\*), являются комментариями. Строки, содержащие данные об инструменте, должны начинаться с пробела.

Команда **DISPLAY TOOL** позволяет изображать инструмент в движении вдоль траектории инструмента. При этом можно управлять движением инструмента вручную или в автоматическом режиме по команде:

**DISPLAY TOOL** *modifiers*: <Enter>

Команда **GENERATE SEQUENCE** позволяет изменить последовательность обработки уже существующих траекторий инструментов при создании рабочего файла в указанной пользователем последовательности:

**GENERATE SEQUENCE** *modifiers* : *ent d1 a2 a3 ..*<Enter>

По результатам проектирования система *Personal Machinist* выдаёт программу с координатами траектории движения инструмента в формате CLDate, фрагмент которой представлен в следующем виде:

```

:
:
.....
G01 X-89.1709518 Y-73.5912247 Z50.0000000 F3.0000000
G01 X-89.1709518 Y-73.5912247 Z-6.1240263
G01 X-89.1709518 Y-73.5912247 Z-6.1240263 F10.0000000
G01 X72.1616135 Y-73.5912247 Z-5.2495909
G01 X72.3753052 Y-58.5912247 Z-5.2495909
G01 X28.4296284 Y-58.5912247 Z-5.4877796
G01 X20.2441368 Y-58.5912247 Z-5.5374775
G01 X13.0612192 Y-58.5912247 Z-5.5784473
G01 X5.8811650 Y-58.5912247 Z-5.6202564
G01 X-3.8560266 Y-58.5912247 Z-5.6746101
G01 X-5.1728945 Y-58.5912247 Z-5.6814489
G01 X-88.8860321 Y-58.5912247 Z-6.1240253
G01 X-88.8147964 Y-48.5912247 Z-6.1240253
G01 X-88.7435684 Y-43.5912247 Z-6.1240244
.....

```

Используя данные в формате CLData, получаем программу в координатах станка, фрагмент которой приведен ниже.

lakso03.LE0

%

N1G90G54

N2GOOX-89170Y-73590S125M13

N3G43D01Z50000

N4G01Z-6123F50

```

N5 X72162 Z-5249
N6 X72375 Y-58590
N7 X28430 Z-5487
N8 X20244 Z-5536
N9 X13061 Z-5577
N10 X5881 Z-5619
N11 X-3855 Z-5674
N12 X-5172 Z-5680
N13 X-88885 Z-6123
N14 X-88814 Y-48590

```

```

:
:
.....

```

Эти координаты можно записать на перфоленту или непосредственно передать с ЭВМ системе станка с ЧПУ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Personal Machinist 3-Axis. Revision 4.0.DOS - Extended Edition. USA: Computervision Corporation, 1993.
2. Проектирование технологических процессов обработки заготовок на станках с ЧПУ: Методические указания к лабораторным работам по курсам «Технологические основы ГАП» и «Технология автоматизированного машиностроения» /Сост. В.Ф. Гурьянихин, В.Г. Ромашкин, М.А. Белов. Ульяновск: УлПИ, 1990. 104 с.
3. Пиль Э.А. Технологическое обеспечение САПР ТП и УП на корпусные детали. St. Petersburg: ИТМО, 1993. 196 с.
4. Корчак С.Н., Кошин А.А., Ракович А.А. и др. Система автоматизированного проектирования технологических процессов приспособлений и режущих инструментов. М.: Машиностроение, 1988. 352 с.
5. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства / Под ред. Н.М. Капустина. М.: Машиностроение, 1979. 247 с.
6. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. 588 с.

Учебное издание

САМСОНОВ Юрий Иванович  
АНИСИМОВ Олег Николаевич  
КАРЕВ Евгений Алексеевич  
и др.

**Автоматизированное проектирование  
технологических процессов  
механической обработки заготовок  
на станках с ЧПУ  
Учебное пособие**

Редактор Н.А. Евдокимова

Изд. лиц. 020640 от 22.10.97. Подписано в печать 30.12.99.

Формат 60x84/16. Бумага писчая. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 4,89. Уч. -изд. л. 5,00. Тираж 200 экз.

Заказ 662.

Ульяновский государственный технический университет  
432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.