Программирование обработки на оборудовании с ЧПУ



#02

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

УДК 681.5
ББК 34.5-5
П78

Авторы:

Г.Б. Евгенев, А.Х. Хараджиев, А.В. Грошев, С.А. Мальков, В.А. Бурков, Н.В. Сергеев, Н.А. Романов

Рекомендовано Редакционно-издательским советом МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебника

Рецензенты:

Кафедра «Робототехники и мехатроники ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН» (заведующий кафедрой д-р техн. наук, профессор *Ю.В. Подураев*);
канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана *В.Б. Пясецкий*

Программирование обработки на оборудовании с ЧПУ : учебник : в 2 т. / П78 [Г. Б. Евгенев и др.] ; под ред. Г. Б. Евгенева и А. Х. Хараджиева. — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.

ISBN 978-5-7038-4906-4
Т. 2. — 356, [4] с. : ил.
ISBN 978-5-7038-4908-8

Изложены теоретические основы и практические методы программирования обработки на станках и роботах с ЧПУ в соответствии с профессиональной деятельностью бакалавров и инженеров по направлению обучения «Автоматизация технологических процессов и производств».

Приведены модель жизненного цикла изделий машиностроения, а также компьютерные модели изделий и технологических процессов машиностроения. Дано описание основных характеристик оборудования с ЧПУ, оснастки, систем ЧПУ и автоматизированного программирования.

Описаны физические принципы и методы программирования резки, наплавки, токарной, фрезерной, сверлильно-расточной и токарно-фрезерной обработок. Дано описание теории и практики программирования многокоординатной обработки и промышленных роботов, а также контрольно-измерительных машин.

Содержание учебника соответствует курсу лекций, читаемых в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 681.5
ББК 34.5-5

ISBN 978-5-7038-4908-8 (т. 2)
ISBN 978-5-7038-4906-4

© Оформление. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений 5
7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ 6
7.1. Процессы токарной обработки 6
7.2. Циклы токарной обработки 22
7.3. Программирование токарных операций 36
7.4. Настройка токарных операций 59
Вопросы для самопроверки 72
8. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОЙ И СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ 74
8.1. Процессы фрезерной и сверлильно-расточной обработки 74
8.2. Программирование фрезерной и сверлильно-расточной операций 111
8.3. Настройка переходов фрезерной и сверлильно-расточной обработки 164
Вопросы для самопроверки 227
9. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ 229
9.1. Алгоритм программирования и типы токарно-фрезерных станков 229
9.2. Формирование кинематической модели станка 231
9.3. Позиционирование детали 233
9.4. Точка смены инструмента 235
9.5. Позиционирование инструмента 236
9.6. Обработка с использованием противошпинделя 238
9.7. Многозадачная обработка 241
9.8. Пример программирования токарно-фрезерной обработки 244
Вопросы для самопроверки 249
10. ПРОГРАММИРОВАНИЕ МНОГОКООРДИНАТНОЙ ОБРАБОТКИ 250
10.1. Процесс пятикоординатной обработки 250
10.2. Виды многокоординатной обработки 256
10.3. Индексная пятикоординатная обработка 258
10.4. Четырехкоординатная обработка с применением цилиндрической интерполяции 259
10.5. Четырехкоординатная обработка с применением гравировки и выборки 260

10.6. Обработка типа 5D-контур 260
10.7. Пятикоординатная обработка вдоль изопараметрических линий поверхностей 262
10.8. Пятикоординатная обработка контура на поверхности 264
10.9. Пятикоординатная обработка боковой поверхностью фрезы ..266
10.10. Пятиосевая обработка по поверхностям 268
10.11. Ротационная обработка 273
10.12. Черновая ротационная обработка 280
10.13. Морфинг 282
10.14. Пятикоординатное пиление 285
Вопросы для самопроверки 287

11. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ 288
11.1. Концептуальная модель робототехнологических комплексов 288
11.2. Процессы обработки на робототехнологических комплексах 295
11.3. Программирование обработки с использованием роботов 296
Вопросы для самопроверки 306

12. ПРОГРАММИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН 307
12.1. Технические измерения в машиностроении 307
12.2. Современные методы контроля 312
12.3. Координатно-измерительные системы 315
12.4. Основной принцип работы координатно-измерительных машин 317
12.5. Применение координатно-измерительных машин с возможностью механического сканирования 321
12.6. Стационарные и мобильные координатно-измерительные машины 323
12.7. Программное обеспечение и обработка данных 324
12.8. Методы и оборудование для бесконтактного сканирования ...326
12.9. Применение 3D-сканирования при контроле отклонений в производстве 327
12.10. Лазерно-оптические системы 331
12.11. Голографические системы 332
12.12. Фотограмметрические системы 334
12.13. Ультразвуковые системы контроля и измерений 337
Вопросы для самопроверки 338
Литература 339
Приложение. Задачи для самостоятельного решения 340
Предметный указатель 353

7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

7.1. Процессы токарной обработки

При механической обработке процесс резания подобен процессу расклинивания, а рабочая часть режущих инструментов — клину (рис. 7.1).

При действии усилия *P* на резец его режущая кромка врезается в заготовку, а передняя поверхность, непрерывно сжимая лежащий впереди слой металла и преодолевая силы сцепления его частиц, отделяет их от основной массы в виде стружки. Слой металла, срезаемый при обработке, называется ***припуском***.

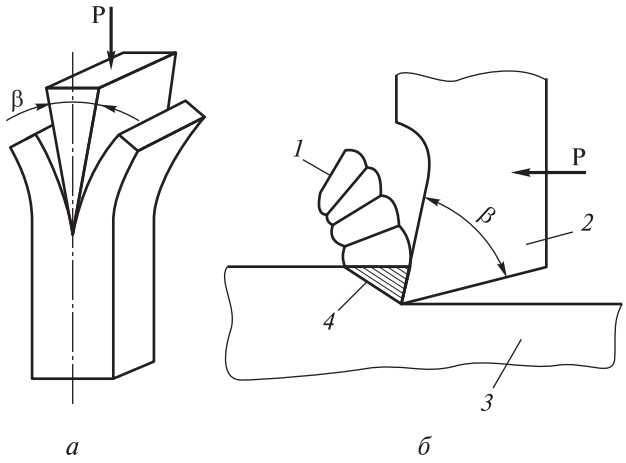


Рис. 7.1. Схемы работы клина (*а*) и резца (*б*):
1 — стружка; *2* — резец; *3* — заготовка; *4* — припуск

Суть процесса токарной обработки заключается в формировании поверхностей вращения инструментом с одной режущей кромкой, при этом, как правило, происходит вращение заготовки и перемещение резца (рис. 7.2).

Конфигурация токарных резцов, применяемых на станках с ЧПУ, непосредственно не определяет форму обрабатываемой поверхности. Поэтому при формообразовании используется движение не по одной, а по двум согласованным осям станка: продольной — вдоль оси вращения обрабаты-

ваемой детали и поперечной — перпендикулярной к оси вращения детали. Первая ось станка обозначается *Z*, вторая — *X*.

В связи со спецификой конфигурации обрабатываемых объектов, представляющих собой тела вращения, геометрические расчеты при программировании токарной обработки сводятся к решению задач на плоскости в осевом сечении. Осями системы координат детали, в которой выполняются расчеты, являются ось *X*, совпадающая с осью вращения детали, и ось *Y*, лежащая, как правило, в одной из торцовых плоскостей.

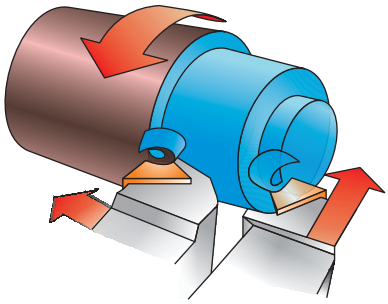


Рис. 7.2. Схема продольного и поперечного точения (обозначены стрелками)

На рис. 7.3 представлены типы токарных резцов, используемых для выполнения различных переходов: *1* — резцы проходные отогнутые правые с главным углом в плане φ = 45° для обработки габаритных ступеней и торцов, снятия фасок; *2* — резцы контурные чистовые (φ = 93°...95°) для обработки наружных ступеней; *3* — резцы контурные (φ = 63°) для обработки фасонных поверхностей; *4* — резцы резьбовые для наружных резьб с шагом 2...6 мм; *5* — резцы резьбовые для внутренних резьб с шагом до 2 мм; *6* — резцы расточные проходные-подрезные (φ = 95°) для обработки ступеней отверстий; *7* — резцы расточные проходные (φ < 90°) для отверстий диаметром от 22 мм; *8* — резцы проходные-подрезные (φ = 45°) для обработки габаритных торцов и ступеней; *9* — резцы для проточки наружных прямых канавок шириной 1...6 мм и глубиной, равной ширине; *10* — резцы контурные (φ = 93°) для фасонных наружных поверхностей; *11* — резцы контур-

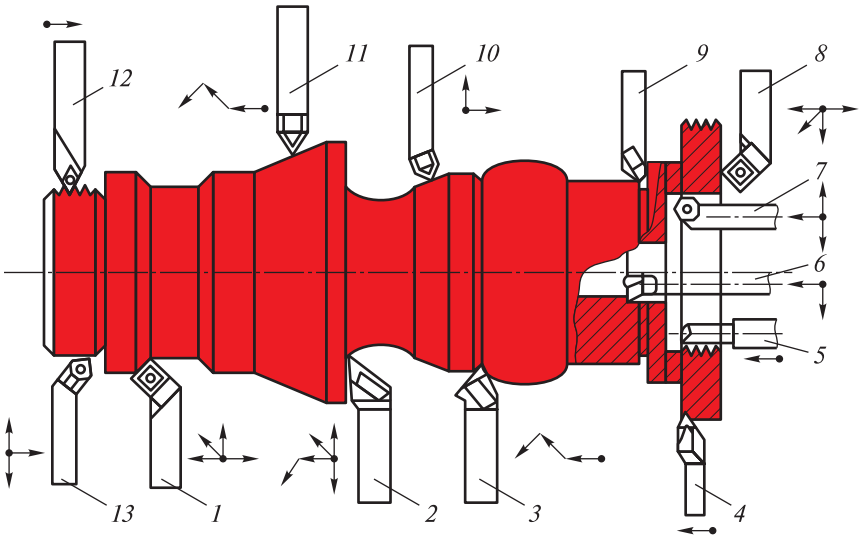


Рис. 7.3. Типы резцов, применяемых для обработки на токарных станках с ЧПУ

ные чистовые (φ = 63°) для фасонных наружных поверхностей; *12* — резцы резьбовые для нарезания наружных резьб с шагом до 2 мм; *13* — резцы проходные упорные (φ = 93...95°) для наружных ступеней с движением от наружного диаметра к оси детали.

При проектировании токарных операций на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), как и во всех других случаях проектирования, необходимо решать две взаимосвязанные задачи: структурного и параметрического синтеза. Структурный синтез заключается в определении последовательности переходов в операции. Он состоит из двух этапов: определение последовательности переходов обработки каждого элемента формы детали; упорядочение этих переходов для формирования структуры операции.

Таблица 7.1

Квалитеты точности и значения параметра *Ra* для токарной обработки

Переход	Заготовка				Деталь			
	IT_{min}	IT_{max}	Ra_{min}	Ra_{max}	IT_{min}	IT_{max}	Ra_{min}	Ra_{max}
Обработка наружных цилиндрических поверхностей								
Точение черновое	15	17	80	100	14	14	100	100
Точение получистовое	14	15	40	80	12	13	20	80
Точение чистовое	12	13	20	40	9	11	2,5	20
Точение отделочное	8	9	1,25	5	7	8	0,63	2,5
Обработка внутренних цилиндрических поверхностей								
Сверление	15	17	80	100	12	13	20	80
Рассверливание	13	17	20	100	11	12	2,5	20
Растачивание черновое	15	17	40	100	13	14	40	100
Растачивание получистовое	13	14	40	80	11	12	10	40
Растачивание чистовое	11	12	10	40	9	10	2,5	10

Последовательность переходов обработки каждого элемента формы детали зависит от состояния заготовки и требований чертежа детали. Эта последовательность назначается в соответствии с табл. 7.1. При этом она

может изменяться в зависимости от качества инструмента. Например, при использовании качественных сверл может быть получен 8 квалитет.

Переходы объединяются в стадии обработки: черновая (14 квалитет), получистовая (12...13 квалитеты), чистовая (9...11), отделочная (7...8), доводочная (5...6).

Для переходов каждой последующей стадии должен быть оставлен припуск, значение которого зависит от обрабатываемого размера и его квалитета (табл. 7.2). Например, при исполняемом размере до 18 мм включительно при необходимости получения точности 12 квалитета под черновую обработку необходимо оставить припуск 1,9 мм на сторону. Это компонент параметрического синтеза, в который входят также режимы обработки.

Таблица 7.2

Припуски для токарной обработки

Исполняемый размер, мм		Токарная обработка			
		черновая	получистовая	чистовая	отделочная
(0,18]	[5,6]	3,55	3,15	0,75	0,35
	[7,8]	3,2	2,8	0,4	0
	[9,11]	2,8	1,0	0	0
	[12,13]	1,9	0	0	0
(18,30]	[5,6]	3,95	1,95	0,75	0,35
	[7,8]	3,6	1,6	0,4	0
	[9,11]	3,2	1,2	0	0
	[12,13]	2,0	0	0	0
(30,50]	[5,6]	5,1	2,5	1,1	0,5
	[7,8]	4,6	2,0	0,6	0
	[9,11]	4,0	1,4	0	0
	[12,13]	2,6	0	0	0
(50,80]	[5,6]	5,75	2,75	1,15	0,55
	[7,8]	5,2	2,2	0,6	0
	[9,11]	4,6	1,6	0	0
	[12,13]	3,0	0	0	0

Окончание табл. 7.2

Исполняемый размер, мм		Токарная обработка			
		черновая	получистовая	чистовая	отделочная
(80,120]	[5,6]	6,35	2,95	1,15	0,55
	[7,8]	5,8	2,4	0,6	0
	[9,11]	5,2	1,8	0	0
	[12,13]	3,4	0	0	0

Примечание. Круглые скобки — исполняемый размер не входит в приведенный диапазон значений, квадратные — входят.

Основные параметры режимов резания при токарной обработке (рис. 7.4) приведены ниже.

Частота вращения шпинделя n (об/мин).

Скорость резания v_c (м/мин) — скорость, с которой режущая кромка движется по поверхности заготовки.

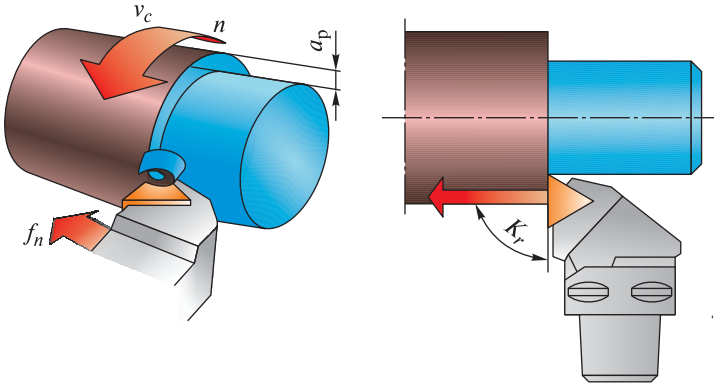


Рис. 7.4. Параметры режимов резания

На современных станках с ЧПУ для сохранения постоянной скорости резания предусмотрена возможность соответственного изменения частоты вращения шпинделя. Но при обработке очень маленьких диаметров и при максимальном приближении к оси заготовки это компенсация будет неосуществима, так как диапазон скоростей станка ограничен. В том случае, если заготовка имеет перепады диаметров, конусную или криволинейную поверхность, скорость резания необходимо назначать с учетом этих изменений.

Подача f_n (мм/об) — линейное перемещение инструмента за один оборот детали.

Подача оказывает большое влияние на качество обработанной поверхности, а также на процесс стружкообразования. Она определяет не только толщину стружки, но и ее форму в соответствии с геометрией пластины.

Глубина резания a_p (мм) — половина разности обрабатываемого и обработанного диаметров.

Глубина резания всегда измеряется в направлении, перпендикулярном направлению подачи инструмента.

Главный угол в плане k_r — угол, под которым режущая кромка подходит к детали.

Он измеряется между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи и является важной величиной, определяющей выбор токарного инструмента. Оказывает влияние на формообразование стружки, направление сил резания, длину контакта режущей кромки с деталью и возможности инструмента выполнять те или иные виды обработки.

При обработке металла резанием необходимо не только получить деталь определенной формы, размера и требуемого качества обработанной поверхности, но и обеспечить образование короткой, легко транспортируемой стружки.

Это особенно важно при высоких режимах обработки на современных станках с ЧПУ, когда в единицу времени образуется большой объем стружки и необходимо обеспечить безостановочную работу оборудования, безопасность оператора и не допустить повреждения обрабатываемой детали. На рис. 7.5 представлена форма стружки, получаемой при чистовой (рис. 7.5, *а*) и черновой (рис. 7.5, *б*) обработке.



а *б*

Рис. 7.5. Форма стружки при чистовой (*а*) и черновой (*б*) обработке

Форма стружки зависит от глубины резания, главного угла в плане, подачи, обрабатываемого материала, геометрии инструмента и радиуса при вершине пластины (рис. 7.6).

Способ стружколомания частично зависит от геометрии пластины и инструмента и от режимов резания. Любой из видов стружколомания может приводить к нежелательным последствиям, но их можно избежать, выбрав соответствующие геометрию и параметры режима обработки.

Рабочая область режущего инструмента (рис. 7.7, *а*) определяется сочетанием подачи f_n и глубины резания a_p, обеспечивающим удовлетворительное стружколомание (рис. 7.7, *б*, I).

Вследствие множества ограничений при расточке для стабильности процесса резания операции растачивания требуют тщательного подхода и де-

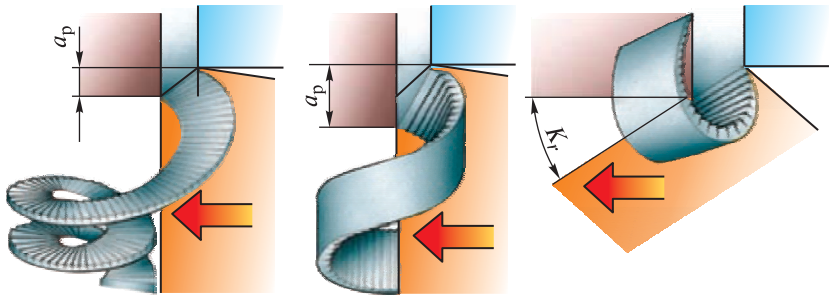


Рис. 7.6. Формирование стружки:
а — сливной; *б* — с ломкой об инструмент; *в* — с ломкой о деталь

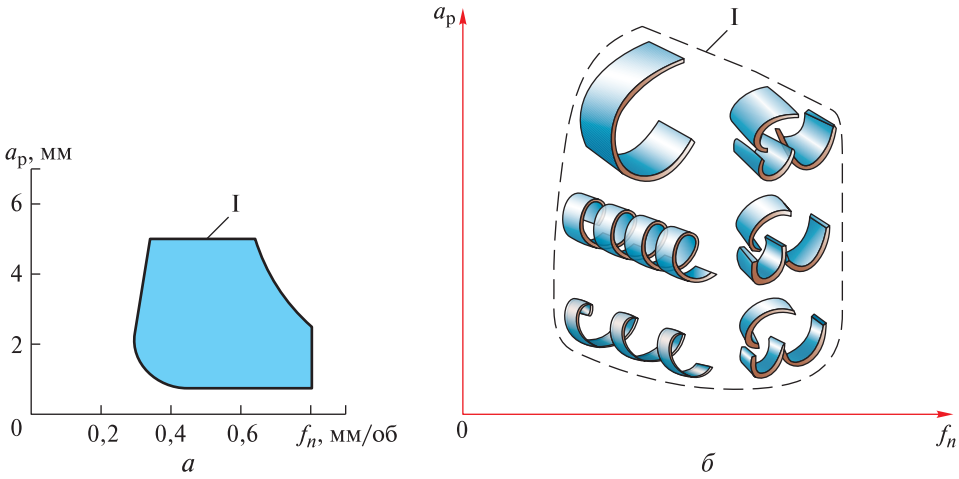


Рис. 7.7. Рабочая область режущего инструмента (*а*) и форма стружки, образующаяся в ней (*б*)

тальной проработки. Правильный выбор расточной оправки, ее соответствующее закрепление и использование могут уменьшить риск возникновения вибраций и нежелательных отклонений инструмента и, как следствие, обеспечить хорошее качество обработанного отверстия.

В процессе обработки тангенциальная F_t и радиальная F_r составляющие силы резания стремятся отжать инструмент от заготовки (рис. 7.8). В результате действия тангенциальной составляющей силы резания инструмент смещается ниже линии центров, тем самым уменьшая задний угол. Это особенно важно при обработке отверстий небольшого диаметра, когда пластина должна иметь значительный задний угол, чтобы исключить контакт с поверхностью обработанного отверстия. Отклонение под действием радиальной силы означает уменьшение глубины резания и толщины стружки, что может привести к вибрации.

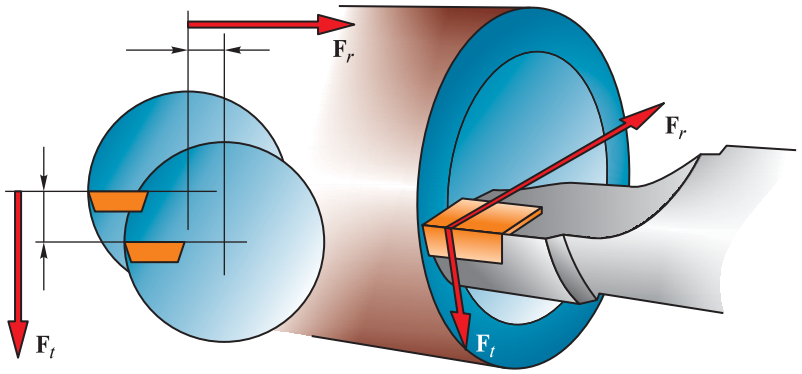


Рис. 7.8. Силы при растачивании

Жесткость инструмента и его крепления будут определять значение и степень возрастания вибраций при растачивании. Геометрия пластины имеет существенное значение при выборе инструмента для растачивания, поскольку положительные передние углы вызывают низкие тангенциальные силы.

Главный угол в плане влияет на направление и значения осевой и радиальной составляющих силы резания и на результирующее отклонение от этих сил (рис. 7.9). Большой угол в плане вызывает значительную осевую силу, а результатом выбора небольшого угла является увеличение силы, дей-

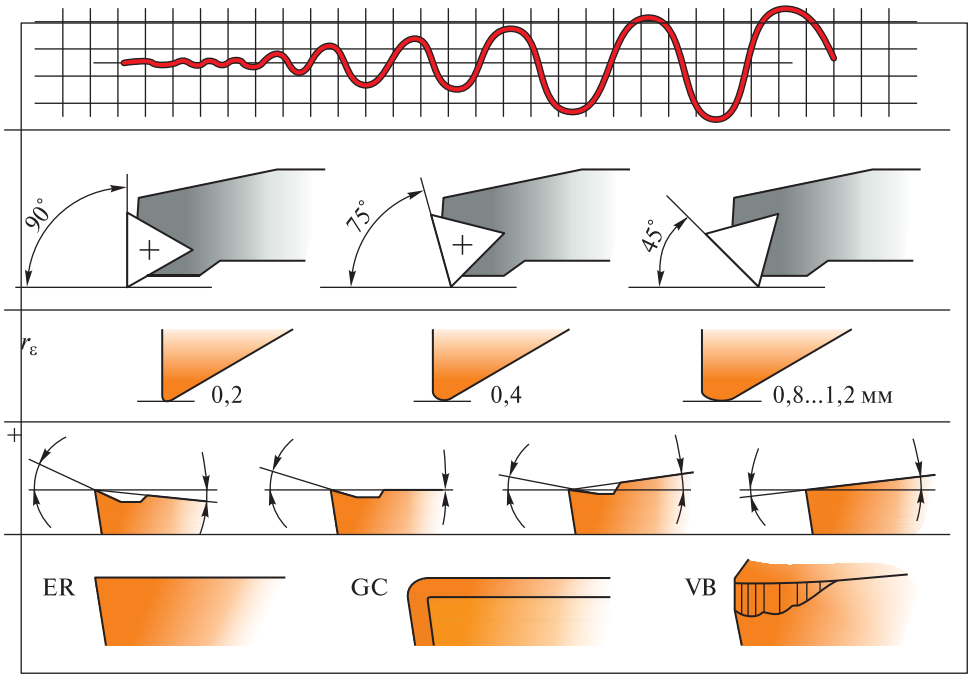


Рис. 7.9. Влияние параметров иструмента на вибрацию при растачивании

ствующей в радиальном направлении. Однако воздействие осевой силы на процесс резания, как правило, невелико, так как она направлена по оси расточной оправки. Поэтому преимущественно выбирают большой главный угол в плане. Рекомендуется выбирать его близким к 90° и не менее 75°, когда начинается интенсивный рост радиальной силы резания.

Большое значение радиуса при вершине пластины (см. рис. 7.9) вызывает увеличение радиальной и тангенциальной составляющих сил резания и повышение склонности к вибрациям.

На радиальное отклонение инструмента даже большее влияние будет оказывать соотношение глубины резания и радиуса при вершине пластины. Чем меньше это отношение, тем больше будет радиальная составляющая силы. Когда радиус при вершине равен или больше глубины резания, радиальное смещение инструмента будет определяться главным углом в плане.

На практике рекомендуется выбирать радиус при вершине пластины немного больше глубины резания. В этом случае радиальная составляющая силы резания будет минимальной. В то же время больший радиус при вершине обеспечивает прочность режущего клина и низкую шероховатость поверхности, но вызывает повышенное давление на режущую кромку.

Радиус скругления режущей кромки (ER) также оказывает влияние на силу резания (см. рис. 7.9). Пластины без покрытия имеют меньший радиус скругления, чем пластины с покрытием (GC), что особенно важно учитывать при обработке глубоких отверстий небольшого диаметра. Значительный износ по задней поверхности (VB) изменяет угол между инструментом и отверстием заготовки и тоже может стать причиной, негативно влияющей на процесс растачивания.

Удаление стружки при расточке является определяющим фактором производительности и надежности процесса обработки.

Цель оптимизации режимов резания при внутренней обработке состоит в получении относительно короткой спиралевидной стружки. Она легко эвакуируется из зоны обработки и не создает значительной нагрузки на режущую кромку, которая возникает при интенсивном стружколомании. С одной стороны, сильно деформированная мелкая стружка вызывает колебания сил резания, что может стать причиной вибраций и потребует больших затрат мощности. С другой стороны, длинная сливная стружка плохо удаляется из зоны обработки, что может привести к ее пакетированию.

Обеспечение свободного вывода стружки также является критическим фактором, особенно при обработке глубоких отверстий. На практике центробежные силы прижимают стружку к стенкам отверстия и она не выводится из отверстия. Если оставшаяся в отверстии стружка окажется зажатой между инструментом и стенкой отверстия, это может стать причиной задиров на обработанной поверхности или привести к поломке инструмента.

Поэтому рекомендуется всегда использовать расточные оправки с внутренним подводом смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Поток СОЖ эффективно вымывает стружку из отверстия. Вместо СОЖ также может быть успешно использован сжатый воздух.

Цель операции отрезки — эффективно и надежно отделить одну деталь от другой. Операция отрезки проводится путем врезания по радиусу детали

на глубину половины диаметра. При обработке канавок общий принцип тот же, отличие заключается в глубине врезания инструмента — он никогда не доходит до центра заготовки.

При отрезке с обоих сторон инструмента находится материал заготовки, и режущая кромка обычно очень узкая, т. е. инструмент работает в стесненных условиях. Все это предъявляет особые требования к надежности, жесткости и функциональным возможностям инструмента. Когда инструмент приближается к центру детали при постоянной частоте вращения шпинделя, скорость резания снижается и достигает нулевого значения на оси детали. В станках с ЧПУ частота вращения шпинделя растет при приближении инструмента к центру детали. Любое снижение скорости резания негативно влияет на режущую кромку вследствие возрастающего на нее давления.

Одной из важнейших проблем при отрезке является удаление стружки. Очень сложно обеспечить ломание стружки при значительном углублении резца в заготовку, поэтому основной задачей является надежное удаление стружки без надиров на обработанной поверхности, которая решается за счет геометрии передней поверхности режущей пластины. При плохом отводе стружки возможно значительное ухудшение шероховатости обработанной поверхности и пакетирование стружки, ведущее к поломке резца.

Основными параметрами режимов резания при отрезке и обработке канавок (рис. 7.10) являются:

- скорость резания (v_c) — окружная скорость в рассматриваемой точке режущей кромки или заготовки;
- частота вращения шпинделя (n);
- радиальная подача по направлению к оси детали (f_{nx});
- глубина радиального врезания инструмента (a_r) — расстояние от наружного диаметра до центра или дна канавки.

При отрезке приняты следующие рекомендации по выбору инструмента для уменьшения отжима инструмента и снижения склонности к возникновению вибраций:

- державка или отрезное лезвие с минимально возможным вылетом;
- державка с максимально возможным диаметром хвостовика;
- отрезное лезвие или державка с максимально возможным размером гнезда под пластину;
- высота отрезного лезвия должна быть не меньше длины пластины.

Вылет инструмента не должен превышать восьми размеров ширины пластины. Выбор ширины пластины — это компромисс между проч-

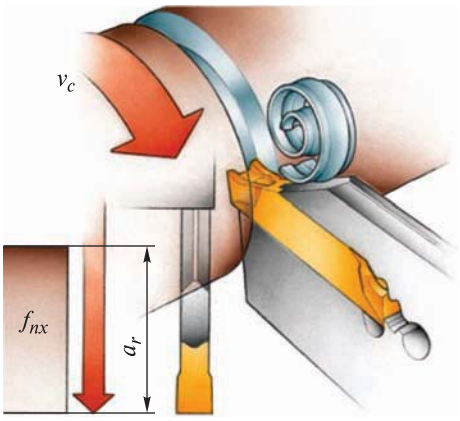
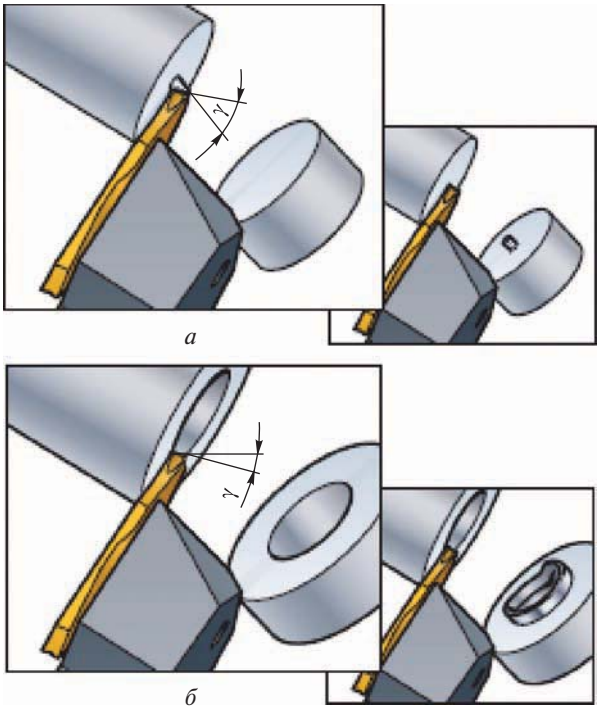


Рис. 7.10. Основные параметры режимов резания при отрезке и обработке канавок

ностью и надежностью режущей кромки, низкими усилиями резания, экономией материала заготовки и др. Для операций с большими вылетами режущего инструмента следует использовать отрезные лезвия. При отрезке деталей малого размера рекомендуется применять узкие пластины с острой режущей кромкой. При отрезке тонкостенных труб рекомендуется использовать острокромочные пластины минимальной ширины.

В отрезном лезвии пластина закреплена за счет пружинящих свойств корпуса в базовом блоке. Усиленное отрезное лезвие с режущей пластиной, закрепленной винтом, более эффективно с точки зрения надежности. Усиленная конструкция отрезного лезвия обеспечивает жесткость и стабильность обработки.

Для достижения лучших результатов по минимизации остаточной бобышки при отрезке следует использовать пластины с углом в плане (γ) (рис. 7.11). При отрезке такой пластиной на детали не остается бобышки, как в случае с нейтральной.



а

б

Рис. 7.11. Отрезка без остаточной бобышки для сплошной заготовки (*а*) и заготовки с отверстием (*б*)

Исполнение пластины выбирается таким образом, чтобы бобышка оставалась на заготовке, зажатой в шпинделе станка, и затем срезалась при дальнейшей обработке.

Заусенец на детали с отверстием также уменьшается при использовании пластины с углом в плане, отличным от нуля.

Несмотря на то что больший угол в плане эффективно противодействует остаточной бобышке, он может привести к снижению качества обработки и снижению стойкости пластины. Размер остаточной бобышки также зависит от размера детали и действия центробежной силы на деталь. Поэтому бороться с этим феноменом можно путем поддержки отрезаемой детали.

Установка и базирование инструмента при отрезке — важная составляющая процесса обработки. Необходимо устанавливать отрезной или канавочный инструмент перпендикулярно оси вращения детали. В противном случае силы резания не будут сбалансированы, и это может привести к вибрациям, искажениям профиля канавки, пакетированию стружки и пр.

Положение инструмента относительно оси вращения заготовки также имеет большое значение. Отклонение положения режущей кромки от линии центров станка не должно превышать ±0,1 мм. Большее отклонение может привести к увеличению сил резания и трения между заготовкой и инструментом, что влияет на стойкость инструмента, а также на качество обработки.

СОЖ при отрезке следует обильно непрерывно подавать непосредственно в зону обработки. Используются специальные адаптеры для подвода охлаждения в зону резания снизу или сверху для отрезного инструмента разной конфигурации.

Процесс обработки канавок, особенно глубоких, подобен отрезке. Хотя для этих операций может применяться один и тот же инструмент, для них существует специализация по геометрии пластин. Имеются следующие типы канавок: неглубокие и глубокие, широкие, наружные, внутренние и торцевые.

Узкие канавки обрабатываются за одно врезание и размеры пластины переносятся на канавку. Обработка канавок за одно врезание более предпочтительна, поскольку обеспечивает контроль за стружкообразованием и равномерный характер износа инструмента. Стандартными режущими пластинами можно обработать канавки шириной до 8 мм. Для обработки широких канавок применяются специальные методы: многопроходное врезание по радиусу, точение вразгонку, точение с врезанием под углом, а также чистовая обработка канавки.

При этом следует соблюдать следующие правила:

- если ширина канавки меньше ее глубины, то предпочтительно применять точение в несколько врезаний вдоль оси инструмента;
- если ширина канавки больше, чем ее глубина, наиболее предпочтительным является плунжерное точение за несколько врезаний с образованием промежуточных колец (рис. 7.12);
- если обрабатываемая заготовка тонкостенная и нежесткая, рекомендуется плавное врезание под углом.

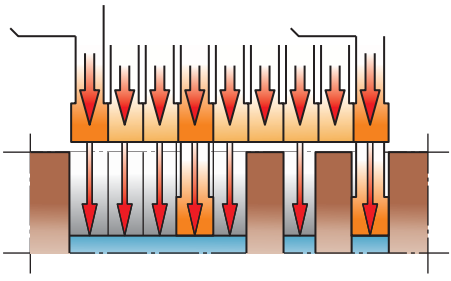


Рис. 7.12. Обработка широких канавок (стрелками показаны перемещения инструмента)

Наилучший отвод стружки и высокая стойкость инструмента обеспечиваются в случае, когда обработка канавки осуществляется за несколько врезаний пластины, с образованием остаточных колец материала. При последующих проходах эти кольца удаляются. При удалении колец условия обработки значительно лучше, чем при обработке сплошного материала, так как в работе не участвуют углы пластины и происходит сход стружки непосредственно по центру пластины в середину стружколома. Рекомендуемая ширина промежуточных колец 0,6...0,8 от ширины пластины.

Для точения вразгонку (с использованием подачи вдоль оси детали) и с врезанием широких неглубоких канавок осевая глубина резания не должна превышать 75 % ширины режущей пластины. Существует режущий инструмент, специально предназначенный для точения с осевой и радиальной подачей. Такие резцы могут растачивать канавки и врезаться под углом. Их геометрии обеспечивают стружколомание.

Для увеличения надежности процесса обработки и стойкости режущей пластины рекомендуется снижать подачу, когда инструмент меняет направление движения, чтобы снизить риски возникновения вибраций. Рекомендуется менять направления продольных проходов, чтобы полностью использовать ресурс главной и двух боковых режущих кромок пластины.

При черновой обработке широких канавок отжим инструмента часто является ограничивающим фактором. Поэтому силовую нагрузку на инструмент снижают за счет изменения направления рабочих подач по следующей схеме (рис. 7.13):

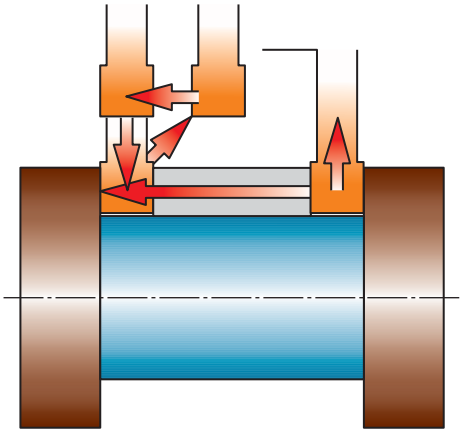


Рис. 7.13. Черновая обработка широких канавок

1) радиальное врезание на глубину резания, не превышающую 3/4 ширины пластины;

2) радиальный отвод на 0,1 мм;

3) продольное точение до противоположного края канавки;

4) диагональный отвод от детали на 0,5 мм;

5) перемещение вдоль оси на конечную позицию (сохраняя зазор 0,5 мм от обрабатываемого диаметра);

6) радиальное врезание на требуемую глубину резания.

Для получения наилучших результатов при чистовой обработке широких канавок (рис. 7.14) необходимо особое внимание уделить обработке углов канавки. Если инструмент перемещается в соответствии с программой, очерчивая требуемый радиус, то перемещение осуществляется в основном по продольной оси *Z*. При этом вдоль режущей кромки образуется очень тонкая стружка, что может привести к затиранию и вибрациям. Для того чтобы избежать этого, радиальная и осевая глубина резания должна составлять соответственно 0,5...1,0 мм, и первое врезание необходимо выполнять в месте соединения радиуса угла канавки с ее дном.

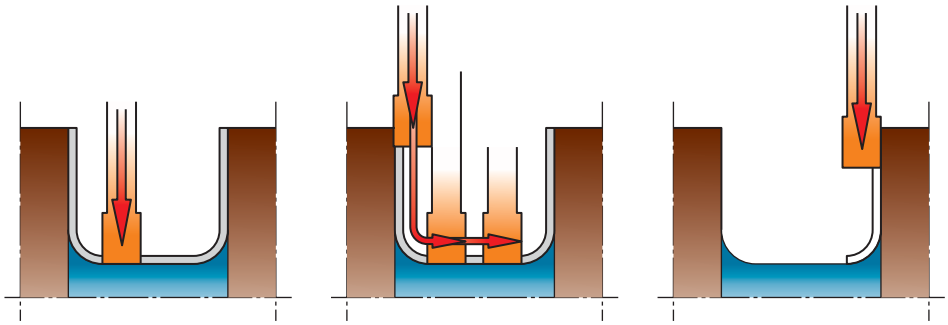


Рис. 7.14. Чистовая обработка широких канавок

Обработка канавок для выхода шлифовального круга обычно ведется специальными пластинами круглой формы с острыми режущими кромками.

Обработка канавок на торцовых поверхностях проводится специализированным инструментом. Особенность заключается в том, что инструмент должен поместиться в канавке, которую он выполняет — инструмент должен быть изогнутым. При выборе инструмента для прорезки торцевой канавки необходимо учитывать значение как наружного, так и внутреннего его диаметров. Диаметр первого врезания оговаривается для каждого резца. Когда обрабатывается широкая торцовая канавка, только первое врезание должно выполняться согласно ограничениям резца. При последующих врезаниях на меньших диаметрах в канавке будет достаточно места и для резца, и для стружки.

Основные правила при обработке торцевых канавок:

- необходимо минимизировать вылет инструмента для снижения риска возникновения вибраций;
- сохранять низкую скорость подачи при первом врезании во избежание пакетирования стружки;
- для обеспечения надежного стружкодробления начинать обработку с наибольшего диаметра заготовки, перемещая инструмент последовательно к наименьшему ее диаметру;
- если во время первого врезания стружкообразование неудовлетворительное, то следует применить прерывистое врезание.

Рассмотрим способы обработки широких торцовых канавок.

Черновая обработка канавок за несколько врезаний (рис. 7.15, *а*), когда после первого прохода пластина снимает последующие припуски, используя 50...80 % своей ширины. На чистовом проходе обрабатываются стенки и дно канавки. Первый проход следует проводить на самом большом диаметре. Первый проход обеспечивает стружкозавивание, но не стружкодробление, которое обеспечивают следующие проходы. При выводе инструмента его необходимо отводить от внутренней стенки канавки.

Черновая обработка канавок, включающая точение вразгонку и чистовой проход, как в предыдущем методе (рис. 7.15, *б*). Осевое врезание не должно превышать 3/4 ширины пластины. Точение вразгонку рекомендуется в случаях, когда ширина канавки больше ее глубины. В противном случае об-

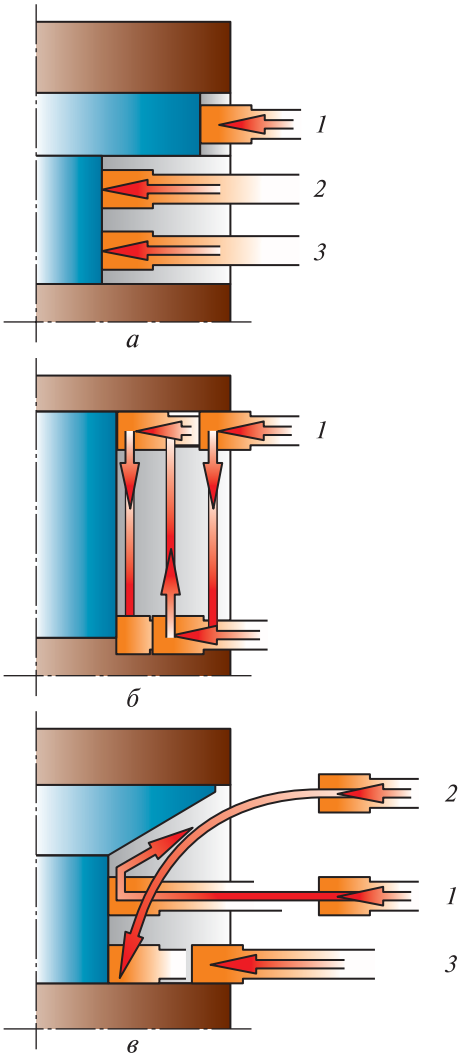


Рис. 7.15. Черновая обработка широких торцевых канавок:

а — черновая обработка за несколько врезаний; *б* — черновая обработка вразгонку и чистовой проход; *в* — чистовая обработка за три прохода; *1–3* — проходы

работку рекомендуется проводить за несколько врезаний.

Чистовая обработка за три прохода (рис. 7.15, *в*):

1) врезание на рекомендуемую рабочую глубину;

2) обработка контура канавки и ее дна в направлении от периферии к центру и вглубь;

3) формирование внутреннего диаметра. Если корпусная вставка контактирует с обрабатываемой поверхностью по меньшему диаметру, нужно проверить, правильно ли подобран инструмент для данного диаметра канавки, опустить режущую кромку ниже оси центров и проверить параллельность инструмента оси вращения заготовки. Если корпусная вставка контактирует с обрабатываемой поверхностью по большему диаметру, следует скорректировать выбор инструмента по диапазону диаметров обработки, установить инструмент выше линии центров и проверить правильность его положения относительно оси заготовки.

Большинство методов обработки наружных канавок может быть применено и для обработки внутренних канавок. Однако при этом необходимо соблюдать некоторые предосторожности, характерные также для операций растачивания, такие как возможность удовлетворительного удаления стружки из отверстия и минимизация склонности к вибрациям.

Необходимо оптимизировать размер инструмента, его вылет и жесткость закрепления и по возможности использовать антивибрационные оправки, особенно при вылете инструмента, равного трем–семи диаметрам заготовки. Обработка канавки за несколько врезаний или точение вразгонку с врезанием, особенно пластинами небольшой ширины, уменьшает склонность к вибрациям. При этом необходима дополнительная чистовая обработка канавки.

Для надежного стружкодробления следует всегда начинать обработку с наибольшего диаметра, двигаясь последовательно к наименьшему. Ис-

пользовать пластины правого или левого исполнения для направления схода стружки, особенно при первых врезаниях.

При нарезании резьбы вращение заготовки и подача инструмента должны соотноситься определенным образом в соответствии с размером нарезаемой резьбы.

Резьба обрабатывается за некоторое число проходов инструмента. Разделение общей глубины резания на несколько проходов позволяет увеличить надежность процесса и не перегружать вершину резьбовой пластины. Обычно для обработки всего профиля резьбы выполняется порядка шести проходов. При этом рекомендуется уменьшать глубину врезания с каждым последующим проходом, так как вершина резца контактирует с заготовкой на все большей длине режущей кромки. Так, шаг за шагом, проход за проходом обрабатывается весь профиль резьбы.

Существует несколько способов разделения припуска и врезания на новую глубину при резьбонарезании (рис. 7.16). Все способы обработки стандартного профиля резьбы различаются по стружкообразованию, процессу изнашивания инструмента, качеству обработанной поверхности.

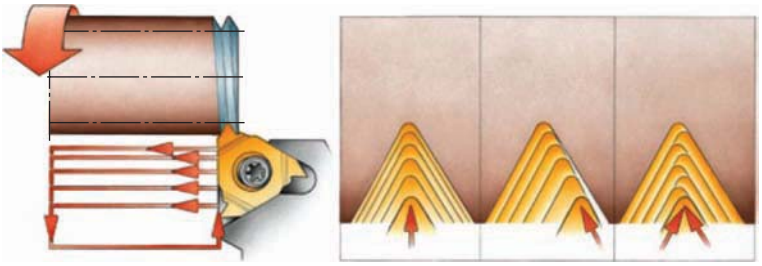


Рис. 7.16. Схема (*а*) и способы (*б–г*) нарезания резьбы:

б — радиальное; *в* — одностороннее боковое; *г* — боковое двустороннее

Радиальное врезание — наиболее распространенный способ нарезания резьбы. Пластина врезается в заготовку по радиусу, и стружка формируется обеими сторонами режущего зуба в виде буквы V. Процесс износа протекает равномерно по всей длине режущей кромки. Такой способ наиболее эффективен для мелких резьб и материалов, упрочняемых резанием.

Одностороннее боковое врезание является предпочтительным методом обработки резьбы, и многие станки с ЧПУ используют этот цикл. Пластина врезается в заготовку под углом, меньшим, чем угол профиля резьбы. При таком варианте обработки можно контролировать сход стружки, процесс подобен обыкновенному точению.

На вершине пластины образуется меньшее количество теплоты, растет стойкость пластины и надежность процесса обработки. Кроме того, при использовании этого способа риск возникновения вибраций при обработке крупных резьб и на длинных проходах невелик. Данный способ чаще всего применяют для обработки резьб с большим шагом, и следовательно, большим профилем.

При боковом двустороннем врезании направление врезания изменяется для каждого последующего прохода до тех пор, пока весь профиль резьбы не будет сформирован. Пластина при этом изнашивается равномерно. Черновую обработку резьбы крупного профиля рекомендуется проводить стандартным токарным инструментом с обычными треугольными пластинами, а чистовые проходы — резьбовой пластиной.

Постепенное уменьшение глубины врезания обеспечивает постоянную площадь сечения стружки, снимаемой за каждый проход. В зависимости от высоты профиля резьбы задается довольно большая начальная глубина врезания 0,20...0,35 мм, которая постепенно уменьшается до 0,09...0,02 мм. Последний проход может быть зачистным без врезания, для того чтобы устранить погрешности, вызванные люфтами механизмов станка.

Постоянная глубина врезания обеспечивает наилучшее формирование стружки и высокую стойкость инструмента. Данный способ в основном применяется для станков нового поколения. Поскольку глубина врезания постоянная, толщина стружки также постоянная и стружкообразование можно оптимизировать. Начальное значение глубины врезания должно составлять 0,12...0,18 мм, точное значение зависит от глубины последнего прохода, которая должна быть не меньше 0,08 мм.

7.2. Циклы токарной обработки

Тип цикла токарной обработки определяет способ формирования траектории режущего инструмента на основе заданного контура. Доступны следующие типы элементов рабочего задания для токарных операций (рис. 7.17).

Цикл «Контур». В данном режиме в управляющую программу выводится заданный контур без существенных дополнений (рис. 7.18). При этом выполняются только следующие незначительные модификации контура:

- пристыковка подхода и отхода;
- смещение на заданные припуски;
- исключение теневых зон, недостижимых заданным инструментом;
- компенсация радиуса инструмента.

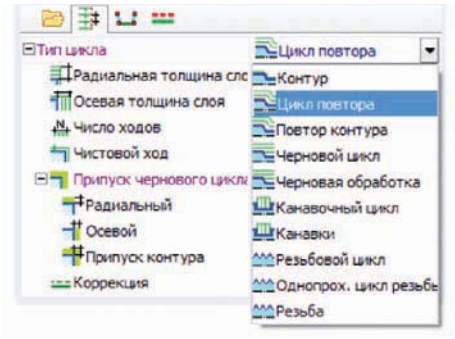


Рис. 7.17. Типы циклов токарной обработки

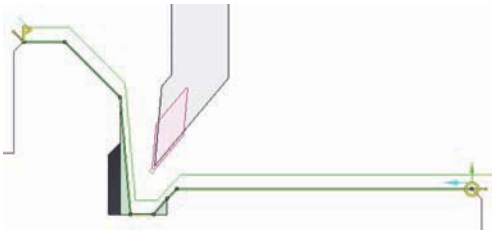
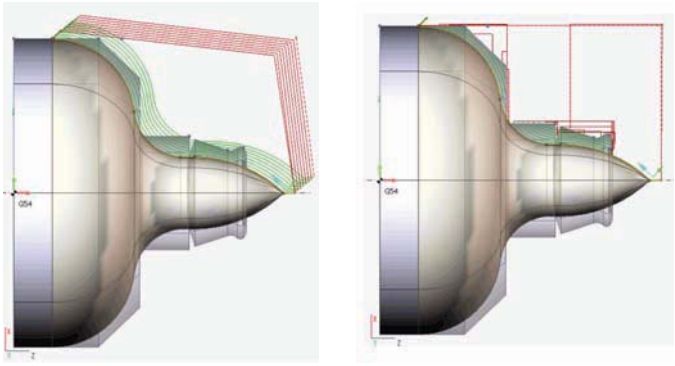


Рис. 7.18. Цикл «Контур»

Цикл «Повтор контура». Данный цикл формирует траекторию, аналогичную ISO G73, но выведенную в развернутом виде. Этот режим позволяет учитывать текущее состояние заготовки, что значительно снижает время обработки. На рис. 7.19, *а* представлена деталь, обработка которой занимает примерно 25 мин. Применение алгоритмов учета текущего состояния заготовки позволит снизить время обработки данной детали на 50 %, исключив проходы инструмента на рабочей подаче над заготовкой (рис. 7.19, *б*).



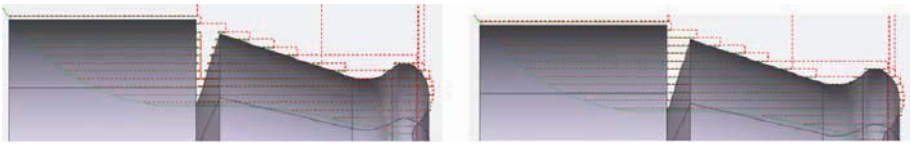
а *б*

Рис. 7.19. Цикл «Повтор контура»:

а, *б* — без учета (25 мин) и с учетом (12 мин) текущего состояния заготовки

В некоторых случаях целесообразно не учитывать проход инструмента над заготовкой, если дистанция такого прохода достаточно мала. Параметр цикла <Размер игнорирования> позволяет задать максимальное расстояние прохода инструмента над заготовкой на рабочей подаче. Если расстояние между двумя участками обработки окажется меньше этого параметра, система будет рассматривать их как один участок обработки.

Так, на рис. 7.20, *а* параметр цикла меньше расстояния между участками обработки и система обработает их отдельно. На рис. 7.20, *б* данный параметр больше расстояния между участками обработки — система рассматривает их как один участок обработки.



а *б*

Рис. 7.20. Варианты черновой обработки:

а — раздельная; *б* — одновременная

В некоторых случаях целесообразно рассматривать несколько участков как один, но переходить ко второму участку на повышенной подаче с включенной интерполяцией. Инструмент обрабатывает заготовку (рис. 7.21) на

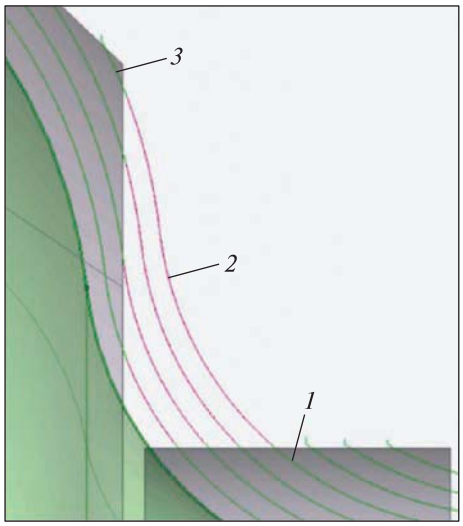


Рис. 7.21. Варианты изменения подач

рабочей подаче (*1*), затем на повышенной подаче по контуру (*2*) переходит к следующему участку обработки (*3*).

Параметр «Максимальный проход на повышенной» определяет максимальное расстояние, которое инструмент может пройти на повышенной подаче (подаче перехода). Если расстояние между участками окажется больше данного параметра, то система будет обрабатывать их отдельно.

Цикл <Повтор контура> (ISO G73). Данный цикл позволяет сформировать цикл ISO G73 на основе заданного контура. Если в параметрах цикла предусмотрен чистовой проход, то сразу за указанным циклом формируется цикл чистового прохода вдоль контура ISO G70.

На рис. 7.22 представлена схема повтора контура из документации стойки ЧПУ FANUC по циклу G73. Эта функция позволяет выполнить повторное резание по постоянной схеме при постепенном смещении схемы. Применяя данный цикл резания, можно продуктивно обработать заготовку, черновая форма которой уже была получена в процессе черновой обработки, ковки или литья и т. п.

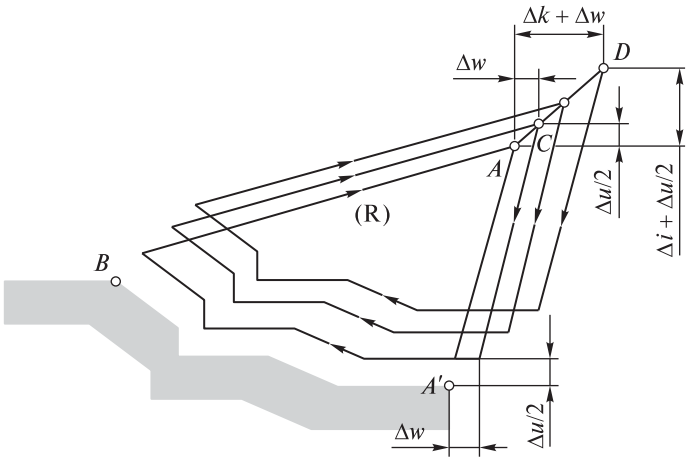
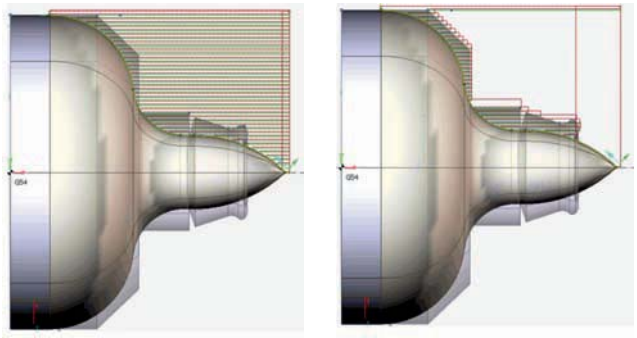


Рис. 7.22. Схема повтора контура (по ISO G73)

Черновая обработка. При черновой обработке формируется траектория, аналогичная ISO G71/G72, но в развернутом виде. Этот режим позволяет учитывать текущее состояние заготовки.

Учет текущего состояния заготовки дает возможность значительно снизить время обработки. На рис. 7.23 представлена деталь, обработка которой занимает примерно 52 мин. Применение алгоритмов учета текущего состояния заготовки обеспечит снижение времени обработки данной детали на 80 % за счет исключения проходов инструмента на рабочей подаче над заготовкой.



а *б*

Рис. 7.23. Черновая обработка:

а, *б* — без учета (52 мин) и с учетом (12 мин) текущего состояния заготовки

Цикл черновой обработки. *Черновой цикл* позволяет сформировать один из циклов ISO G71 или ISO G72 на основе заданного контура. Параметры цикла задаются в окне свойств. Параметр «*направление*» позволяет переключаться между циклами G71 и G72. Если предусмотрен «*чистовой ход*», то сразу за указанным циклом формируется цикл чистового прохода вдоль контура ISO G70.

На рис. 7.24 представлен пример чернового цикла из документации стойки ЧПУ FANUC по циклам G71/G72.

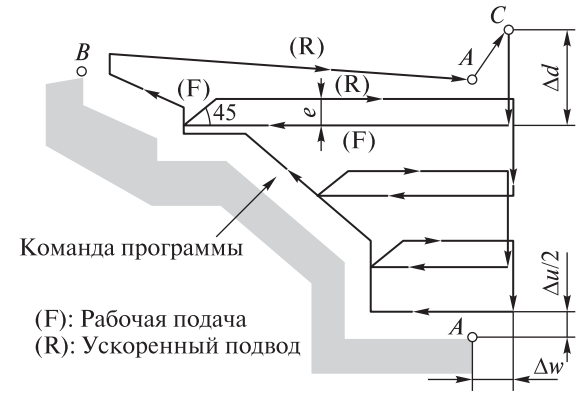
Обработка торца. В цикле обработки торца имеется возможность задания обработки как плоских, так и неплоских торцев (рис. 7.25, *а*).

Обрабатываемая кривая автоматически рассчитывается по текущей заготовке и детали так, чтобы правильно обработать левый либо правый торцы (рис. 7.25, *б*).

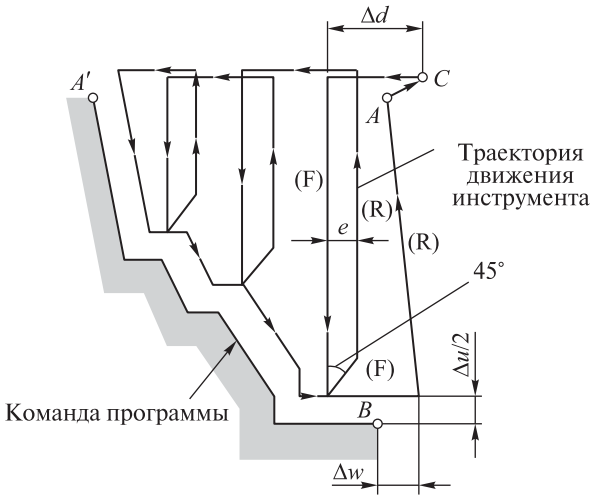
Стратегии операции позволяют задавать: тип цикла, радиальную и торцовую толщину снимаемого слоя, число ходов, наличие чистового прохода, припуски чернового цикла, координаты начальной точки, необходимость учета конфигурации заготовки с параметрами подходов и отходов (рис. 7.25, *в*).

Канавки. Данный элемент формирует сложную траекторию для обработки всех типов канавок, получаемых при токарной обработке (рис. 7.26). Возможно получение наружных, внутренних, торцовых и наклонных канавок.

Цикл определяет самую нижнюю точку канавки и обрабатывает обе ее стороны различными режущими кромками инструмента. Каждая сторо-



а



б

Рис. 7.24. Пример чернового цикла (G71/G72):

а — продольная обработка; *б* — поперечная

на обрабатывается сверху вниз, от края контура ко дну канавки. Режущие кромки определяются в окне задания токарного инструмента, представленном на рис. 7.26. Инструмент выбирается из базы данных (рис. 7.27).

Цикл генерирует траекторию для черновой и чистовой обработки. Параметр <Траектория> позволяет указать, какие ходы должны быть сформированы.

Если выбран параметр <Только чистовые ходы>, тогда будет формироваться траектория только для чистовой обработки, а в окне параметров будут показаны только параметры, влияющие на эту траекторию. Если выбран Параметр <Только черновые>, то, соответственно, формируется только черновая траектория и будут представлены только ее параметры.