

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Д.Л. СКУРАТОВ, А.И. ХАЙМОВИЧ, С.Р. АБУЛЬХАНОВ

ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПРОЦЕССЫ, ИНСТРУМЕНТЫ И СТАНКИ

Часть 2

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлениям подготовки: 13.03.03 Энергетическое машиностроение, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов и специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

САМАРА
Издательство Самарского университета
2018

УДК 621.9(075)

ББК 34.63-5я7

С 467

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Н. В. Н о с о в,

д-р техн. наук, проф. И. П. П о п о в

Скуратов, Дмитрий Леонидович

С467 Обработка конструкционных материалов. Процессы, инструменты и станки. Ч.2: учеб. пособие / *Д.Л. Скуратов, А.И. Хаймович, С.Р. Абульханов.* – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 120 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-1315-3

Рассмотрены процессы протягивания заготовок, а также нарезания и отделки зубчатых колес. Приведены общие сведения о станках, типовых сборочных единицах и механизмах современных металлорежущих станков и системах их управления. Рассмотрены многофункциональные токарные станки с ЧПУ и универсальные фрезерные центры. Описаны процессы разработки, отладки и корректирования управляющих программ.

Для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения, проходящих подготовку по программам высшего образования по направлениям подготовки: 13.03.03 Энергетическое машиностроение, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов и специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей.

Подготовлено на кафедре технологий производства двигателей.

УДК 621.9(075)

ББК 34.63-5я7

ISBN 978-5-7883-1315-3

© Самарский университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. ПРОТЯГИВАНИЕ.....	7
1.1. Элементы режима резания при протягивании	7
1.2. Основные части и геометрические параметры круглой протяжки	10
1.3. Схемы резания при протягивании	13
2. НАРЕЗАНИЕ И ОТДЕЛКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	16
2.1. Общие сведения.....	16
2.2. Нарезание зубчатых колес методом копирования	17
2.3. Нарезание зубчатых колес методом обкатки	21
2.3.1. Нарезания зубчатых колес червячными модульными фрезами	22
2.3.2. Нарезание зубчатых колес долбьяками	28
2.4. Зубоотделочные операции.....	35
3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАНКАХ.....	43
3.1. Тенденции развития современного станкостроения	43
3.2. Классификация и система обозначения металлорежущих станков.....	45
3.3. Движения в станках	48
3.4. Управление станками	51
3.5. Системы циклового программного управления	52
3.6. Классификация систем числового программного управления станками	55
3.7. Оси координат и структуры движений станков с ЧПУ	59
4. ТИПОВЫЕ СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ И МЕХАНИЗМЫ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ.	64
4.1. Станины и направляющие	64
4.2. Шпиндельные сборочные единицы станков.....	68
4.3. Мехатронные модули.....	72
4.3.1. Мехатронный модуль главного вращательного движения станка.	72
4.3.2. Мехатронные модули линейного движения механизмов подач станка.....	75
4.3.3. Датчики положения мехатронных модулей.....	78

5. СТАНКИ С ЧПУ	85
5.1. Многофункциональные токарные станки	85
5.2. Универсальные фрезерные центры.	93
6. РАЗРАБОТКА, ОТЛАДКА И КОРРЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ	101
6.1. Разработка управляющих программ	101
6.2. Отладка и корректирование программ	111
Заключение	117
Библиографический список	118

ВВЕДЕНИЕ

В представленном пособии описаны некоторые сложные процессы формообразования деталей, а именно: протягивания, зубонарезания и отделки зубчатых колес. Эти процессы достаточно широко используются при изготовлении таких деталей газотурбинных двигателей, как лопатки компрессора и турбины, диски компрессора и турбины, шестерни и зубчатые колеса различных редукторов и коробок передач агрегатов.

В пособии изложены существующие тенденции создания современного оборудования, используемого в машиностроении, и в первую очередь изделий металлообрабатывающей промышленности, характеризующихся значительным повышением уровня автоматизации и созданием качественно новых конструкций станков с ЧПУ.

Современные достижения в механике, в том числе точной, электронике, оптике позволяют создавать эффективные мехатронные модули и системы управления, на которых базируются современные станки с ЧПУ. Использование станков с ЧПУ на предприятиях позволило осуществить замену жесткой автоматизации на гибкую, которая обеспечивает возможность быстрого перевооружения производства для выполнения технологических функций с заданной производительностью и качеством обработки. Без использования на предприятиях таких станков невозможно создание в современных условиях высококачественной конкурентоспособной продукции. Поэтому знание современного оборудования с ЧПУ, его конструктивных особенностей, технических возможностей, а также умение создавать, корректировать и отлаживать управляющие программы для данного оборудования является обязательным условием базовой подготовки инженеров-технологов для машиностроительной отрасли и в особенности аэрокосмической. На предприятиях аэрокосмического комплекса

к деталям, сборочным единицам и изделиям предъявляются особые требования к качеству изготовления, а это требует от технологов, наладчиков и операторов оборудования с ЧПУ высокого уровня профессиональной подготовки.

По мнению авторов пособия, материалы, изложенные в нём, позволят будущим бакалаврам, специалистам и магистрам, обучающимся по машиностроительным специальностям и направлениям получить определённые знания, касающиеся процессов механической обработки материалов и современного оборудования с ЧПУ и закрепить их при выполнении курсовых и выпускной квалификационной работ.

1. ПРОТЯГИВАНИЕ

Протягивание – это высокопроизводительный процесс обработки наружных и внутренних поверхностей заготовок многозубыми режущими инструментами – протяжками или прошивками, при котором обеспечивается точность в пределах 6-9 квалитетов и шероховатость поверхности $Ra = 2,5...0,63$ мкм. Высокая производительность процесса протягивания обеспечивается тем, что в работе одновременно участвует несколько режущих зубьев с большой суммарной длиной режущих кромок.

Довольно невысокие показатели по точности и шероховатости можно объяснить тем, что протягивание представляет собой напряженный процесс деформирования материалов в условиях несвободного, стесненного резания. В процессе протягивания заготовок возникают значительные пластические деформации, а также интенсивные адгезионные и диффузионные явления. Все это приводит к снижению точности процесса и ухудшению качества обработки поверхности.

1.1. Элементы режима резания при протягивании

Элементы режима резания при протягивании рассмотрим на примере работы круглой протяжки (рис. 1.1) и прошивки (рис. 1.2).

Как видно из рис. 1.1, при протягивании заготовка 2 своей торцевой частью опирается на стенку станка 1 и остается неподвижной, а протяжка 3 совершает поступательное движение, которое является главным. Это движение осуществляется обычно с небольшой скоростью, равной $v = 1...20$ м/мин. При этом специального движения подачи при протягивании нет. Срезание припуска осуществляется за счет особой конструкции инструмента, а именно превышения одного зуба над другим на величину $a_z = 0,015...0,12$ мм/зуб (для круглой протяжки).

При прошивании, в отличие от протягивания, инструмент прошивки проталкивается через отверстие, работая на смятие. Кроме того, у прошивок нет хвостовой части и небольшая длина, не превышающая $15D$, что связано с работой прошивки на продольный изгиб (см. рис. 1.2).

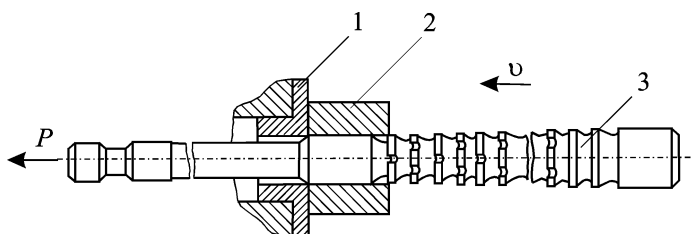


Рис. 1.1. Схема работы круглой протяжки

При прошивании заготовка 2 своей опорной частью опирается на стол прессы 3, а прошивка 1 под действием прессы перемещается вертикально.

В обоих случаях поступательное движение инструмента является главным движением, а скорость движения есть скорость резания.

Различают следующие элементы резания:

1) **припуск на диаметр**, снимаемый протяжкой:

$$A_0 = D - D_0,$$

где D – номинальный диаметр обработанного отверстия; D_0 – наименьший диаметр предварительного отверстия;

2) **припуск на сторону**

$$A = 0,5A_0.$$

Величину припуска при круглом протягивании выбирают в пределах:

- при черновом протягивании – 0,4... 1,6 мм,
- при чистовом протягивании – 0,2... 1,0 мм;

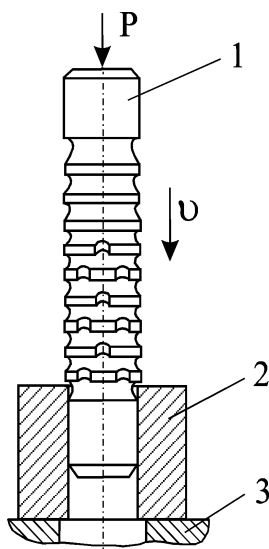


Рис. 1.2. Схема работы прошивки

3) **подъем на зуб (толщина стружки)** – представляет собой величину, на

которую постепенно увеличивается каждый последующий режущий зуб протяжки в сравнении с предыдущим зубом. Различают величину подъёма на диаметр – ΔD и на сторону – $a_z = \frac{\Delta D}{2}$ (рис. 1.3).

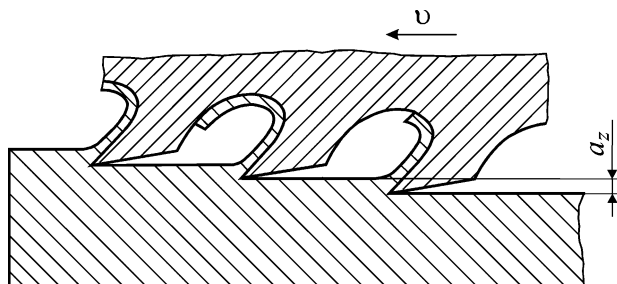


Рис. 1.3. Величина подъема на зуб при протягивании

Величину подъема на зуб выбирают в зависимости от материала заготовки и выдерживают одинаковой для всех режущих зубов протяжки за исключением 3...4 последних, которые называют зачищающими. У зачищающих зубов подъем на зуб постепенно уменьшается так, чтобы значение a_z для последнего зачищающего зуба не превышало 0,01...0,02 мм. Последний зачищающий зуб обеспечивает заданную точность обработки и качество поверхности;

4) **длину режущей кромки** одного зуба круглой протяжки L (мм), определяемой по формуле

$$L = \pi \cdot d ,$$

где d – диаметр режущего зуба, мм;

5) **площадь среза стружки**, снимаемой одним зубом

$$F = L \cdot a_z ;$$

6) **суммарную площадь среза**

$$F_{\text{сум}} = F \cdot z_{\text{max}} ,$$

где z_{max} – число одновременно работающих зубьев.

1.2. Основные части и геометрические параметры круглой протяжки

Основными частями круглой протяжки являются (рис. 1.4):

– **передняя замковая часть (хвостовик) l_1** , служащая для закрепления протяжки в патроне станка, с помощью которого осуществляется связь штока станка с протяжкой. Диаметр хвостовика $d_1 = D_0 - (0,5...1)$ мм и выполняется с допуском по $f9$, где D_0 – наименьший диаметр предварительно изготовленного отверстия. Длина $l_1 = (2...5)d_1$, а диаметр выточки – $d_2 = (0,7...0,8)d_1$;

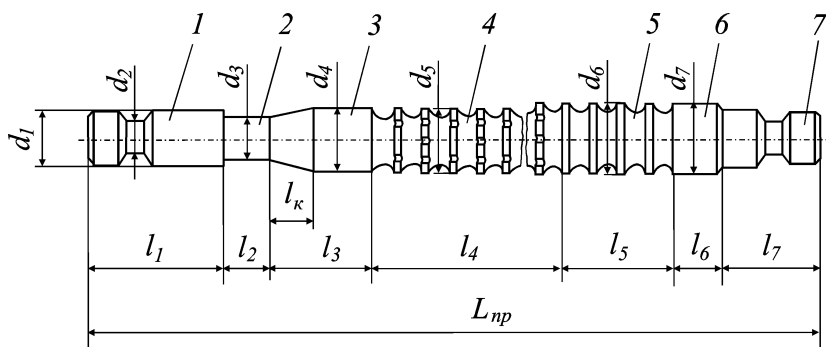


Рис. 1.4. Основные части круглой протяжки

– **шейка l_2** , служащая для соединения передней замковой части с передней направляющей протяжки. Диаметр шейки d_3 на $0,5...1$ мм меньше диаметра хвостовика d_1 , а длина зависит от толщины стола и опорного кольца протяжного станка;

– **передняя направляющая часть l_3 вместе с направляющим конусом l_k** , служащая для установки и центровки обрабатываемой детали перед протягиванием. Длина переходного конуса $l_k = 10...25$ мм. Диаметр направляющей части d_4 равен наименьшему диаметру отверстия, подготовленного под протягивание, а длина обычно равна длине обрабатываемого отверстия;

– **режущая часть** l_4 , состоящая из режущих и зачищающих зубьев, которые, начиная со второго зуба, постепенно увеличивают свой диаметр на величину, равную $\Delta D = 2a_z$. На рис. 1.4 диаметр i -го режущего зуба обозначен как d_5 ;

– **калибрующая часть** l_5 , состоящая из калибрующих зубьев одного диаметра d_6 . Диаметр калибрующих зубьев равен наибольшему диаметру отверстия с учетом возникающих при резании деформаций, т.е. $d_6 = D + TD \pm \Delta$, где D – номинальный диаметр отверстия, мм; TD – допуск на изготовление отверстия, мм; Δ – деформация отверстия, мм. Знак "–" берется в случае «разбивания» отверстия, что наблюдается обычно при обработке толстостенных деталей; знак "+" берется в случае «усадки» отверстия, что наблюдается при обработке тонкостенных деталей. Величина деформации определяется опытным путём и составляет обычно $\Delta = 0,005...0,02$ мм;

– **задняя направляющая часть** l_6 , служащая для исключения перекоса протягиваемой детали и повреждения обработанной поверхности в момент выхода последних зубьев калибрующей части из отверстия;

– **задняя замковая часть** l_7 , служащая для соединения протяжки через патрон с кареткой обратного хода станка и необходимая для удержания протяжки от провисания и установки её в исходное положение перед обработкой следующей детали.

Зубья режущей части протяжек обычно имеют стружкоразделительные канавки, предназначенные для дробления стружки. Данные канавки располагаются в шахматном порядке на всех режущих и зачищающих зубьях (рис. 1.5), кроме последнего зачищающего

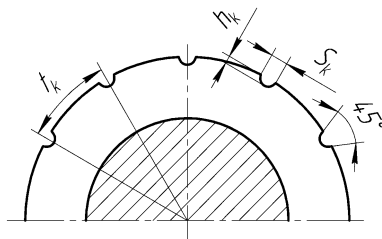


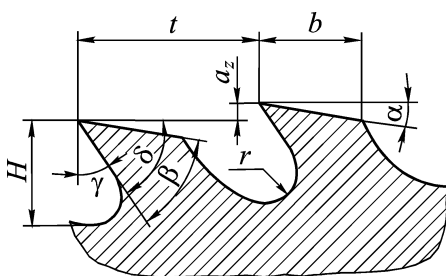
Рис. 1.5. Канавки для дробления стружки

зуба и всех калибрующих; форма канавки характеризуется: шагом $t_k = 5...10$ мм, шириной $S_k = 0,6...1,5$ мм и глубиной $h_k = 0,4...1,0$ мм.

Форма и геометрия зубьев протяжки характеризуется следующими параметрами (рис. 1.6):

– шагом зубьев $t = (1...2)\sqrt{L}$ (мм), где L – длина обрабатываемой поверхности детали, мм;

– высотой зуба $H = (0,35...0,45)t$, мм;



– шириной зуба

$b = (0,3...0,35)t$, мм;

– радиусом стружечной канавки $r = (0,5...0,55)H$, мм;

– передним углом γ , град.;

– задним углом α , град.;

– углом заострения β ,

град.;

– углом резания δ , град.

Рис. 1.6. Форма и геометрические параметры режущих зубьев протяжки

Передний угол γ выбирается в зависимости от прочности обрабатываемого материала. Так для незакалённых сталей $\gamma = 12...15^\circ$, для закаленных сталей $\gamma = 0...5^\circ$ и для титановых сплавов $\gamma = 9...10^\circ$.

Заточку протяжек производят по передним поверхностям зубьев, поэтому при небольших значениях $\alpha = 2...4^\circ$ происходит малое изменение высоты зуба и обеспечивается достаточный срок службы инструмента.

На калибрующих зубьях: $\gamma_k = 0...+5^\circ$, $\alpha_k = 0,5...1^\circ$.

Образуемая в процессе резания стружка за один цикл обработки должна полностью разместиться во впадине зуба. Наиболее неблагоприятные условия размещения стружки во впадине зуба создаются при обработке вязких материалов, образующих сливную стружку в виде валика. При этом диаметр стружечного валика принимают приблизительно равным высоте зуба H (рис. 1.7).

Тогда площадь активной части стружечной канавки будет равна

$$F_k = \frac{\pi H^2}{4} \quad (\text{мм}^2), \text{ площадь про-}$$

дольного сечения $F_c = a_z \cdot L \quad (\text{мм}^2)$,

а коэффициент заполнения стру-

$$\text{жечной канавки } K = \frac{F_k}{F_c}.$$

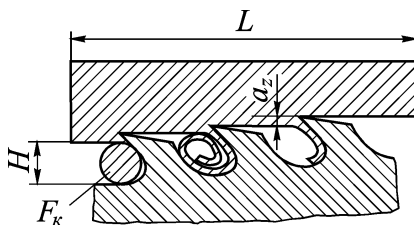


Рис. 1.7. Схема заполнения стружечной канавки при протягивании

Величина этого коэффициента зависит от многих факторов и колеблется по данным работы [5] в пределах от 2,2 до 5,5. Значения данного коэффициента приведены также в работе [10].

Общее количество зубьев круглой протяжки можно определить по формуле:

$$z = z_1 + z_2 + z_3,$$

где z_1 — число режущих зубьев; z_2 — число зачищающих зубьев; z_3 — число калибрующих зубьев.

$$z_1 = \frac{A}{a_z} + 1,$$

где A — припуск на сторону; a_z — подъем на зуб.

$$z_2 = 2 \dots 4; \quad z_3 = 4 \dots 8.$$

Для определения числа одновременно работающих зубьев следует использовать зависимость:

$$z_{\max} = \frac{L}{t} + 1,$$

где L — длина обрабатываемой поверхности, мм; t — шаг между зубьями, мм.

1.3. Схемы резания при протягивании

Под схемой резания при протягивании подразумевают порядок, в котором режущие зубья протяжек будут срезать припуск, предусмотренный на обработку.

Различают *одинарную и групповую* (переменную) схемы резания.

При *одинарной схеме* припуск снимается тонкими и широкими слоями, а при *групповой* – более толстыми и узкими слоями.

Одинарная схема резания, при которой все режущие зубья имеют небольшой подъем a_z на зуб, бывает: **профильной и генераторной**.

При **профильной схеме** (рис. 1.8) все зубья имеют профиль, подобный профилю обрабатываемой поверхности. Такая схема резания обеспечивает высокое качество обработанной поверхности детали, однако ее применение ограничено трудностями, связанными с изготовлением протяжки. Поэтому профильную схему применяют при изготовлении деталей простых профилей, а для деталей со сложным профилем эту схему применяют лишь на чистовых и зачищающих зубьях протяжек [5]. Более просты в изготовлении протяжки, работающие по генераторной схеме резания (рис. 1.9).

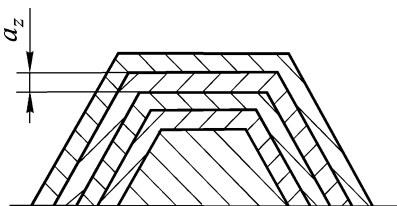


Рис. 1.8. Профильная схема резания

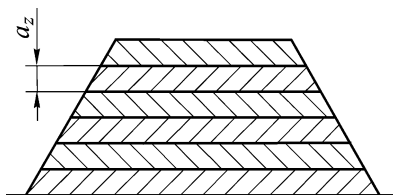


Рис. 1.9. Генераторная схема резания

При генераторной схеме каждый режущий зуб формирует небольшой участок обрабатываемой поверхности, который может не соответствовать профилю обрабатываемой поверхности детали. При этом формообразование общей поверхности осуществляется путем постепенного суммирования (генерирования) участков, срезанных отдельными зубьями. Припуск снимается либо плоскими параллельными слоями, либо дугообразными, концентрически расположенными слоями. При данной схеме резания шероховатость поверхности будет несколько выше, чем при работе по профильной схеме, т.к. на обработанной поверхности образуются дополнительные неровности, обусловленные генераторной схемой резания. Для повышения точности и чистоты обработки заданного профиля, как правило, после ре-

жущих зубьев, работающих по генераторной схеме, располагают несколько зубьев, работающих по профильной схеме.

К недостатку генераторной схемы следует также отнести то, что на боковых участках режущих зубьев отсутствуют задние углы. В связи с чем на них происходит интенсивное трение, приводящее к появлению налипов, ухудшению качества обработанной поверхности и снижению стойкости протяжек. Особенно интенсивны эти процессы при обработке жаропрочных и титановых сплавов. В этом случае целесообразно применять разновидность генераторной схемы – генераторно-ступенчатую, в которой угол профиля зубьев отличен от угла профиля детали на величину равную $3^{\circ} \dots 5^{\circ}$. Это позволяет значительно уменьшить силы трения на контактных поверхностях, а образующиеся на поверхности гребешки срезаются несколькими зачистными зубьями, работающими по профильной схеме.

Групповая схема резания реализуется протяжками с зубьями, объединенными в группы по 2...3 и более зубьев.

При групповой схеме резания каждый зуб группы (прорезной или зачистной) срезает слой материала на части периметра обработки (рис. 1.10). Причем прорезные зубья в каждой из групп имеют одинаковую высоту, но разную ширину, а зачистные зубья выполняются с занижением высоты (на $0,02 \dots 0,03 \text{ мм}$) для устранения трения на тех участках профиля, где происходит

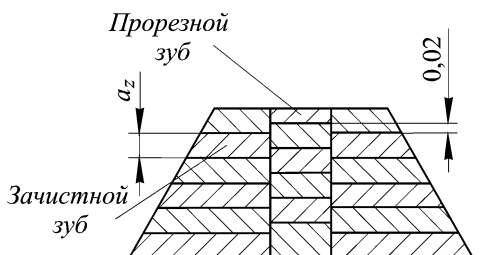


Рис. 1.10. Групповая схема резания [5]

упругое восстановление поверхности резания после прохождения прорезных зубьев. В этих протяжках подъем на зуб в группе $a_{\Gamma} = 0,3 \dots 0,5 \text{ мм/зуб}$, т.е. он значительно больше, чем в протяжках, работающих по профильной и генераторной схемам ($a_z = 0,015 \dots 0,12 \text{ мм/зуб}$) [5].

2. НАРЕЗАНИЕ И ОТДЕЛКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

2.1. Общие сведения

Зубчатая передача – это механизм, предназначенный для передачи с помощью зацепления вращательного движения между параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися валами или для преобразования вращательного движения в поступательное с изменением угловых скоростей и моментов.

Зубчатые передачи нашли самое широкое применение в современной технике. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с передачами других типов, таких *как ременных, фрикционных, цепных* и т.д., и обеспечивают передачу значительных мощностей, сохраняя постоянство передаточных отношений и обеспечивая КПД до 99%. Кроме того, для зубчатых передач характерны высокая надежность, долговечность и относительно малые габариты.

Зубчатые колёса имеют весьма широкий спектр назначения и подразделяются на: *силовые, скоростные, отсчётные и общего назначения*. *Силовые передачи* предназначены для передачи значительных крутящих моментов при малых числах оборотов зубчатых колес и применяются в основном в различных подъёмно-транспортных механизмах. *Скоростные передачи* позволяют работать при скоростях до 150 м/с, например, в редукторах вертолётов и турбовинтовых двигателей самолётов. *Отсчётные передачи*, используемые в счетно-решающих механизмах, следящих приводах приборов и т.д., обеспечивают точную согласованность ведущего и ведомого зубчатых колес. Передачи *общего назначения* предназначены, как правило, для работы при малых нагрузках и скоростях.

Эксплуатационные показатели зубчатых передач, а следовательно и их работоспособность, во многом зависят от точности изготовления зубчатых колес и состояния поверхностного слоя рабочих поверхностей зубьев.

Профиль боковых поверхностей зуба может быть выполнен по эвольвенте, циклоиде, дуге окружности и т.п. При этом наибольшее

распространение в машиностроении получили зубчатые колёса с эвольвентным профилем.

Зубчатые колеса можно получать литьем, методом пластического деформирования, а именно: штамповкой и накаткой как в горячем, так и холодном состоянии, и обработкой резанием. При этом методы литья и деформирования заготовок позволяют получать зубчатые колеса не выше 8-й степени точности, поэтому основным методом изготовления зубчатых колес, особенно в авиадвигателестроении, является зубонарезание. Нарезание зубчатых колес может осуществляться методом копирования и методом обкатки.

2.2. Нарезание зубчатых колес методом копирования

Сущность *метода копирования* заключается в том, что профиль впадин между зубьями является точной копией профиля режущих кромок зубообразующего инструмента. К основным инструментам, работающим по методу копирования, относятся: *дисковые и пальцевые модульные фрезы, зубодолбежные головки и круговые протяжки*. Первые два вида инструментов достаточно широко применяются в мелкосерийном и ремонтном производствах.

При работе *дисковой или пальцевой модульными фрезами* последние совершают вращательное (главное) движение, а заготовка выполняет поступательное движение (движение подачи) вдоль обрабатываемой впадины зуба (рис. 2.1).

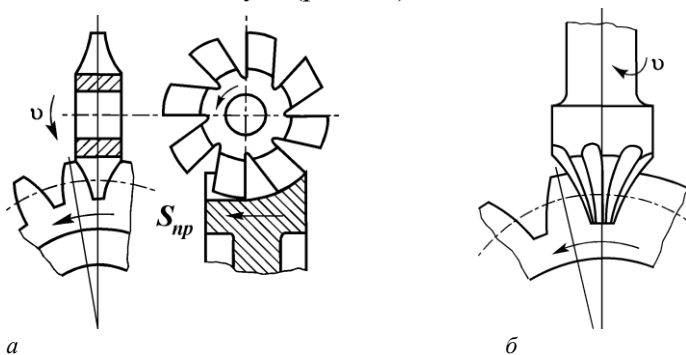


Рис. 2.1. Схемы нарезания зубчатых колес модульными фрезами [5]:

а – дисковой; б – пальцевой

Как правило, формирование впадины зуба осуществляется за несколько проходов, после чего заготовка с помощью делительной головки поворачивается на один угловой шаг нарезаемого колеса (на $\frac{1}{z}$ часть окружности, где z – число зубьев нарезаемого колеса). Нарезание зубчатых колес при работе дисковыми и пальцевыми модульными фрезами осуществляется на универсальных фрезерных станках. Такой способ нарезания зубчатых колес весьма прост, не требует применения специальных зуборезных станков, но отличается невысокой производительностью.

Инструментальной промышленностью дисковые модульные фрезы изготавливаются комплектами, состоящими из 8, 15 и 26 инструментов каждого модуля. При этом комплект из 8 фрез является основным и применяется для нарезания зубчатых колес с модулем $m \leq 8$. Причем каждая из фрез, входящая в комплект, применяется для нарезания нескольких зубчатых колес, число зубьев которых находится в определенном диапазоне. Однако следует отметить, что профиль впадины только одного колеса, а именно с наименьшим числом зубьев, будет точно соответствовать заданному эвольвентному профилю. Профиль впадин остальных зубчатых колес, входящих в указанный диапазон, будет нарезаться с погрешностью, соответствующей 9...10 степеням точности. Кроме того, возникают ещё погрешности, связанные с делительным поворотом заготовки.

Для нарезания зубчатых колес с крупным модулем ($m > 10$) применяются пальцевые модульные фрезы. Заточку дисковых и пальцевых модульных фрез производят шлифовальными кругами по передней поверхности с углами: $\gamma = 0^\circ$ – для чистовых фрез и $\gamma = 6...8^\circ$ – для черновых фрез. Задний угол на вершине зуба α у дисковых фрез обычно составляет 10...12°.

Одним из высокопроизводительных и точных методов нарезания зубчатых колес, базирующимся на копировании профиля режущего инструмента, является формообразование зубчатого венца при помощи *многорезцовых зубодолбежных головок*. Данный метод позволя-

ет изготавливать зубчатые колёса 7...8 степени точности. Отличительной особенностью данного метода является то, что долбятся одновременно все впадины обрабатываемого колеса.

При нарезании зубчатого колеса при помощи многорезцовой зубодолбежной головки (рис. 2.2) заготовка 2 устанавливается на штосселе станка 1 и получает вертикальное возвратно-поступательное движение, которое является главным.

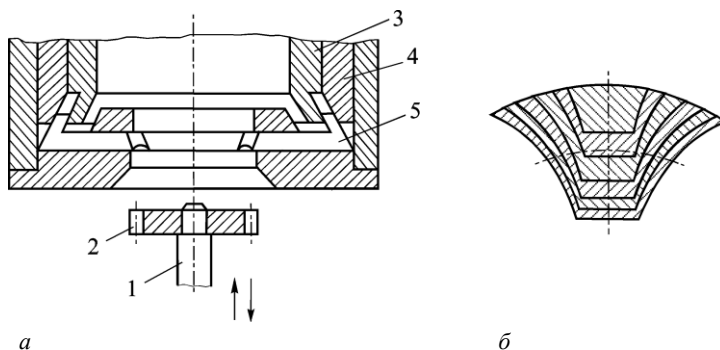


Рис. 2.2. Нарезание зубчатых колес зубодолбежной головкой:
а – схема работы головки; б – схема срезания слоев металла
зубодолбежной головкой [5]

При этом призматические фасонные резцы 5, установленные в радиальных пазах корпуса, перед каждым рабочим ходом заготовки, т.е. перед её движением вверх, получают перемещение в радиальном направлении (движение подачи). Количество резцов равно числу зубьев нарезаемого колеса. Перемещение резцов осуществляется за счет опускания конусов 3 и 4 на величину от 0,5 мм/дв. ход, на начальном этапе нарезания, до 0,03 мм/дв. ход, на конечном этапе. С целью исключения трения резцов об обработанную поверхность перед холостым ходом последние отводятся от заготовки на 0,5 мм с помощью конуса отвода 3. Скорость резания при работе многорезцовыми зубодолбежными головками составляет 3...10 м/мин и зависит от условий обработки. Такие головки рассчитаны на нарезание зубча-

тых колес диаметром до 250 мм и модулем от 2 мм до 10 мм. Неоспоримым преимуществом данного метода по сравнению с зубофрезерованием червячными модульными фрезами и зубодолблением долбьяками является высокая производительность обработки. К недостатку данного метода следует отнести то, что для изготовления зубчатого колеса с определенным числом зубьев и модулем требуется своя индивидуальная головка. Следует отметить, что эти головки сложны в изготовлении и, следовательно, дороги. Поэтому многорезцовые зуборезные головки экономически выгодно использовать в крупносерийном и массовом производстве.

Как уже отмечалось ранее, по методу копирования работают также **круговые протяжки**, предназначенные для нарезания прямозубых и косозубых зубчатых колёс (рис. 2.3). Данный метод обработки отличается высокой производительностью.

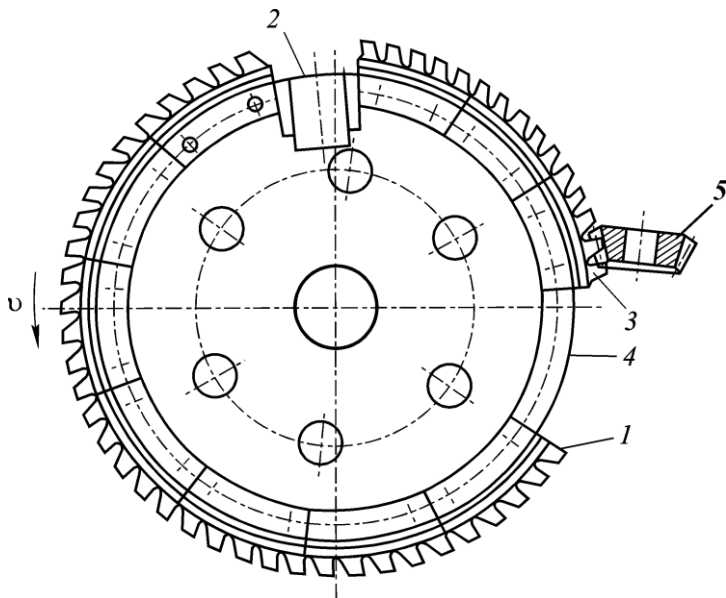


Рис. 2.3. Схема нарезания конического прямозубого колеса круговой протяжкой

При нарезании каждой из впадин зубчатого колеса заготовка 5 остается неподвижной, а круговая протяжка вращается с постоянной скоростью v , т.е. совершает главное движение. Нарезание каждой из впадин выполняется за один оборот круговой протяжки, представляющей из себя диск, на периферии которого расположены черновые, получистовые и чистовые (калибрующие) зубья. Первый черновой зуб обозначен цифрой 1, а последний чистовой зуб – цифрой 3 [5].

Как видно из рис. 2.3, на диске протяжки имеются два участка, обозначенные 2 и 4, незаполненные зубьями. На участке 2 может быть установлено специальное приспособление для снятия фасок с боковых поверхностей зуба, а участок 4 позволяет повернуть заготовку на один зуб без отвода её от протяжки после прорезания впадины зуба. По завершении нарезания зубчатого венца колеса, последнее отводится от протяжки и снимается со станка, после чего цикл обработки повторяется, т.е. нарезается новое зубчатое колесо. Скорость резания при круговом протягивании составляет 15...25 м/мин, а время обработки одной впадины – 2...6 с.

2.3. Нарезание зубчатых колес методом обкатки

При нарезании зубчатых колес *методом обкатки* воспроизводится имитация зацепления зубчатой передачи, а именно: двух зубчатых колес, червяка и червячного колеса или зубчатого колеса и рейки. При этом один из двух элементов, входящих в зубчатую пару, является заготовкой, а другой трансформирован в зуборежущий инструмент. Преимуществом данного метода обработки по сравнению с методом копирования является то, что используя его одним режущим инструментом можно с высокой точностью нарезать зубчатые колеса с разным числом зубьев, но одного модуля. Кроме того, метод обкатки характеризуется высокой производительностью. Нарезание зубчатых колес по методу обкатки осуществляется на специальных зуборезных станках *червячными модульными фрезами, зуборезными долбяками и гребенками, зубострогальными резцами, зуборезными головками и т.д.*

2.3.1. Нарезание зубчатых колес червячными модульными фрезами

Червячными модульными фрезами можно нарезать как цилиндрические прямозубые и косозубые (винтовые) зубчатые колеса, так и червячные колеса. В процессе обработки заготовки воспроизводится имитация зацепления червяка с червячным колесом.

Червячная модульная фреза представляет собой червяк с профилем резьбы в виде зуборезной рейки, превращенный в режущий инструмент путем прорезания стружечных канавок, а также затылования и заточки полученных зубьев [6].

При нарезании цилиндрических прямозубых зубчатых колес ось червячной модульной фрезы устанавливается под углом φ к плоскости, перпендикулярной оси вращения заготовки (рис. 2.4, а).

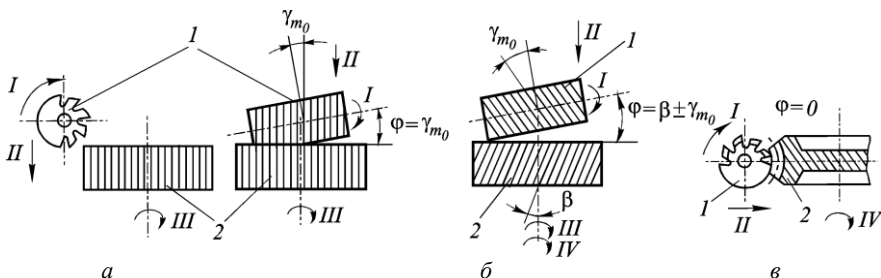


Рис. 2.4. Схемы работы червячной модульной фрезы: а – при нарезании цилиндрических прямозубых колес; б – при нарезании цилиндрических колес с винтовым зубом; в – при нарезании червячных колес; 1 – фреза; 2 – заготовка

При этом величина угла φ равна углу подъема винтовой линии фрезы γ_{m0} на её делительном цилиндре. При нарезании цилиндрических колес с винтовым зубом (рис. 2.4, б) величина угла φ может быть определена по формуле $\varphi = \beta \pm \gamma_{m0}$, где β – угол наклона винтовой линии зуба нарезаемого зубчатого колеса. В указанной формуле знак «плюс» следует принимать при разноименном наклоне зубьев червячной фрезы и нарезаемого зубчатого колеса, а знак «минус» – соответственно при одноименном наклоне. В случае нарезания чер-

вячных колес ось фрезы устанавливается горизонтально, т.е. угол $\varphi = 0^\circ$ (рис. 4, в).

В процессе нарезании зубчатых колес фреза получает вращательное движение *I* вокруг своей оси, которое является главным, и поступательное, являющееся движением подачи. При нарезании цилиндрических колес подача имеет вертикальное направление. Причем при встречном фрезеровании она направлена вниз (рис. 2.4, а, движение *II*), а при попутном фрезеровании – вверх. В случае нарезания червячных колес подача имеет радиальное направление (рис. 2.4, в). При нарезании цилиндрических прямозубых и червячных колёс заготовка, закреплённая на столе станка, получает только вращательное движение *III* вокруг своей оси, которое строго согласовано с вращением червячной фрезы. Обеспечение этого согласованного движения обеспечивает цепь деления зубофрезерного станка. При этом следует отметить, что условие согласования вращения червячной фрезы и заготовки вытекает непосредственно из условия работы червячной пары, а именно: за один оборот фрезы заготовка должна повернуться в окружном направлении на k/z делительной окружности, где k – число заходов червячной фрезы, z – число зубьев нарезаемого колеса.

Отличительной особенностью нарезания зубчатых колес с винтовыми зубьями по сравнению с прямозубыми является то, что к рассмотренным ранее трем движениям следует добавить дополнительное движение *IV* (рис. 2.4, б), которое может быть направлено как по часовой стрелке, так и против часовой стрелки и зависит от направления линии зуба фрезы и нарезаемого колеса.

Скорость резания при зубофрезеровании зависит от стойкости режущего инструмента T , модуля нарезаемого колеса m и вертикальной подачи S_v . Эмпирическая зависимость, связывающая скорость резания с указанными ранее параметрами процесса имеет следующий вид:

$$v = \frac{C'_v}{T^m S_v^{x_v} m^{y_v}} k_v,$$

где C'_v , k_v – коэффициенты, учитывающие конкретные условия резания; x_v , y_v – показатели степеней.

Период стойкости червячных модульных фрез обычно находится в диапазоне от 180 до 500 мин и назначается в зависимости от модуля фрез. Величина вертикальной подачи определяется требованиями, предъявляемые к точности зубчатых колес и шероховатости поверхности боковых поверхностей зубьев, и может изменяться от 0,5 до 5 мм на один оборот заготовки.

Основное (машинное) время, необходимое для нарезания зубчатого колеса, определяется по формуле, мин:

$$T_{оч} = \frac{Lz}{n_{cm} S_g k} i,$$

где L – длина прохода фрезы, состоящая из длины зуба нарезаемого колеса l , величины врезания l_1 и величины перебега l_2 инструмента, мм; z – число зубьев нарезаемого колеса; n_{cm} – число оборотов стола; i – число проходов; k – число заходов фрезы.

Инструментальной промышленностью в соответствии с ГОСТ 9324-80 (в ред. 1992 г.) червячные модульные фрезы изготавливаются трех типов и шести классов точности с $m = 1...25$ мм. Тип 1 – фрезы цельные прецизионные с $m = 1...10$ мм классов точности AAA, AA и наружным диаметром $d_{a0} = 71...180$ мм. Тип 2 – фрезы цельные общего назначения $m = 1...20$ мм классов точности AA, A, B, C, D с $d_{a0} = 40...250$ мм. Тип 3 – фрезы сборные $m = 8...25$ мм классов точности A, B, C, D с $d_{a0} = 180...340$ мм. Рекомендуемое назначение фрез: класс AAA для колес 5 и 6 степеней точности; AA – для колес 7-й степени точности, класс A – для зубчатых колес 8-й степени точности; классы B, C, D – соответственно для колес 9, 10, 11-й степеней точности [10].

Для изготовления червячных модульных фрез применяют как быстрорежущие стали (P6M5, 10P6M5, P9K10, P6M5K5 и др.) так и твердые сплавы (BK6-M, BK8, BK10-OM, T5K10 и др.). Выбор марки инструментального материала зависит от материала нарезаемого колеса.

Основными параметрами, которыми характеризуются червячные модульные фрезы, являются (рис. 2.5, а): наружный диаметр d_{a0} , делительный диаметр d_{m0} , диаметр посадочного отверстия d , число зубьев фрезы z_0 , число заходов фрезы k , длина фрезы L , угол подъема винтовой канавки γ_{m0} , угол наклона стружечных канавок λ_{m0} , полная высота зуба H ; высота профиля зуба h_0 ; толщина зуба в нормальном сечении S_{n0} , ширина впадины в нормальном сечении S_{k0} , величина первого падения затылка K , величина второго падения затылка K_1 , углы режущих кромок: γ , α_ϕ , α_δ [5].

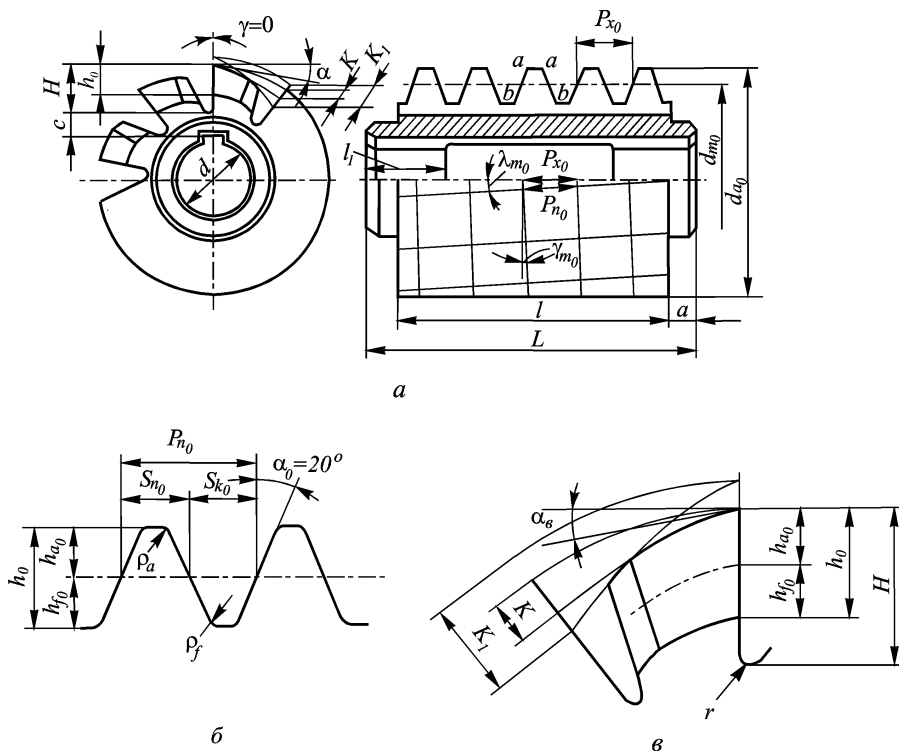


Рис. 2.5. Червячная модульная фреза:

а – конструктивные элементы и геометрические параметры;
б – профиль зуба в нормальном сечении; в – параметры зуба червячной фрезы

Наружный диаметр фрезы d_{a0} является одним из важнейших параметров червячной модульной фрезы, влияющим на её функциональные параметры. Увеличение диаметра фрезы d_{a0} благоприятно сказывается на процессе зубонарезания зубчатых колес, так как при этом уменьшается угол подъема витков γ_{m0} и соответственно повышается точность обработки, повышается стойкость режущего инструмента и производительность обработки. В то же время увеличение d_{a0} приводит к увеличению расхода инструментального материала, росту величины крутящего момента на шпинделе станка, возникновению трудностей при эксплуатации фрез. Диаметр посадочного отверстия d выбирается из нормального ряда отверстий: 13, 16, 22, 27, 32, 40, 50 мм.

При проектировании фрез должно выдерживаться следующее соотношение

$$d_{a0} \geq d + 2H + 2c,$$

где c – толщина стенки фрезы.

Червячные модульные фрезы, также как и фасонные фрезы [9], относятся к группе фрез с затылованной формой зуба, т.е. задняя поверхность на вершине и боковых сторонах каждого зуба очерчена по спирали Архимеда. При этом падение затылка можно определить по зависимости

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_e,$$

где z_0 – число зубьев фрезы; α_e – задний угол на вершине зуба.

У червячных модульных фрез, предназначенных для чистовой обработки, зубья шлифуются. Поэтому для обеспечения выхода шлифовального круга делается двойное затылование. Величина второго затылования $K_1 = (1,2 \dots 1,7)K$ (рис. 2.5, в).

Как видно из рис. 2.5, каждый зуб фрезы имеет три режущие кромки, одна из которых периферийная $a-a$, расположенная на вершине зуба, и две боковые $a-b$. Задний угол на вершине зуба, как пра-

вило, составляет $8^{\circ} \dots 10^{\circ}$. Боковые задние углы α_{ϕ} в нормальном сечении к боковым режущим кромкам не должны быть меньше 2° в противном случае возможен их усиленный износ. Величину боковых задних углов можно определить по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{\phi} = \operatorname{tg} \alpha_{\phi} \sin \alpha_0,$$

где α_0 – угол зацепления. Передний угол γ для прецизионных и чистовых фрез задается равным нулю, а для черновых фрез составляет $5 \dots 10^{\circ}$.

У червячных модульных фрез высота головки h_{a0} и высота ножки h_{f0} назначаются равными $1,25m$, поэтому высота профиля зуба составит $h_0 = h_{a0} + h_{f0} = 2,5m$ (рис. 2.5, б, в). Полная высота зуба превышает высоту его профиля и может быть определена по формуле $H = h_0 + K + r$, где r – радиус закругления на дне стружечной канавки.

У фрез, предназначенных для черновой и чистовой обработки зубчатых колес, толщины S_{n0} зубьев в нормальном сечении различаются. Так у черновых фрез $S_{n0} = P_{n0} - S_{k0} - \Delta$, а у чистовых $S_{n0} = P_{n0} - S_{k0}$, где Δ – припуск на чистовую обработку, который составляет $0,4 \dots 1,5$ мм.

Величина делительного цилиндра у червячных фрез рассчитывается по формуле $d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0}$. Если учесть, что переточка червячных модульных фрез производится по передней поверхности, то по мере роста числа переточек значение d_{m0} будет уменьшаться, а, следовательно, будет увеличиваться угол подъема винтовой канавки γ_{m0} , что, в свою очередь, приведет к снижению точности нарезания зубчатых колес. Поэтому с целью обеспечения заданной точности нарезаемых зубчатых колес теоретическую (расчетную) величину d_{m0}

задают для сечения, отстоящего от передней поверхности зуба фрезы на расстоянии равном $0,1 \dots 0,25$ окружного шага [5]:

$$d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - 2\sigma K,$$

σ – коэффициент ($\sigma = 0,10 \dots 0,15$ [3]); K – величина падения за-
тылка.

На производительность и точность нарезания зубчатых колес влияет такой конструктивный параметр фрез, как число заходов. В настоящее время наибольшее распространение получили однозаходные фрезы, однако имеет место опыт применения и многозаходных червячных модульных фрез с числом заходов до $k=4$. В отличие от однозаходных фрез многозаходные фрезы целесообразно применять для предварительного формообразования зубчатых колес, т.е. таких колес, которые в последующем будут подвергнуты зубоотделочной обработке, а именно: шевингованию или шлифованию. Многозаходные фрезы обладают большей стойкостью и позволяют повысить производительность обработки.

Стружечные канавки у червячных фрез могут располагаться как перпендикулярно виткам фрезы ($\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$), так и параллельно оси фрезы ($\lambda_{m0} = 0$). Последние фрезы более технологичны в изготовлении и заточке.

Для формообразования червячных зубчатых колес применяют червячные модульные фрезы, параметры $(d_{a0}, d_{m0}, \gamma_{m0}, m)$ которых полностью соответствуют параметрам червяков, находящихся в контакте с нарезанными зубчатыми колесами. Эти фрезы чаще всего являются фрезами специального назначения.

2.3.2. Нарезание зубчатых колес долбьями

Зуборезный долбьяк – это режущий инструмент, выполненный в виде корригированного зубчатого колеса, снабженного передними и задними углами на вершине и боковых сторонах зубьев.

Долбяки предназначены для нарезания прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес с наружным и внутренним зацеплением, а также для нарезания шевронных колес.

Нарезание зубчатых колес основано на имитации зацепления двух цилиндрических колес. При этом одно зубчатое колесо является режущим инструментом (долбяком), а второе (нарезаемое) – заготовкой. Долбяк закрепляется на штосселе (рис. 2.6) зубодолбежного станка и совершает возвратно-поступательное движение *I*.

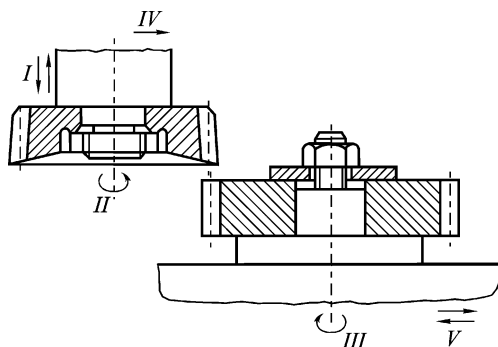


Рис. 2.6. Схема нарезания зубчатого колеса долбяком

При нарезании прямозубых колес это движение является прямолинейным, а при нарезании косозубых – винтовым. Главное движение или движения резания совершается при перемещении долбяка вниз, а холостой ход при движении его вверх. При этом следует поворот долбяка (движение *II*) относительно заготовки, т.е. выполняется обкаточное движение.

Скорость главного движения (скорость резания) определяется по формуле

$$v = \frac{2 \cdot l \cdot n}{1000},$$

где *l* – длина хода долбяка, которая равна длине зуба нарезаемого колеса и величинам недобега и перебега, составляющим в сумме 5...7 мм; *n* – число двойных ходов долбяка в минуту.

Скорость вращения долбяка задается величиной круговой подачи $S_{кр}$, определяющей толщину слоя материала, срезаемого боковыми режущими кромками, и выражаемой длиной дуги делительной окружности долбяка, на которую он поворачивается за один двойной ход (мм/дв.ход). Величина круговой подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, модуля нарезаемого колеса, степени точности, шероховатости поверхности и т.д. Обычно она составляет 0,1...0,5 мм/дв.ход.

В процессе обработки заготовка, закрепленная на столе зубодолбежного станка, совершает непрерывное вращательное движение *III* строго согласованное с вращением долбяка, т.е. за время поворота долбяка на один зуб заготовка также поворачивается на один зуб.

Помимо указанных ранее движений зуборезный долбяк совершает движение радиальной подачи *IV*, обеспечивающее врезание долбяка в заготовку. Для исключения трения задней поверхности зуба долбяка о заготовку при холостом ходе либо долбяк отводится от заготовки, либо стол станка от долбяка. При движении резания долбяк и стол занимают исходное состояние. На рис. 2.6 эти перемещения обозначены как движение *V*.

Процесс зубодолбления обеспечивает более высокую точность по сравнению с процессом зубофрезерования, вместе с тем существенно уступает ему по производительности, что обусловлено наличием холостого хода. Поэтому нарезание зубчатых колес методом зубодолбления целесообразно осуществлять в том случае, когда нельзя использовать процесс зубофрезерования, например, при нарезании блоков зубчатых колес, шевронных колес, а также зубчатых колес с внутренним зацеплением.

В машиностроении применяют различные типы зуборезных долбяков. По способу крепления на штосселе станка **долбяки делятся на насадные** (рис. 2.7, а, б, в) **и хвостовые** (рис. 2.7, г, д). В свою очередь насадные долбяки по конструктивному исполнению подразделяются на **дисковые** (см. рис. 2.7, а, б) **и чашечные** (рис. 2.7, в).

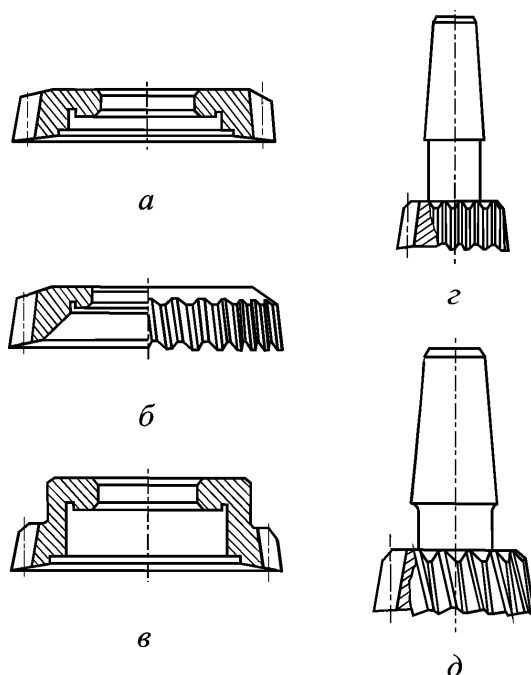


Рис. 2.7. Типы стандартных долбляков [5]:

a – дисковый прямозубый; *б* – дисковый косозубый; *в* – чашечный прямозубый;
г – хвостовой прямозубый; *д* – хвостовой косозубый

Насадные долбляки используются для нарезания прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес наружного зацепления. При этом следует отметить, что для нарезания косозубых и шевронных колес применяются косозубые долбляки. Отличительной особенностью дисковых долбляков от чашечных долбляков является то, что у чашечных долбляков, как видно из рис. 2.7, *в*, элементы крепления располагаются в специальной выемке, а это исключает возможность их контакта с упором, имеющего место, например, при изготовлении блока зубчатых колес.

Хвостовые долбяки имеют небольшой диаметр и применяются в основном для нарезания колес с внутренним зацеплением и мелко-модульных зубчатых колес ($m < 1$).

В соответствии с ГОСТ 9323-79 долбяки изготавливают трех классов точности АА, А и В и пяти типов, из которых: тип I – дисковые прямозубые, тип II – дисковые косозубые, тип III – чашечные прямозубые, тип IV – хвостовые прямозубые и тип V – хвостовые косозубые. Долбяки класса точности АА применяются для изготовления зубчатых колес 6-й степени точности, а классов точности А и В – соответственно для 7-й и 8-й степеней точности.

Несмотря на некоторые конструктивные отличия, все указанные ранее типы долбяков имеют общие основные элементы.

На рис. 2.8 представлены конструктивные элементы и геометрические параметры дискового прямозубого долбяка.

Так как долбяк, как уже отмечалось, представляет собой скорректированное зубчатое колесо с непрерывно изменяемым смещением профиля инструментальной рейки по длине зуба, то его геометрия задается в трех характерных сечениях, расположенных перпендикулярно к оси долбяка. В сечении I–I с максимально положительным смещением профиля, в сечении II–II с нулевым смещением профиля и в сечении III–III с максимально отрицательным смещением профиля, до которого возможна переточка долбяка, выполняемая по передней поверхности (рис. 2.8, а, б).

Сечение II–II называется *исходным*, в котором все параметры являются расчётными, а расстояние от него до переднего торца – *исходным расстоянием нового долбяка*. Соответственно расстояние от сечения II–II до сечения III–III будет исходным расстоянием A_c окончательно сточенного долбяка.

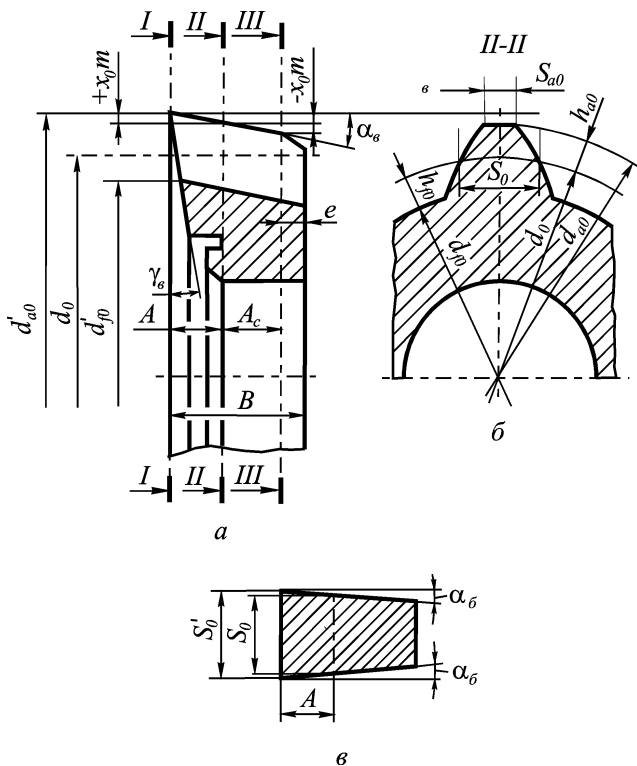


Рис. 2.8. Конструктивные элементы и геометрические параметры
дискового прямозубого долбяка

У стандартных долбяков, предназначенных для нарезания зубчатых колес с углом профиля $\alpha_0 = 20^\circ$ величины переднего γ_0 и заднего α_0 углов соответственно равны 5° и 6° .

Величина x (см. рис. 2.8, а) называется радиальным смещением профиля, а отношение величины x к модулю m называется коэффициентом смещения долбяка и обозначается как $x_0 = \frac{x}{m}$. С другой стороны, как видно из этого же рисунка, $x = A \cdot \tan \alpha_0$, откуда

$$A = \frac{x_0 m}{\operatorname{tg} \alpha_s};$$

$$A_c = \frac{|-x_0 m|}{\operatorname{tg} \alpha_s}.$$

Следует отметить, что значения величин A и A_c могут быть как равны между собой, так и отличаться, причем иногда достаточно существенно, в зависимости от модуля и числа зубьев долбяка. Значения этих величин зависят также от числа зубьев нарезаемых колес и технологических условий изготовления долбяков [3].

Основными геометрическими параметрами долбяков, в частности для исходного сечения, являются: диаметр окружности выступов d_{a0} ; диаметр делительной окружности $d_0 = mz_0$, где m – модуль, z_0 – число зубьев долбяка; диаметр окружности впадин d_{f0} ; высота головки зуба $h_{a0} = 1,25m$; высота ножки зуба $h_{f0} = 1,25m$; толщина зуба по делительной окружности $S_0 = \pi m / 2$; толщина зуба по наружному диаметру S_{a0} .

От величины смещения x меняется соотношение высот головки и ножки зуба долбяка, а, следовательно, и размеры окружностей выступов и впадин долбяка. При этом высота зубьев остается неизменной во всех сечениях [3].

Для сечения $I-I$, исходя из ранее изложенного, геометрические параметры рассчитываются по формулам:

– высота головки зуба

$$h'_{a0} = 1,25m + x_0 m;$$

– диаметр окружности выступов

$$d'_{a0} = d_0 + 2h'_{a0} = mz_0 + 2,5m + 2x_0 m;$$

– высота ножки зуб

$$h'_{f0} = 1,25m - x_0 m;$$

– диаметр окружности впадин

$$d'_{f0} = d_0 - 2h'_{f0} = mz_0 - 2,5m + 2x_0m ;$$

– полная высота зуба

$$h_0 = h'_{a0} + h'_{f0} .$$

В обозначении указанных параметров штрих указывает на то, что он относится к сечению $I-I$.

Аналогичным образом можно записать расчетные формулы и для сечения $III-III$. Однако в этом случае необходимо перед сомножителем x_0m сменить знак с положительного на отрицательный и ввести в обозначение параметров два штриха ($h''_{a0}m$, h''_{f0} , d''_{a0} , d''_{f0}).

Для боковых режущих кромок зуба долбяка задний угол α_δ рассматривается в плоскости, касательной к делительному цилиндру (см. рис. 2.8, в) и рассчитывается по формуле

$$tg \alpha_\delta = tg \alpha_\epsilon \sin \alpha_0 ,$$

где α_0 – угол зацепления.

2.4. Зубоотделочные операции

Для повышения степени точности и снижения величины шероховатости зубчатых колес, снижения шума в передаче используются различные зубоотделочные операции. Наибольшее распространение среди них получили *шевингование и шлифование*.

Шевингование. Шевингование – процесс отделки зубчатых колес средней твердости (обычно $\leq 40HRC_{\text{с}}$) при помощи специального инструмента – шевера, срезающего с боковых поверхностей зуба тонкую стружку (5-15 мкм). При шевинговании обеспечиваются 6-7 степени точности зубчатых колес и шероховатость поверхности $Ra = 0,63...0,16$ мкм.

Шеверы могут иметь различную конструкцию, но наиболее часто представляют собой косозубые зубчатые колеса, зубья которых снабжены неглубокими канавками, расположенными параллельно торцам или перпендикулярно направлению зуба. Наибольшее распространение среди них получили дисковые шеверы (рис. 2.9). В последнее время этот процесс применяют также для обработки закаленных колес при использовании абразивных шеверов.

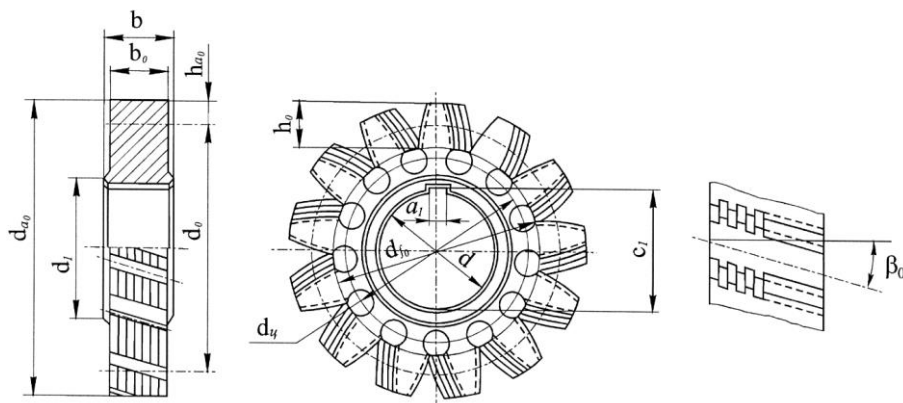


Рис. 2.9. Конструктивные параметры дискового шевера

Основными конструктивными параметрами дисковых шеверов являются: диаметр окружности вершин зубьев (наружный диаметр) d_{a0} ; делительный диаметр d_0 ; диаметр окружности впадин d_{f0} ; диаметр посадочного отверстия d ; нормальный модуль m_{n0} ; число зубьев z_0 ; ширина шевера по венцу b_0 ; угол наклона винтовой линии зуба β_0 ($\beta_0 = 0^\circ; 5^\circ; 15^\circ$).

При шевинговании уменьшаются погрешности профиля, основного шага, волнистость боковой поверхности зубьев (циклическая погрешность), увеличивается пятно контакта по высоте зуба и др.

Основные факторы, влияющие на точность шевингования: точность шевра и станка, точность и жесткость установки шевра и обрабатываемого колеса, точность предварительно нарезанного колеса и его базовых поверхностей.

При шевинговании отсутствует жесткая кинематическая связь между шевером и заготовкой, поэтому этот процесс не исправляет или незначительно исправляет накопленную погрешность окружного шага, разность окружных шагов, направление линии зуба. В процессе шевингования зубья шевра и обрабатываемого колеса сцеплены между собой. Одному из элементов этого зацепления сообщается принудительное вращение. Кроме того, шеверу или колесу сообщается два поступательных движения: одно возвратно-поступательное вдоль оси, другое – периодическое – перпендикулярно оси. Шевер и колесо установлены на станке под углом скрещивания φ друг к другу, поэтому между зубьями шевра и колеса при их вращении происходит осевое скольжение. Зубья шевра закалены до высокой твердости (63...66 HRC₃) и имеют на боковых поверхностях канавки, которые образуют режущие кромки.

Принцип шевингования состоит в следующем. Если цилиндрическое зубчатое колесо с прямыми зубьями перекачивать по рейке с косыми зубьями параллельно торцу рейки, то оно кроме вращательного движения получает еще и поступательное перемещение вдоль своей оси. Если зубчатое колесо удерживать от осевого перемещения, то при перекачивании колеса по неподвижной рейке между зубьями возникает усиленное скольжение. Скорость этого скольжения и есть скорость резания при шевинговании. На рис. 2.10, *a* показана схема работы шевра. Если точка *A* на поверхности шевра при его повороте переместится в положение *A*₂, то точка *A*, лежащая на поверхности колеса, перейдет в точку *A*₁, следовательно, произойдет как бы относительное скольжение зуба шевра вдоль зуба колеса. В результате скольжения острые кромки закаленного до высокой твердости шевра срезают (соскабливают) с боковых поверхностей зуба колеса тонкие волосообразные стружки.

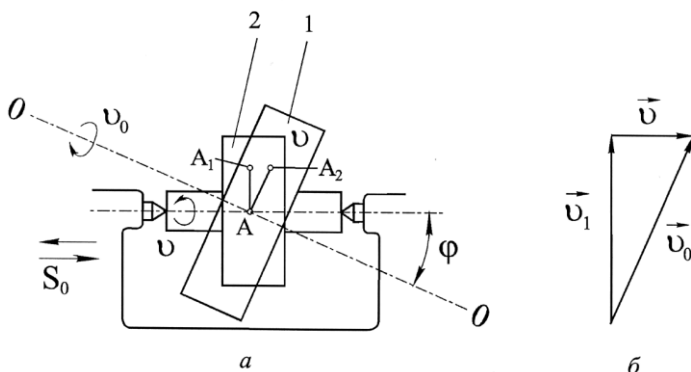


Рис. 2.10. Схема работы дискового шевра (а) и план скоростей при обработке шевром цилиндрических прямозубых колес (б): 1 – шевр; 2 – колесо зубчатое

Если представить в векторной форме скорости перемещений контактирующих точек шевра и колеса, обозначив их соответственно $\vec{v}_0$ и $\vec{v}_1$, то из плана скоростей (рис. 2.10, б) можно видеть, что относительное скольжение зубьев шевра и колеса определяется разностью векторов $\vec{v}_0$ и $\vec{v}_1$, то есть вектором $\vec{v}$, который и определяет скорость резания при шевинговании. Тогда при шевинговании цилиндрических колес скорость резания составляет:

– для прямозубых колес $v = v_0 \sin \varphi$;

– для косозубых колес $v = v_0 \frac{\sin \varphi}{\cos \beta_1}$,

где φ – угол скрещивания осей шевра и колеса; β_1 – угол наклона зубьев колеса; v_0 – окружная скорость шевра, определяемая по формуле

$$v_0 = \frac{\pi d_0 n_0}{1000},$$

где d_0 – диаметр делительной окружности шевра; n_0 – число оборотов шевра.

Среди известных кинематических схем шевингования дисковыми шеверами чаще всего применяется шевингование с (осевой) продольной подачей (см. рис. 2.10, *а*). Этот метод шевингования наиболее широко применяется при обработке широкой номенклатуры зубчатых колес, изготавливаемых малыми партиями.

При шевинговании направление подачи происходит параллельно оси обрабатываемого колеса. Ось шевера, установленного на шпинделе станка, поворачивают на угол скрещивания φ к оси зубчатого колеса.

Величина угла скрещивания φ определяется по формуле

$$\varphi = \beta_1 \pm \beta_0,$$

где β_1 – угол наклона зуба шевингуемого колеса; β_0 – угол наклона линии зуба шевера.

Знак «плюс» ставят при совпадающих, а «минус» – при противоположных направлениях винтовых линий зубьев колеса и шевера.

Стол станка с обрабатываемым колесом совершает возвратно-поступательное движение. В конце каждого продольного хода стола осуществляется радиальная подача стола на $S_p = 0,02–0,06$ мм/ход с одновременным изменением направления вращения шевера. Сближение шевера и колеса после каждого прохода продолжается до того момента, когда толщина обрабатываемого зуба не достигнет заданного размера. Операция шевингования заканчивается несколькими калибрующими ходами без радиальной подачи стола.

Зубошлифование. Зубошлифование относится к отделочным операциям обработки зубчатых колес, в процессе которого может обеспечена 4...7-я степени точности. Преимуществом зубошлифования по сравнению с другими видами обработки является то, что этот метод позволяет обрабатывать зубчатые колеса любой твердости. При этом шлифование может производиться как методом копирования, так и обкатки.

При шлифовании по методу копирования рабочий профиль шлифовального круга является точной копией профиля впадины между

зубьями (рис. 2.11, *а*). При этом абразивному кругу сообщается вращательное движение I вокруг своей оси и возвратно-поступательное вдоль образующей зуба, а радиальная подача S_p производится периодически на каждый двойной ход. После шлифования впадины производится поворот зубчатого колеса на $1/z$ часть окружности (где z — число зубьев обрабатываемого колеса) и выполняется обработка следующей впадины.

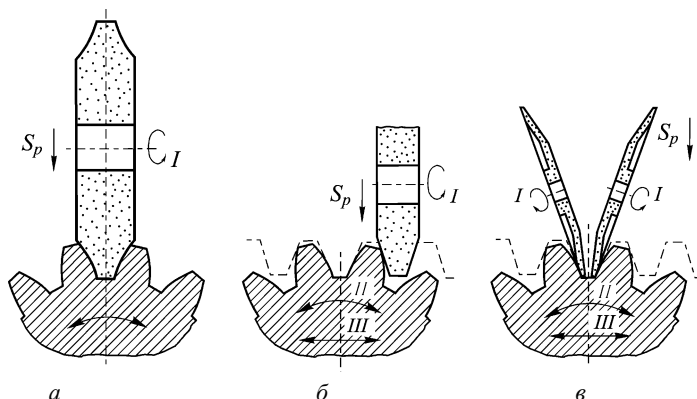


Рис. 2.11. Схемы зубошлифования:

а — профильным кругом; *б* — кругом с коническим профилем;

в — тарельчатыми кругами

При шлифовании зубчатого колеса по методу обкатки абразивный круг (или круги) копирует профиль зубчатой рейки, показанной на рис. 2.11, *б, в* пунктиром, и обкатывается с колесом, повторяя обкатывание зубчатой рейки с колесом. В качестве режущих инструментов могут использоваться либо один шлифовальный круг с коническим профилем (рис. 2.11, *б*), либо два тарельчатых круга (рис. 2.11, *в*). В процессе шлифования круги получают вращательное I и возвратно-поступательное (вдоль линии зуба) движения, а обрабатываемое зубчатое колесо вращается вокруг своей оси (движение II) и одновременно перемещается прямолинейно (движение III). При этом поступательное движение зубчатого колеса согласовано с его вращением так, что оно как бы катится по воображаемой рейке. При обка-

точном движении стола зубошлифовального станка в одном направлении обрабатывается одна боковая поверхность зуба, а при его движении в противоположном направлении шлифуется вторая боковая поверхность зуба в той же впадине. После обработки одной впадины колесо поворачивается на один зуб, т.е. осуществляется делительное движение [5].

Шлифование зубчатых колес может осуществляться также методом обкатки червячными шлифовальными кругами. Осевое сечение червячного круга представляет собой исходную зубчатую рейку. При этом способе обработки для зубчатых колес одного модуля необходимо применять круг соответствующего модуля. На станках с червячным кругом обработку выполняют, непрерывно вращая инструмент и заготовку (рис. 2.12).

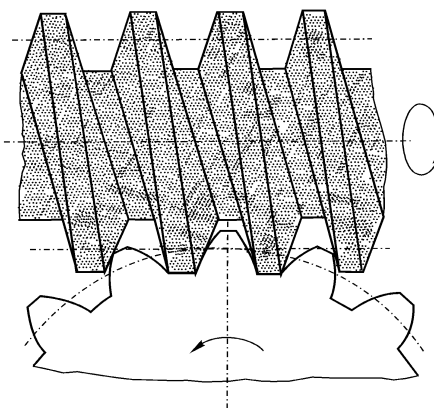


Рис. 2.12. Шлифование зубчатого колеса и использованием абразивного червяка

Припуск на шлифование зубчатых колес составляет 0,2...0,3 мм на сторону. При этом радиальная подача на черновых проходах равна $S_p = 0,04...0,05$ мм/дв.ход, а на чистовых — $S_p = 0,01...0,015$ мм/дв.ход. Время обработки одного зуба составляет 1...3 минуты. Следует отметить, что наивысшая точность среди рассмотренных методов шлифования обеспечивается использованием тарельчатых кругов (4-5

степени точности), меньшая точность достигается при использовании кругов с двухсторонним коническим профилем (5-6 степени точности) и самая низкая точность (6-7 степени точности) обеспечивается при методе копирования фасонными кругами.

Процесс шлифования зубчатых колес, изготавливаемых, например, из низколегированных сталей 40Х, 40ХН, 35ХМ, цементированных 12ХНЗА, 20ХН2М, 16ХЗНВФМБ-Ш, 13ХЗНВМ2Ф-Ш и др. нередко сопровождается дефектами в виде шлифовочных прижогов и трещин. Исключение данных дефектов возможно либо за счет изменения режимов обработки, либо изменения конструкции и характеристики абразивного инструмента. Перспективным направлением является использование шлифовальных кругов с прерывистой режущей поверхностью, а именно прерывистых, композиционных и комбинированных [9]. Рабочая поверхность прерывистых шлифовальных кругов выполнена в виде чередующихся режущих выступов и впадин. У композиционных шлифовальных кругов впадины на рабочей (режущей) поверхности круга заполнены твердой смазкой, например, выполненной на основе графита или дисульфида молибдена. Комбинированные шлифовальные круги представляют собой некий симбиоз прерывистых и композиционных кругов. В смазывающе-охлаждающих элементах (сегментах) этих кругов перед режущими выступами расположены впадины.

Для контроля шлифовочных прижогов в производственных условиях в настоящее время наибольшее распространение получил метод травления в специальных реактивах. Контроль прижогов по данному методу основан на различной травимости структурных составляющих материала на обработанной поверхности. При наличии на шлифованной поверхности участков с прижогами отпуска, характеризующимися троститной или тростосорбитной структурой, после травления эти участки будут иметь вид темных пятен или штрихов. Участки с прижогами вторичной закалки после травления будут иметь вид белых строчек или полос.

3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАНКАХ

3.1. Тенденции развития современного станкостроения

Металлорежущие станки – это технологические машины, предназначенные для размерной обработки заготовок в основном путем снятия стружки и обеспечивающие требуемое качество обработанной поверхности. Учитывая, что на станках помимо заготовок из металлов обрабатывают также заготовки из других материалов, то термин «металлорежущий станок» является в настоящее время достаточно условным.

Уровень состояния металлорежущего оборудования является главным фактором, определяющим развитие практически всех отраслей народного хозяйства страны. Поэтому знание тенденций развития современных металлорежущих станков, является необходимым условием при проектировании и производстве металлорежущего оборудования.

Основными тенденциями развития современного станкостроения являются:

- снижение себестоимости изготовления станков;
- увеличение производительности труда;
- повышение технологической гибкости станков;
- повышение уровня автоматизации;
- возрастание точности обработки;
- повышение надежности станков;
- повышение экологичности станков.

Снижение себестоимости изготовления станков достигается за счёт упрощения их конструкции, кинематики и агрегатизования станков.

Увеличение производительности труда осуществляется путем сокращения основного и вспомогательного времени, применения новых инструментальных материалов и высокоскоростной обработки. А это в свою очередь может быть обеспечено за счёт увеличения мощности приводов главного движения и движения подачи, увеличения

частоты вращения шпинделей, скорости движения подач рабочих органов станка, а также за счёт сокращения времени смены инструментов, установки заготовок и съема деталей со станка.

Повышение технологической гибкости станков достигается на основе расширения их технологических возможностей, а также путем применения манипуляторов и автооператоров для смены инструментов, заготовок и деталей.

Повышение уровня автоматизации станков обеспечивается за счёт автоматизации вспомогательных функций, автоматического контроля заготовок в процессе их обработки и диагностики состояния станков.

Возрастание точности обработки достигается применением новых более точных кинематических структур и обеспечением высокой жесткости деталей и сборочных единиц станка, а также прямым измерением перемещений рабочих органов и использованием различных адаптивных систем управления станком. Причем заявленная точность станка должна обеспечиваться в течение всего времени его эксплуатации.

Повышение надежности станков обеспечивается, во-первых, за счёт применения проверенных технических решений при их проектировании и использования новых высокопрочных конструкционных материалов и технологий изготовления деталей и сборочных единиц станков, а, во-вторых, за счет оснащения станков различными датчиками и системами диагностики, обеспечивающими контроль систем станка в процессе работы и осуществляющими его останов до наступления отказа.

Повышение экологичности станков осуществляется за счёт реализации конструктивных решений, обеспечивающих минимальное загрязнение окружающей среды, а также за счёт наличия возможности обработки материалов без использования смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС).

Следует отметить, что указанные ранее тенденции развития станкостроения относятся ко всему станочному парку, как оснащенного системами ЧПУ, так и не обладающими данными системами.

3.2. Классификация и система обозначения металлорежущих станков

Металлорежущие станки могут быть классифицированы по различным признакам.

По технологическому принципу обработки (назначению станка, характеру обрабатываемых поверхностей, схеме обработки и т.д.) Экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМС) разработана единая классификация и система обозначения станков отечественного производства.

В основу классификации станков положен технологический принцип обработки. Классификация построена по десятичной системе, которая учитывает назначение станка, характер обрабатываемых поверхностей, схему обработки и др. Все станки за исключением специальных подразделяются на десять групп: 0 – резервные; 1 – токарные; 2 – сверлильные и расточные; 3 – шлифовальные и доводочные; 4 – для электрофизической и электрохимической обработки; 5 – зубо- и резьбообрабатывающие; 6 – фрезерные; 7 – строгальные, долбежные и протяжные; 8 – разрезные; 9 – разные, которые в свою очередь подразделяются на типы. Например, токарные станки подразделяются на следующие типы: 1 – одношпиндельные автоматы и полуавтоматы; 2 – многошпиндельные автоматы или полуавтоматы; 3 – револьверные; 4 – сверлильно-отрезные; 5 – карусельные; 6 – винторезные; 7 – многорезцовые; 8 – специализированные; 9 – разные токарные. Типы остальных станков приведены в работах [5, 8].

Система обозначения станков основана на присвоении каждой модели станка определенного номера. Обозначение модели станка состоит из трех (или четырех) цифр, иногда с добавлением прописных букв, обозначающих дополнительную характеристику. Первая

цифра в обозначении указывает группу, к которой относится станок; вторая – тип станка в данной группе; третья (или третья и четвертая) – характеризует основные технологические особенности станка (например, наибольший диаметр обрабатываемой детали, наибольший диаметр инструмента, размеры стола станка и т.д.) [5].

Прописная буква после первой или второй цифры указывает на модернизацию станка. Буква, стоящая после всех цифр, обозначает модификацию базовой модели станка или его технологические особенности (например, класс точности).

В качестве примеров рассмотрим несколько обозначений станков:

1) станок 16К20П. Первая цифра означает, что станок относится к токарной группе. Вторая цифра 6 указывает, что станок токарно-винторезный. Третья и четвертая цифры означают – высота центров 200 мм. Буква К после второй цифры показывает, что станок неоднократно модернизировался, а буква П после обозначения модели означает, что станок повышенного класса точности;

2) станок 6Р82. Цифра 6 указывает на то, что станок принадлежит к фрезерной группе. Буква Р означает, что станок многократно модернизировался. Цифра 8 говорит о том, что тип станка – горизонтально-консольный, а последняя цифра 2 означает – станок оснащен столом №2 (320х1250 мм).

В станках, оснащенных системами числового программного управления (СЧПУ), в обозначение вводят буквы Ц, Т или сочетание буквы Ф с цифрой – Ф1...Ф4. Буквы Ц и Т означают, что станки оснащены соответственно цикловой и оперативной системами. Сочетание буква Ф с цифрой определяет тип системы ЧПУ по характеру движения рабочих органов: Ф1 – станки с цифровой индикацией, в том числе с предварительным набором координат; Ф2 – станки с позиционными прямоугольными системами управления координат; Ф3 – станки с контурными прямолинейными и криволинейными системами управления координат; Ф4 – станки с универсальными системами управления координат для позиционно-контурной обработки.

По степени универсальности металлорежущие станки подразделяются на специальные, специализированные и универсальные [12].

Специальные станки предназначены для обработки заготовок одного типоразмера (нередко – одной поверхности). Такие станки применяются в крупносерийном и массовом производствах.

Специализированные станки используют для обработки заготовок, сходных по конфигурации и имеющих размеры, находящиеся в некотором определенном диапазоне. К ним относятся зубо- и резьбо-обрабатывающие станки, станки для обработки коленчатых валов, токарно-затыловочные станки и др. Эти станки применяются преимущественно в серийном и крупносерийном производствах.

Универсальные станки предназначены для выполнения значительного числа операций при обработке разнообразных заготовок. К этим станкам относятся токарно-винторезные, токарно-револьверные, сверлильные, универсальные круглошлифовальные и другие станки. Следует отметить, что данные станки могут выполняться как с ручным управлением, так и оснащаться системами ЧПУ.

По степени автоматизации станки делят на **автоматы, полуавтоматы и станки с ручным управлением**. В станках **автоматах** все основные и вспомогательные движения, необходимые для технологического цикла обработки заготовок, осуществляются без вмешательства человека; в станках **полуавтоматах** весь цикл обработки заготовок производится автоматически, но для установки заготовок, пуска станка и снятия деталей необходимо вмешательство станочника. **Станки с ручным управлением** – это, как правило, механизированные станки, которые обладают автоматической функцией (например, подачи инструмента или стола).

Важнейшей характеристикой каждого станка является его геометрическая точность. **В зависимости от точности выполняемых работ** станки подразделяют на пять классов: нормальной точности (Н), повышенной точности (П), высокой точности (В), особо высокой точности (А) и особо точные (С).

Станки классов точности В, А, и С называют прецизионными [12]. Такие станки следует располагать в цехах, в которых поддерживаются

нормальные условия работы: температура – 20°C ; давление – 760 мм рт. ст.; относительная влажность – 58%.

В зависимости от массы станки делят на *легкие* (до 1 т), *средние* (до 10 т), *тяжелые* (свыше 10 т). Тяжелые станки, в свою очередь, делят на *крупные* (св.10 до 30 т), *собственно тяжелые* (св. 30 до 100 т) и *особо тяжелые, уникальные* (св. 100 т) [12].

В зависимости от расположения шпинделя различают станки с *вертикальным, горизонтальным и наклонным* расположением шпинделя.

По степени концентрации операций металлорежущие станки делятся на одно– и многопозиционные. Под концентрацией операций понимается возможность одновременной обработки на станке нескольких поверхностей заготовки различными инструментами. На однопозиционном станке одновременно обрабатывается несколько поверхностей заготовки различными инструментами, а на многопозиционном станке количество одновременно обрабатываемых заготовок может составлять две и более и определяется только возможностью станка.

3.3. Движения в станках

Для осуществления процесса резания каждый станок имеет ряд рабочих органов, которым сообщаются движения, определяемые назначением станка и характером выполняемых на нем работ.

Движения на станках делятся на две категории:

1) основные (движения формообразования), к которым относятся главное движение резания, движение подачи и в некоторых группах станков также движение деления, движение обкатки и дифференциальное;

2) вспомогательные движения не связанные с процессом резания (закрепление заготовки, закрепление инструмента, установка частоты оборотов и величины подач и т.д.).

Главное движение резания (D_r) – это прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью.

Движение подачи (D_s) – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания и которое предназначено для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

При обработке на токарных станках главное движение резания (вращательное) совершает заготовка, а инструмент производит движение подачи (рис. 3.1, *а*).

В случае работы на расточных, сверлильных (рис. 3.1, *б*) и фрезерных (рис. 3.1, *в-д*) станках, наоборот, главное движение (вращательное) совершают инструменты, а движение подачи может осуществлять как заготовка, так и инструмент. На строгальных и долбежных (рис. 3.1, *е*) станках главное движение – возвратно-поступательное совершает инструмент.

Движение деления предназначено для осуществления заданного углового или линейного перемещения заготовки относительно инструмента. Движение деления может быть как непрерывным, так и прерывистым. Непрерывное движение деления имеет место в зубодолбежных, зубофрезерных, затыловочных и других станках. Прерывистое движение деления осуществляют, например, при нарезании прямозубых зубчатых колес методом копирования. Прерывистое движение деления на станке выполняют при помощи специальных механизмов: универсальной делительной головки, храпового механизма, мальтийского креста и т.д.

Движение обката – это строго согласованное движение режущего инструмента (червячной модульной фрезы, зуборезного долбяка и т.д.) с обрабатываемой заготовкой, воспроизводящее зацепление кинематической пары.

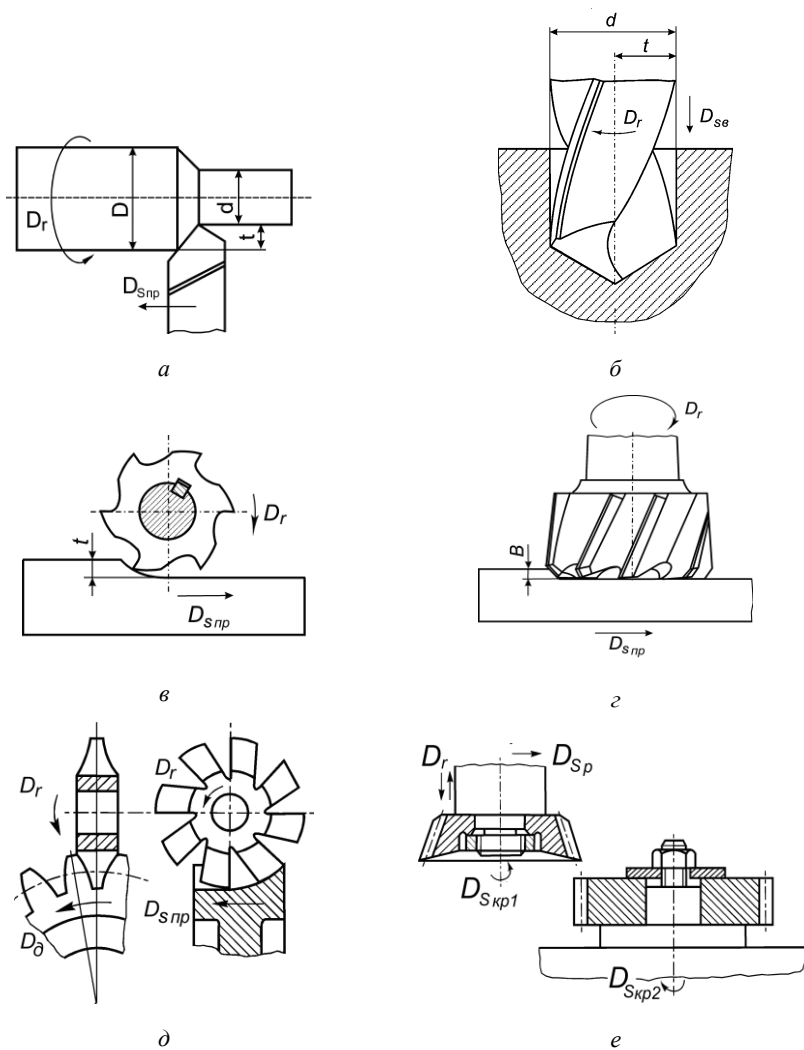


Рис. 3.1. Виды главного движения и движения подач в токарных (*a*), сверлильных (*б*), фрезерных (*в-г*) и зубодолбежных (*е*) станках:
 D_r – главное движение резания; D_{Snp} – продольное движение подачи;
 D_{Se} – вертикальное движение подачи; D_{Skr} – круговое движение подачи;
 D_{Sp} – радиальное движение подачи

Дифференциальное движение дополнительно накладывается на одно из основных движений формообразования. Для его осуществления в кинематическую цепь дополнительно вводится суммирующий механизм. Например, для нарезания цилиндрических косозубых зубчатых колес на зубофрезерных станках на основное вращательное движение заготовки накладывается дополнительное движение, создаваемое при помощи цепи дифференциала.

3.4. Управление станками

Под управлением станками и автоматизированными технологическими станочными комплексами принято считать совокупность воздействий на их рабочие органы и механизмы, позволяющих выполнить на данном оборудовании технологический цикл обработки, а под *системой управления* – устройство или ряд устройств, обеспечивающих выполнение этих воздействий.

Цикл работы станка – это совокупность основных и вспомогательных движений, необходимых для изготовления одной или одновременно нескольких деталей, выполняемых в последовательности, заданной рабочим или системой управления.

Различают два вида управления станками – *ручное и автоматическое*.

При ручном управлении решение об использовании определённых элементов рабочего цикла принимает рабочий (оператор), эксплуатирующий станок, который на основании принятых им решений включает соответствующие механизмы и системы станка и задает параметры их работы.

В современных металлорежущих станках, оснащенных некоторыми автоматическими функциями, ручное управление нередко сочетается с цифровой индикацией информации, поступающей от датчиков положения рабочих органов станка.

При автоматическом управлении решения об исполнении элементов рабочего цикла принимает система управления без участия оператора станка. Эта же система генерирует команды как на включение, так и выключение механизмов и устройств станка и осуществляет управление его работой.

По функциональному назначению автоматическое управление, используемое в станках, можно разделить следующим образом [1]:

1) управление неизменными во времени повторяющимися циклами обработки (например, управление агрегатными станками, выполняющими фрезерные, сверлильные, расточные и резьбонарезные операции путем осуществления циклов движения многошпиндельных силовых головок). В автоматическом оборудовании с ЦПУ цикл работы является замкнутым, т.е. таким, при котором имеет место совпадение положения механизмов в начальный и конечный моменты времени цикла;

2) управление изменяемыми автоматическими циклами, которые задают в виде индивидуальных для каждого цикла обработки материальных моделей-аналогов (копиров, наборов кулачков, системы упоров и т.д.);

3) числовое программное управление (ЧПУ), при котором управляющую программу задают в виде массива информации чаще всего записанного на каком-либо электронном носителе. Управляющая информация, предназначенная для реализации в системах ЧПУ, является дискретной и ее обработка в процессе управления оборудованием осуществляется цифровыми методами.

Системами числового программного управления (СЧПУ) называют совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических устройств и программных средств, обеспечивающих управление металлорежущими станками, автоматизированными станочными системами или промышленными роботами. Основой любого СЧПУ является устройство числового программного управления (УЧПУ), которое выдает управляющее воздействие на рабочие органы станка или другого промышленного оборудования.

3.5. Системы циклового программного управления

Системы циклового программного управления (ЦПУ) станками создают либо на базе устройств задания программы, либо на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК). В настоящее время наиболее широкое распространение получили ПЛК, т.к. другие устройства, созданные на базе релейно-контактных схем, штекерных

панелей, блока переключателей и путевых упоров, системы кулачков и т.д., морально устарели.

ПЛК – представляет собой микропроцессорное устройство, используемое для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки команд управления, имеющее конечное количество входов и выходов, подключенных к ним датчиков, ключей, исполнительных механизмов, и предназначенное для работы в режиме реального времени [15].

Принцип работы ПЛК несколько отличается от «обычных» микропроцессорных устройств. Программное обеспечение универсальных контроллеров состоит из двух частей. При этом первая часть представляет собой системное программное обеспечение, т.е. если проводить аналогию с компьютером можно сказать, что это операционная система, которая управляет работой элементов контроллера, взаимосвязи составляющих частей и внутренней диагностикой. Системное программное обеспечение ПЛК расположено в постоянной памяти центрального процессора и всегда готово к работе, т.е. после включения электропитания ПЛК готов взять на себя управление технологической системой уже через несколько миллисекунд [15]. Вторая часть программного обеспечения – это прикладная программа, предварительно записанная в память контроллера.

Схема функционирования ПЛК приведена на рис. 3.2.

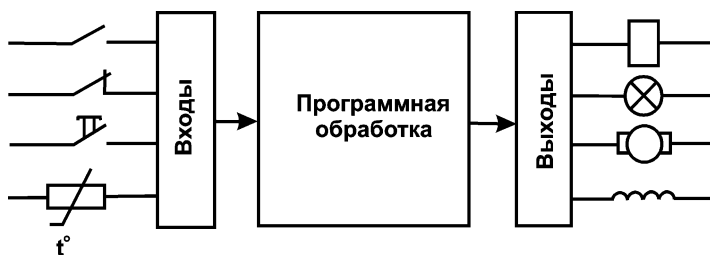


Рис. 3.2. Схема функционирования ПЛК [15]

ПЛК работают циклически по методу периодического опроса входных данных. При этом их рабочий цикл включает 4 фазы:

- опрос входов;
- выполнение пользовательской программы;
- установку значений выходов;
- некоторые вспомогательные операции (диагностику, подготовку данных для отладчика, визуализацию и т. д.).

Выполнение опроса входов осуществляется системным программным обеспечением, после чего управление передается прикладной программе. По этой программе ПЛК выполняет то, что было предусмотрено её составителем, а по ее завершению управление опять передается системному программному обеспечению.

За счет этого обеспечивается максимальная простота построения прикладной программы. При этом её создателю совершенно не надо знать, как производится управление аппаратными ресурсами, а лишь знать с какого входа приходит сигнал и как на него реагировать на выходах.

Время реакции ПЛК на событие будет зависеть от времени выполнения одного цикла прикладной программы, что следует из схемы, представленной на рис. 3.3.

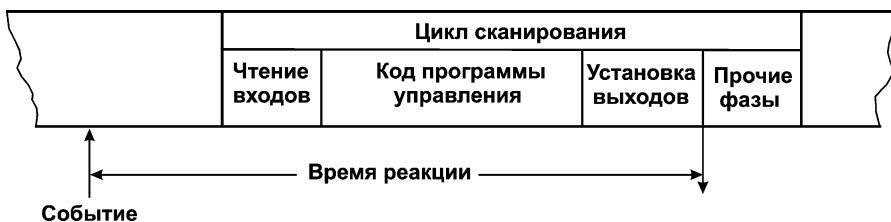


Рис. 3.3. Время реакции ПЛК на событие

Обладая памятью, ПЛК в зависимости от предыстории событий, способен по-разному реагировать на текущие события. Возможности перепрограммирования, управления по времени, развитые вычислительные способности, включая цифровую обработку сигналов, поднимают ПЛК на более высокий уровень в отличие от простых комбинационных автоматов.

3.6. Классификация систем числового программного управления станками

Современные системы числового программного управления, используемые в станкостроении можно классифицировать по различным признакам.

По технологическому назначению и своим функциональным возможностям числовое программное управление подразделяется на следующие виды:

– **позиционное управление**, при котором рабочие органы станка перемещаются в заданные точки зоны обработки, определённые управляющей программой (УП), а траектория их перемещения от точки до точки задается только прямолинейным движением, что видно из рис. 3.4. Позиционные устройства ЧПУ объединяют группу устройств, имеющих один основной общий признак, а именно – позиционирование, т.е. обеспечение заявленной точности останова перемещаемых рабочих органов в точке с заданными координатами. Скорость перемещения рабочих органов в позиционных устройствах программированию не подлежит и обусловлена исключительно только динамикой приводов станка.

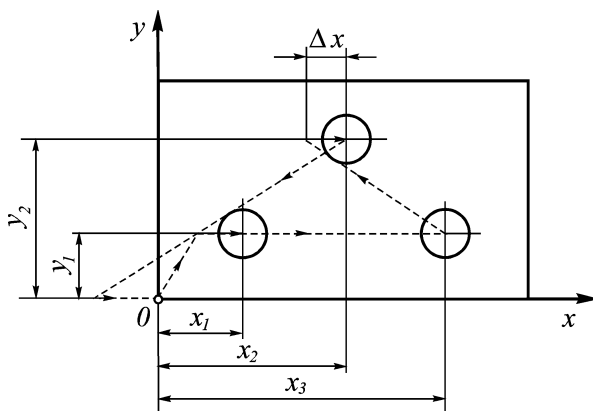


Рис. 3.4. Схема позиционного управления при сверлении

Позиционными системами ЧПУ оснащают токарные, сверлильные, координатно-расточные, фрезерные, шлифовальные и другие станки; – **контурное прямоугольное управление**, являющееся разновидностью позиционного управления и обеспечивающее движение по одной координате (рис. 3.5).

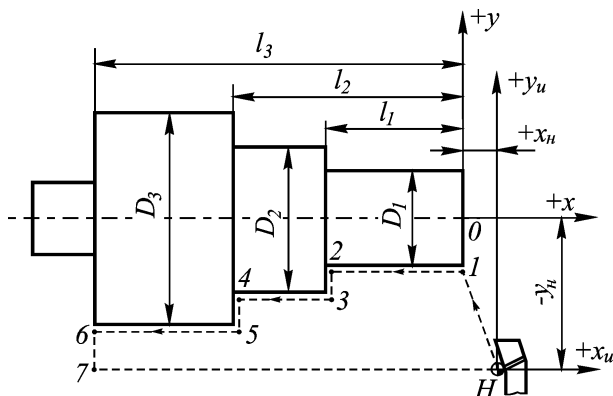


Рис. 3.5. Схема контурного прямоугольного управления при точении

Так как в большинстве станков применяют прямоугольную систему координат, то устройства, используемые в таких системах, получили название прямоугольных. В этих системах, так же как и в позиционных, программируются конечные координаты перемещения. Однако в отличие от позиционных систем в данных системах в УП задается скорость движения рабочего органа, определяемая заданным режимом резания, и перемещение выполняется поочередно по каждой из координатных осей. Прямоугольные системы ЧПУ применяют в станках фрезерной, токарной и шлифовальной групп;

– **контурное непрерывное управление** – обеспечивающее перемещение рабочих органов с заданной скоростью по определённой траектории, форма и конечные координаты которой заданы в УП (рис. 3.6). Как правило, такие системы имеют встроенные линейно-круговые (рис. 3.7, а) или линейные (рис. 3.7, б) интерполяторы, которые работают по приращениям от точки к точке [4].

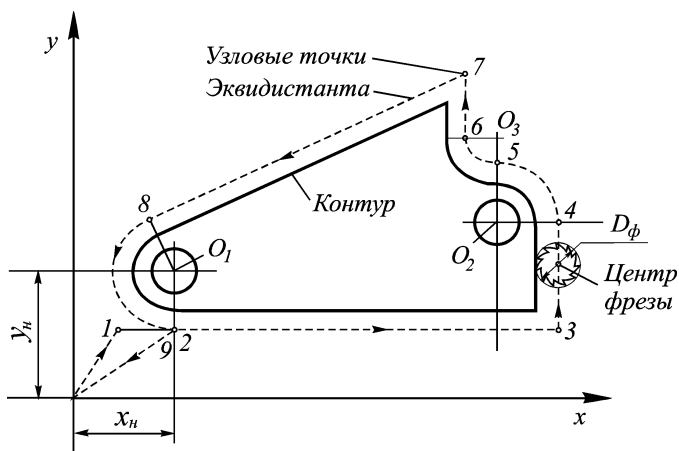


Рис. 3.6. Схема контурного непрерывного управления при фрезеровании

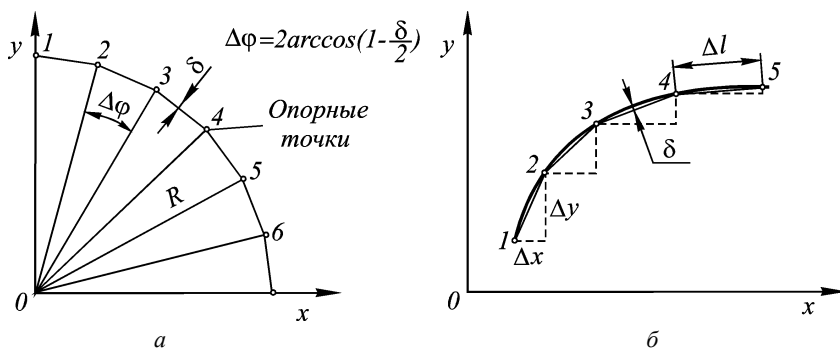


Рис. 3.7. Виды интерполяции:
а – линейно-круговая; б – линейная

Контурными устройствами ЧПУ оснащают станки фрезерной и токарной групп, осуществляющих формообразование деталей сложной формы;

- *универсальное (комбинированное) управление*, обладающее особенностями как позиционного, так и контурного управления. Оно наиболее типично для многоцелевых станков;

- *адаптивное управление*, обеспечивающее автоматическое приспособление процесса формообразования заготовки к изменяющимся условиям обработки по определённым критериям.

По принципу управления (числу потоков информации) системы ЧПУ делятся на:

- *системы с разомкнутым контуром*, характеризующиеся наличием единственного потока информации. В таких системах отсутствуют датчики обратной связи, непрерывно осуществляющие контроль перемещений рабочих органов станка, в связи с чем эти перемещения не могут быть сопоставлены с перемещениями, заданными программой. Поэтому в таких системах точность движения рабочих органов определяется только точностью отработки команд двигателем привода подач и точностью кинематической цепи, передающей движение рабочему органу;

- *системы с замкнутым контуром*, располагающие двумя потоками информации, один из которых вводится в устройство управления посредством устройства ввода с программноносителя, а другой – вводится в устройство ЧПУ от датчиков обратной связи, определяющих реальное положение рабочих органов. При наличии рассогласования между двумя этими потоками устройство управления воздействует на приводы подач, которые перемещают рабочие органы в нужном направлении, изменяя рассогласование до величины, близкой к нулю.

По структуре УЧПУ, входящих в состав СЧПУ, различают следующие системы [1]:

- *системы с УЧПУ постоянной структуры (класс NC)*, работающие по принципу вычислительного устройства, где все операции,

составляющие алгоритм работы, выполняются параллельно с помощью отдельных цепей или устройств, реализующих ту или иную функцию (агрегатно-блочное построение). Эти устройства называют также устройствами ЧПУ с жесткой структурой. Вмешательство оператора в процесс обработки при использовании таких устройств весьма ограничено;

– *системы с УЧПУ переменной структуры (класс CNC)*, которые соответствуют структуре управляющих ЭВМ и включают в себя вычислительное устройство (процессор), блоки памяти и блоки ввода-вывода информации. При этом объем функций, характер проводимых операций и их последовательность определяются программами функционирования, которые введены в блок памяти. Устройства класса CNC расширяют функциональные возможности программного управления. При этом появляются функции, которые раньше не могли быть реализованы: хранение УП и ее редактирование на рабочем месте (оперативное управление), расширение возможности индикации на дисплее, диалоговое общение с оператором, широкие возможности коррекции (адаптивное управление) и т.д.

3.7. Оси координат и структуры движений станков с ЧПУ

Работа любого станка с ЧПУ непосредственно связана с системой координат. Для всех существующих станков с ЧПУ используют единую, регламентируемую стандартом ISO 841:1974 [13], систему обозначения координат. В зависимости от группы и типа станка координатами обозначают положение оси вращения его шпинделя или обрабатываемой заготовки, а также прямолинейные либо круговые движения подачи инструмента или заготовки. При этом оси координат у станков, как правило, располагают параллельно направляющим станка, что дает возможность при программировании процесса обработки указать направления и величины перемещения рабочих органов станка. Обозначение осей координат и направление движений рабочих органов в станках принято устанавливать таким образом, чтобы про-

граммирование операций технологического процесса не зависело от того, перемещается инструмент относительно заготовки либо наоборот. При этом за основу следует принимать перемещение режущего либо другого инструмента относительно системы координат неподвижной заготовки.

В качестве единой системы координат для всех применяемых в производстве станков с ЧПУ принята стандартная правая прямоугольная система. При этом в системе координат XYZ рассматриваются все прямолинейные перемещения рабочих органов, а круговое движение соответственно по отношению к каждой из указанных координатных осей обозначают прописными буквами латинского алфавита: А, В, С (рис. 3.8, а). Следует отметить, что во всех станках ось Z всегда совпадает с осью шпинделя главного движения (рис. 3.8, г, д), т.е. шпинделя, приводящего во вращение режущий инструмент в станках сверлильно-фрезерно-расточной группы, или шпинделя, приводящего во вращение обрабатываемую заготовку, например, в станках токарной группы [11].

В том случае, если станок оснащен несколькими шпинделями, то в качестве основного выбирается один из них. Вместе с тем предпочтение при выборе основного шпинделя следует отдавать тому из них, у которого ось перпендикулярна к рабочей поверхности стола станка. На столе станка устанавливается и крепится заготовка перед её последующей обработкой. В зависимости от типа и модели станка ось основного шпинделя в процессе обработки может занимать либо одно положение, либо несколько положений, т.е. поворачиваться. При неповоротной оси основного шпинделя за ось Z принимается одна из трех осей стандартной прямоугольной системы координат XYZ, которая располагается параллельно оси шпинделя. В том случае, если ось основного шпинделя имеет возможность поворачиваться и занимать положение параллельное различным осям стандартной системы, то за ось Z принимают ось предпочтительно перпендикулярную к рабочей поверхности стола [11].

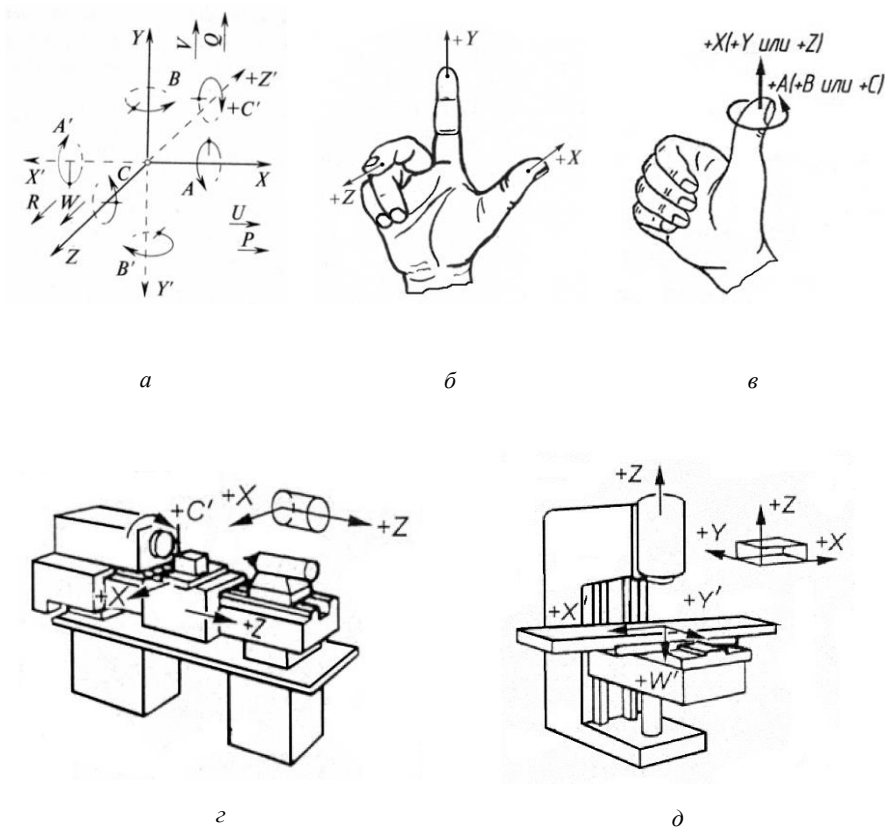


Рис. 3.8. Системы координат станков с ЧПУ [7, 8, 11, 12]:

а – правая прямоугольная система координат XYZ на сборочных единицах несущих заготовку; *б* – правило определения правой прямоугольной системы координат XYZ; *в* – правило определения знака кругового движения; *г* – обозначение осей координат и направлений движения рабочих органов токарно-винторезного станка; *д* – обозначение осей координат и направлений движения рабочих органов вертикального консольно-фрезерного станка

За положительное направление движения вдоль оси Z принимается направление соответствующее отводу инструмента от заготовки, что видно из рис. 3.8, *г* и *д*. На трехкоординатных станках, предназначенных для выполнения операций сверления, зенкерования, развертывания или растачивания, обработка заготовок осуществляется

при перемещении режущего инструмента в отрицательном направлении оси Z .

Ось X стандартной прямоугольной системы координат располагается в горизонтальной плоскости параллельно опорной поверхности заготовки. Так, например, у станков токарной группы, т.е. у станков с вращающейся заготовкой, ось X направлена вдоль радиуса заготовки параллельно направляющим поперечных салазок суппорта. А за положительное направление движения по оси X принимается направление соответствующее отводу резца, закрепленного в переднем (главном) резцедержателе от оси Z заготовки (см. рис. 3.8, z).

На расточных, сверлильных, фрезерных и др. станках, т.е. станках с вращающимся инструментом, имеющих вертикальное расположение оси Z , положительное направление оси X – вправо (рис. 3.8, d), если смотреть на станок с лицевой стороны. В том случае, если ось Z направлена горизонтально, то положительное направление оси X также будет вправо, однако при взгляде в направлении от шпинделя к заготовке.

За положительное направление движения по оси Y следует выбирать такое направление, чтобы ось Y совместно с координатными осями Z и X образовала бы правую прямоугольную систему координат. Для определения положительного направления оси Y пользуются правилом правой руки. Согласно данному правилу, как видно из (рис. 3.8, b) [11], большой отогнутый палец определяет положение оси X , указательный – оси Y , средний полусогнутый – оси Z . Для определения положительных направлений координатных перемещений станка следует мысленно правую руку тыльной стороной положить на обрабатываемую поверхность заготовки и совместить полусогнутый средний палец с осью Z основного шпинделя станка. При таком положении руки большой палец покажет положительное направление оси X , указательный палец – положительное направление оси Y , а средний полусогнутый – положительное направление оси Z .

Направления движения рабочих органов станка, несущих режущий инструмент, обозначаются буквами без штриха, а несущих заго-

товку – буквами со штрихом (рис. 3.8, *a*). При этом положительные направления движений, обозначенные одной буквой, но без штриха и со штрихом должны быть направлены в противоположные стороны (рис. 3.8, *a* и *д*). Положительными всегда являются такие движения, при которых инструмент и заготовка удаляются друг от друга.

Для определения положительного направления кругового перемещения необходимо мысленно правой рукой охватить одну из осей так, чтобы большой палец показал её положительное направление, тогда остальные пальцы руки покажут положительное направление вращения (рис. 3.8, *в*).

Для обозначения направления перемещений двух рабочих органов вдоль одной прямой применяются так называемые вторичные оси, а именно: *U* (параллельно *X*), *V* (параллельно *Y*) и *W* (параллельно *Z*). При наличии трех перемещений в одном направлении применяются еще так называемые третичные оси: *P*, *Q*, *R* (рис. 3.8, *a*).

4. ТИПОВЫЕ СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ И МЕХАНИЗМЫ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

4.1. Станины и направляющие

Станина предназначена для монтажа всех основных частей и механизмов станка, относительно неё ориентируются и перемещаются все его подвижные составляющие. В процессе всего установленного срока эксплуатации станка станина вместе с другими элементами несущей системы должна обеспечивать заданную точность обработки на всех предусмотренных режимах работы. Это требование может быть обеспечено при неизменности формы станины в процессе эксплуатации, что в свою очередь достигается за счет правильного выбора материала станины и технологии её изготовления. Основные требования к станине: высокая жёсткость, виброустойчивость, износостойкость направляющих и относительно низкая стоимость.

Станины делятся на *горизонтальные* и *вертикальные*. Выбор формы станины и её конструктивного исполнения зависит от многих факторов, а именно: группы и типа станка, вида направляющих (горизонтальные, вертикальные, наклонные), необходимости установки на ней различных неподвижных и подвижных составляющих (частей и сборочных единиц), требований к жесткости и удобству проведения обслуживания и ремонтных работ, условий подвода смазывающе-охлаждающего технологического средства (СОТС) и удаления стружки и т.д. На рис. 4.1 представлены формы сечений горизонтальных и вертикальных станин.

Как правило, в качестве материала для изготовления литых станин используется чугун, а сварных – сталь. Для изготовления станин станков высокой точности нередко применяется интегран, являющийся искусственным материалом на основе крошки минеральных материалов и смолы. Отличительной особенностью данного материала является низкая тепловая деформация.

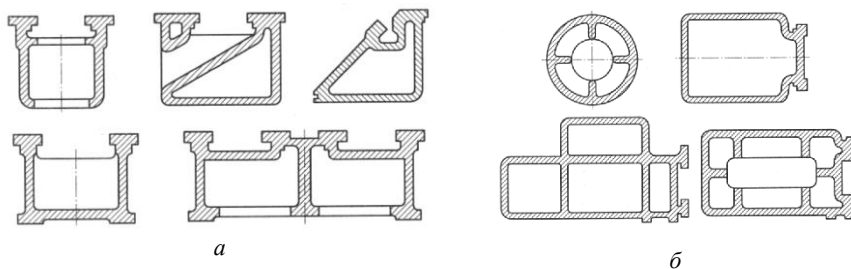


Рис. 4.1. Формы сечений горизонтальных (а) и вертикальных (б) станин [12]

Станины некоторых современных станков с ЧПУ представлены на рис. 4.2 – 4.4.

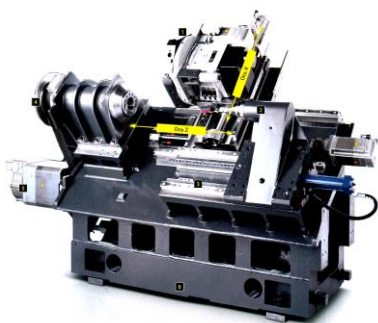


Рис. 4.2. Станина с передней бабкой и линейными направляющими токарного станка с ЧПУ DMG MORI CTX 310 ecoline

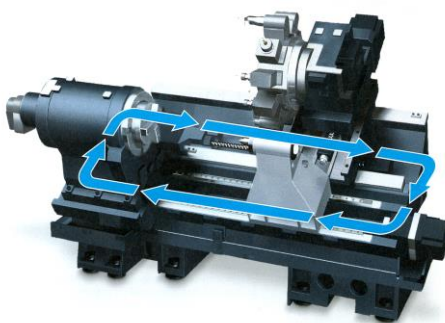


Рис. 4.3. Встроенная система охлаждения станины токарного станка с ЧПУ DMG MORI NLX 2500



Рис. 4.4. Станина и С-рама обрабатывающего центра
DMG MORI DMC 70 ecoline

Направляющие — это наиболее ответственная часть станины. Направляющие служат для обеспечения требуемого взаимного расположения и перемещения сборочных единиц станка и, следовательно, взаимного относительного перемещения инструмента и заготовки.

В металлорежущих станках применяются направляющие **скольжения и качения**, которые обеспечивают как прямолинейное, так и круговое перемещения.

Направляющие скольжения бывают **закрытыми** (рис. 4.5, а), в этом случае подвижная сборочная единица имеет только одну степень свободы, и **открытыми** (рис. 4.5, б). Основные формы направляющих скольжения, используемых в станкостроении, приведены на рис. 4.5.

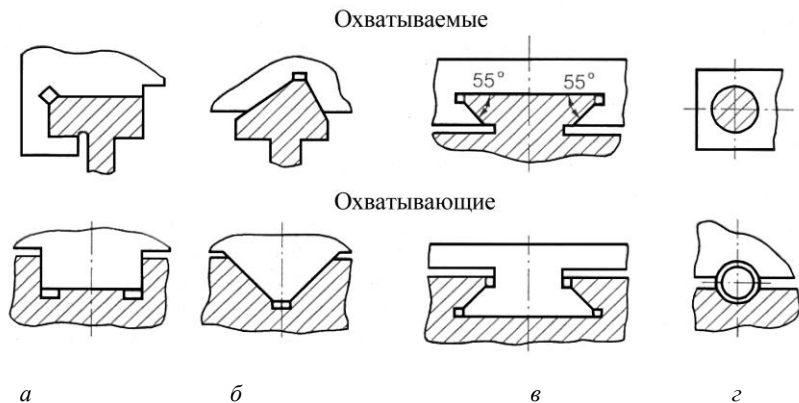


Рис. 4.5. Основные формы поперечных сечений направляющих скольжения [8]:
 а – плоская; б – призматическая; в – в форме ласточкина хвоста; г – цилиндрическая

В металлорежущих станках достаточно часто используют **комбинированные направляющие**, например, когда одна из направляющих плоская, а вторая – призматическая, V – образная или в виде половины ласточкина хвоста.

С целью регулирования начальных зазоров или натягов в сопряжениях направляющих с ответными деталями и обеспечения этих показателей в процессе эксплуатации в конструкциях станков предусмотрены регулировочные элементы в виде клиньев с продольным и поперечным перемещением, подвижных планок и т.д.

В станкостроении получили также применение **гидростатические направляющие**, предусматривающие подвод масла к сопряженным поверхностям под давлением и обеспечивающие создание масляной подушки по всей площади контакта, и **аэростатические направляющие**, предусматривающие создание воздушной подушки в зазоре между сопряженными поверхностями.

В конструкциях металлорежущих станков все большее применение находят **направляющие качения**. Это связано с тем, что сила трения в этих направляющих в 10...20 раз меньше, чем сила трения в

направляющих скольжения. Кроме того, в направляющих качения обеспечивается высокая точность и плавность установочных перемещений, беззазорность и более высокий срок службы по сравнению с направляющими скольжения.

Конструктивное исполнение некоторых направляющих качения приведено на рис. 4.6.

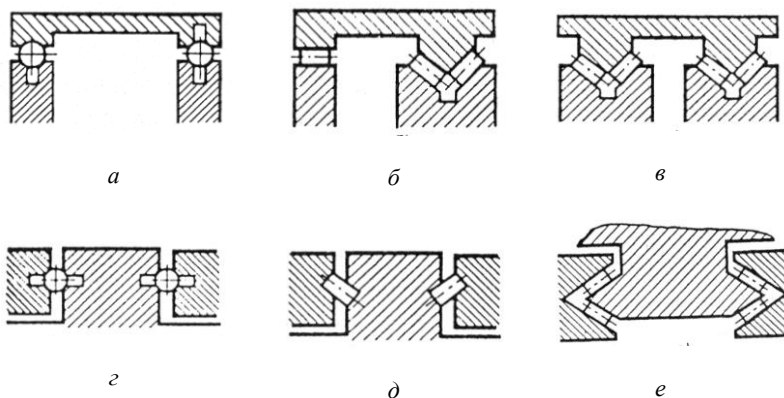


Рис. 4.6. Направляющие качения [8]:
а, з – шариковые; б, в, д, е – роликовые

4.2. Шпиндельные сборочные единицы станков

Шпиндель – это вал металлорежущего станка, передающий вращение закреплённому на нем инструменту или заготовке и имеющий различную конструктивную форму, обусловленную типом применяемых опор и видом зажимных приспособлений и инструментов.

Совокупность шпинделя, применяемых опор, уплотнений и других деталей и устройств, обеспечивающих заданные точность вращения, жесткость, виброустойчивость и долговечность **называют шпиндельной сборочной единицей (ШСЕ)** или сокращенно просто шпинделем.

Применение на современных предприятиях скоростной и высокоскоростной обработки, обусловленной появлением новых инструментальных материалов, привело к необходимости совершенствования шпиндельных сборочных единиц для обеспечения заданной долговечности их работы. В связи с этим были сконструированы и реализованы при производстве станков новые шпиндельные сборочные единицы, например, с охлаждением, с опорами в виде подшипников качения из высокопрочной керамики, с аэро-статическими, гидростатическими и магнитными опорами и др. Рассмотрим конструктивное исполнение некоторых из указанных шпиндельных сборочных единиц.

Шпиндельная сборочная единица с охлаждением представлена на рис. 4.7.

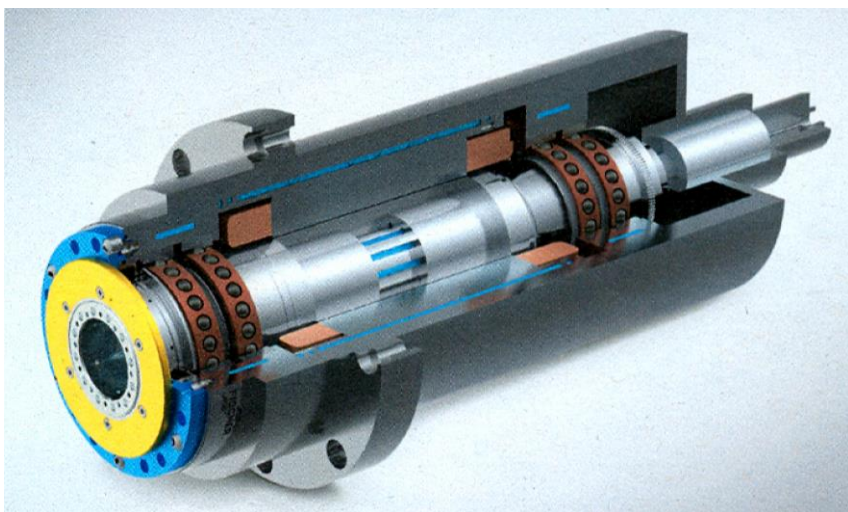


Рис. 4.7. Шпиндельная сборочная единица с охлаждением для обрабатывающих центров DMG MORI серии HSC

В данной ШСЕ производится охлаждение шпинделя, фланцев и рубашки. В рубашке и шпинделе имеются каналы для подвода СОЖ. Проходя через эти каналы, СОЖ охлаждает опоры шпинделя, рубашку и посредством регулируемых сопел подается в нужное место режущего инструмента.

Шпиндельная сборочная единица с электромагнитными опорами (ЭМО). От традиционных ШСЕ на опорах качения, аэростатических и гидростатических опорах ШСЕ на ЭМО отличается значительно более высокой быстроходностью, способностью долговременно и устойчиво работать под нагрузкой при незначительном потреблении энергии и что самое главное без смазки и трения.

Рассмотрим конструкцию ШСЕ с активными ЭМО, принцип действия которых основан на притяжении ферромагнитного ротора электромагнитами, расположенными на статоре (рис. 4.8) [12]. В цилиндрическом корпусе 17 находится статор 7 встроенного высокоскоростного электродвигателя, который охлаждается посредством рубашки 6 с циркулирующей в ней водой. В центре вала 1 установлена бочка ротора 19 электродвигателя, с двух сторон которой напрессованы кольцевые пакеты листовой стали, представляющие собой вращающиеся (роторные) части 18 и 20 радиальных магнитных опор и датчиков положения вала. На конце вала расположен диск 11 осевой магнитной опоры и вращающаяся часть датчика 13 осевого положения вала. Неподвижная часть передней радиальной магнитной опоры представляет собой комплект электромагнитов в виде пакетов 4 листовой стали с пазами для обмоток электромагнитов 5.

Между статором электромагнита и роторной частью имеется диаметральный зазор, который зависит от диаметра рабочей шейки вала. Рядом с комплектом электромагнитов передней магнитной опоры, расположенных на статорной части, установлен индуктивный датчик 3, имеющий большее, чем у опоры, число полюсов и обмоток. Обмотки индуктивного датчика соединены по схеме, обеспечивающей получение наибольшего по величине сигнала при минимальном смещении вала.

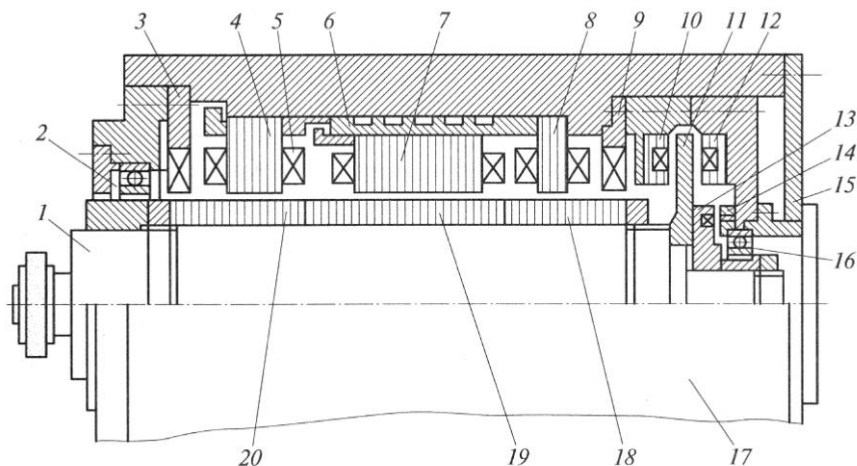


Рис. 4.8. Шпиндельная сборочная единица активными электромагнитными опорами:

- 1 – вал; 2 – воздушное уплотнение; 3, 9 – индуктивные датчики; 4 – пакет листовой стали; 5 – обмотка электромагнита; 6 – рубашка охлаждения; 7 – статор;
- 8, 18 – соответственно статорная и роторная части задней опоры;
- 10, 12 – кольцевые электромагниты; 11 – диск; 13 – мерительное кольцо;
- 14 – статорная часть индуктивного датчика; 15 – фланец; 16 – резервная опора;
- 17 – корпус; 19 – ротор; 20 – роторная часть неподвижной передней опоры

Рядом с задней магнитной опорой расположена резервная опора 16, в качестве которой может служить подшипник качения или скольжения. Зазор между валом ШСЕ и внутренним диаметром резервной опоры меньше, чем между валом ШСЕ и магнитной опорой, что позволяет в аварийных ситуациях обеспечивать сохранность последней. Перед резервным подшипником на передней опоре установлено бесконтактное воздушное уплотнение 2, предохраняющее ШСЕ от попадания СОЖ.

Размеры и несущая способность задней радиальной опоры могут быть меньше, чем передней. Задняя опора включает статорную 8 и роторную 18 части. Вблизи задней опоры расположен индуктивный датчик 9 радиального положения вала. В задней части ШСЕ имеется

осевая двухсторонняя магнитная опора, состоящая из установленного на валу 1 диска 11 с радиальными прорезями и двух кольцевых электромагнитов 10 и 12.

Осевое положение вала контролируется индуктивным датчиком, имеющим статорную часть 14 и закрепленное на вращающемся валу мерительное кольцо 13. В заднем фланце 15 расположены выходные концы электромагнитов статора электрошпинделя и индуктивных датчиков.

Данные шпиндели позволяют обеспечить частоту вращения $n = 10000 \dots 150000$ об/мин.

Помимо указанных шпиндельных сборочных единиц в станкостроении широкое распространение получили также электрошпиндели.

4.3. Мехатронные модули

Мехатроника – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении сборочных единиц точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. *Для мехатроники характерно стремление к полной интеграции механики, электрических машин, силовой электроники, программируемых контроллеров, микропроцессорной техники и программного обеспечения.*

На базе мехатронных модулей разрабатываются станки нового поколения, оснащенные электроприводами прямого действия, а именно: высоко- и сверхвысокомоментными двигателями вращательного движения или линейными двигателями с большим тяговым усилием. В конструкциях этих электроприводов отсутствуют промежуточные составляющие и кинематические звенья, такие как коробки скоростей и подачи, устройства преобразования вращательного движения в поступательное движение и т.д., что позволяет исключить ки-

нематические погрешности и повысить точность станков, а следовательно, и точность изготовления деталей.

4.3.1. Мехатронный модуль главного вращательного движения станка

Мехатронный модуль главного вращательного движения станка, именуемый мотор-шпинделем, представляет собой совокупность синергетически связанных встроенных в него составляющих (сборочных единиц, механизмов, систем) и обслуживающих систем.

Мотор-шпиндель включает следующие встроенные в него составляющие: двигатель прямого действия, шпиндельные опоры, датчик обратной связи по положению, механизм зажима инструмента, шпиндель с базовыми поверхностями для установки инструмента, систему подвода СОЖ и систему диагностики. К обслуживающим системам относятся: система охлаждения двигателя и опор, система смазки опор и система управления мотор-шпинделем.

На рис. 4.9 представлена принципиальная схема мотор-шпинделя, являющегося продуктом компании DIXI MACHINES, с системой его диагностики [21].

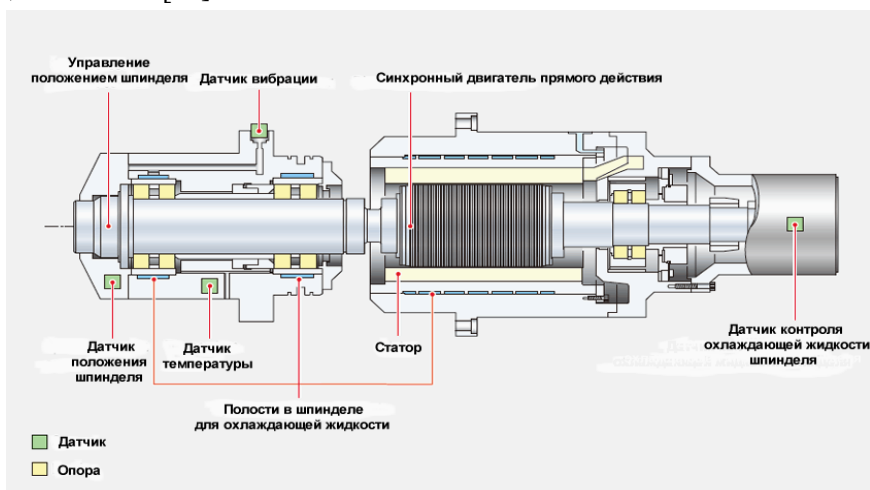


Рис. 4.9. Принципиальная схема мотор-шпинделя с системой диагностики

При частотах вращения более 10 000 об/мин не представляется возможным использовать в механизмах главного движения электродвигатели с механическими передачами, поэтому в металлорежущих станках применяют устройства типа мотор-шпинделя, относящиеся к приводу прямого действия.

Как видно из рис. 4.9, статор электродвигателя размещается в корпусе шпиндельной сборочной единицы и приводит во вращение его ротор. Как правило, ротор двигателя и шпиндель главного движения составляют одно целое. В мотор-шпинделях применяют эффективные системы охлаждения как самого двигателя, так его шпиндельных опор.

В качестве опор в мотор-шпинделях применяют ***гибридные керамические подшипники качения***, например, фирмы FAG, в которых кольца выполняются стальными, а тела качения – керамическими. Такое исполнение подшипников позволяет повысить их частоты вращения за счет снижения центробежных сил, а, следовательно, и сил трения, действующих на тела качения. Это обусловлено тем, что плотность керамики примерно в 2,5 раза меньше по сравнению с плотностью стали.

В мотор-шпинделях применяется эффективная система охлаждения как электродвигателя, так и шпиндельных опор, что видно из рис. 4.9.

Мотор шпиндель оснащен также датчиками частоты вращения, положения ротора, температуры корпуса шпинделя и температуры охлаждающей жидкости, которые передают соответствующую информацию по каналам связи в систему ЧПУ, осуществляющую управление мотор-шпинделем.

Некоторые виды мотор-шпинделей представлены на рис. 4.10-4.12.



Рис. 4.10. Мотор-шпиндель вертикально-фрезерного станка с ЧПУ модели Optimum F150 [19]



Рис. 4.11. Мотор-шпиндель производства компании SPS SPINDLE PARTS & SERVICE, LLC [23]

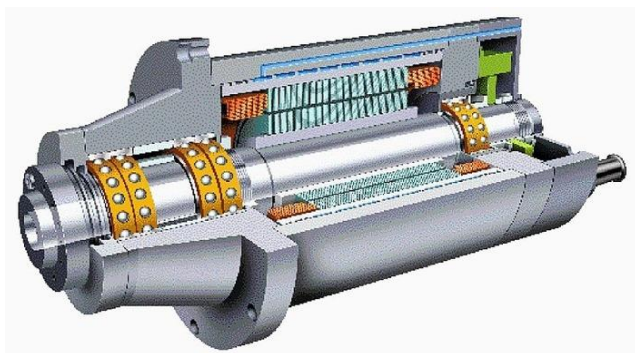


Рис. 4.12. Мотор-шпиндель производства компании UKF [17]

4.3.2. Мехатронные модули линейного движения механизмов подачи станка

До недавнего времени для осуществления линейного перемещения в мехатронных модулях приводов подач использовались *электродвигатели вращательного движения* (рис. 4.13, а) и *механизмы, преобразующие вращательное движение в прямолинейное поступательное*. К таким механизмам можно отнести шариковые винтовые пары (4.13, б), реечные передачи и т.п. В шарико-винтовых па-

рах движение с винта 1 на гайку передается через тела качения – шарики 3, циркулирующие в замкнутом канале. Регулировка зазора и создание предварительного натяга в таких передачах может осуществляться, например, путем установки между двумя полугайками 2 регулировочных распорных полуколец 4.

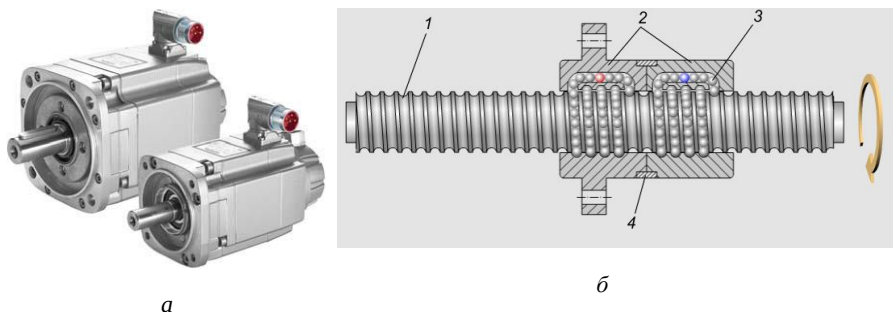


Рис. 4.13. Некоторые составляющие мехатронного модуля привода подачи:
а – синхронный трехфазный двигатель марки 1FK7 фирмы Siemens с возбуждением от постоянных магнитов [16]; б – шарико-винтовая пара [24]

Мехатронные модули линейного движения, созданные на базе линейных двигателей (ЛД), позволили исключить данные механические передачи из приводов подачи станков.

Общий вид одного из линейных двигателей фирмы Siemens показан на рис. 4.14, а принципиальная схема линейного двигателя прямого действия представлена на рис. 4.15.



Рис. 4.14. Общий вид линейного двигателя 1FN3 фирмы Siemens [22]

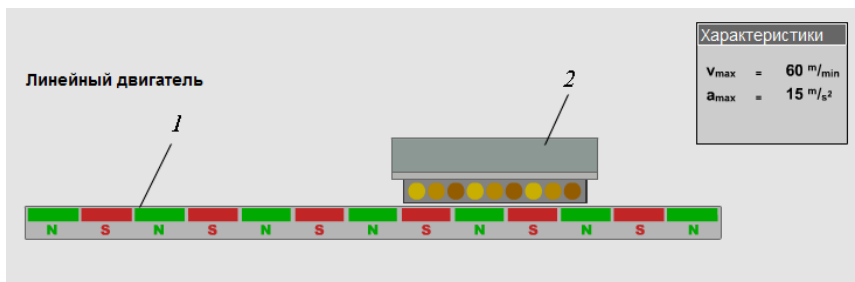


Рис. 4.15. Принципиальная схема линейного двигателя прямого действия [24]:
1 – статор; 2 – ротор

Отличительной особенностью ЛД является то, что в нем конструктивно объединяются приводной и исполнительный элементы двигателя. Как показывает практика проектирования металлорежущих станков, обычно на рабочем органе станка, а именно: на суппорте, столе и т.п., т.е. на его подвижной части устанавливают электромагниты 2, а на направляющих – постоянные магниты 1 (см. рис. 4.15). За счет взаимодействия магнитных полей электромагнитных катушек и постоянных магнитов происходит преобразование энергии в линейное движение. Учитывая, что срок службы ЛД может достигать 30 лет, то, следовательно, эти двигатели не окажут негативного влияния на снижение ресурса станков.

На рис. 4.16 приведена схема управления УЧПУ линейным двигателем. Как видно из данного рисунка, в блок сравнения 6 поступают сигналы с датчика температуры 2, контролирующего условия работы статора 1 и ротора 3, и с линейной измерительной системой 5 о перемещениях ротора. После сопоставления данных сигналов с базовыми в блоке сравнения соответствующая информация в виде сигналов рассогласования по каналам связи поступает в УЧПУ, где формируются команды, обеспечивающие управление перемещением ротора и работой холодильного агрегата через энергетическую цепь [12].

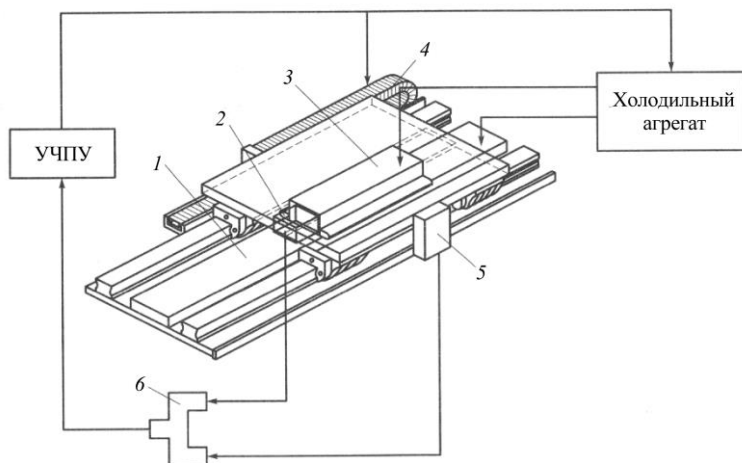


Рис. 4.16. Схема управления УЧПУ линейным двигателем [12]:
1 – статор; 2 – датчик; 3 – ротор; 4 – энергетическая цепь; 5 – линейная измерительная система траекторий движения; 6 – блок сравнения

Как показала практика, ЛД позволяют работать с более высокими скоростями и ускорениями по сравнению с обычными приводами. Однако данное преимущество может быть реализовано только при высокой жесткости металлорежущего станка.

4.3.3. Датчики положения мехатронных модулей

Все современные станки с ЧПУ оснащены замкнутыми системами управления, т.е. имеют датчики обратной связи. **Датчик обратной связи (ДОС)** – это элемент измерительного устройства, в котором величина контролируемого линейного либо вращательного перемещения вызывает изменение каких-либо физических параметров. Датчики обратной связи по конструкции делятся **на линейные и круговые**, а по принципу действия – на оптические (импульсные) и индуктивные (аналоговые). На рис. 4.17 приведена классификация датчиков положения.

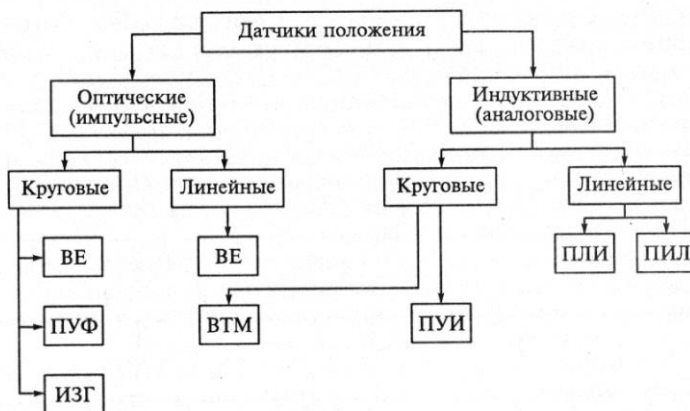


Рис. 4.17. Классификация датчиков положения промышленных серий [1]:
 ВЕ – оптические датчики (круговые, линейные); ПУФ, ИЗГ – оптические круговые датчики; ВТМ – резольверы (вращающиеся трансформаторы);
 ПУИ – круговые индуктосины; ПЛИ, ПИЛ – линейные индуктосины

Круговые ДСО предназначены для измерения круговых вращательных перемещений, а линейные – для измерения возвратно-поступательных перемещений. Эти датчики являются неотъемлемой частью всех мехатронных модулей станков с ЧПУ и во многом определяют точность обработки заготовок на станках.

Рассмотрим некоторые оптические и индуктивные датчики, применяемые на станках с ЧПУ.

Оптические (импульсные) датчики обеспечивают более высокую точность по сравнению с аналоговыми датчиками и включают: механическую, оптическую и электронную системы [1]. Механическая система обеспечивает точное перемещение шкалы, нанесенной на линейку, относительно фотоприемника (фотоэлементов). Оптическая система включает: излучатель света, фокусирующую линзу, растровую шайбу и фотоприемник. Электронная система оптических датчиков обратной связи состоит из преобразователя сигналов и устройства цифровой индикации.

Принцип работы **кругового оптического** датчика, схема которого представлена на рис. 4.18, заключается в следующем. Свет от излучателя через фокусирующую линзу и растровый объектив (шайбу) с рисками попадает на вращающийся прозрачный диск, также имеющий риски. Позади диска установлены фотоэлементы. В результате чередующегося перекрытия рисок объектива и диска фотоэлементы периодически освещаются и затемняются. Фотоэлектрические импульсы, формируемые в фотоэлементах, поступают в преобразователь, где после преобразования в прямоугольный сигнал – подсчитываются и в цифровом виде передаются в СЧПУ.

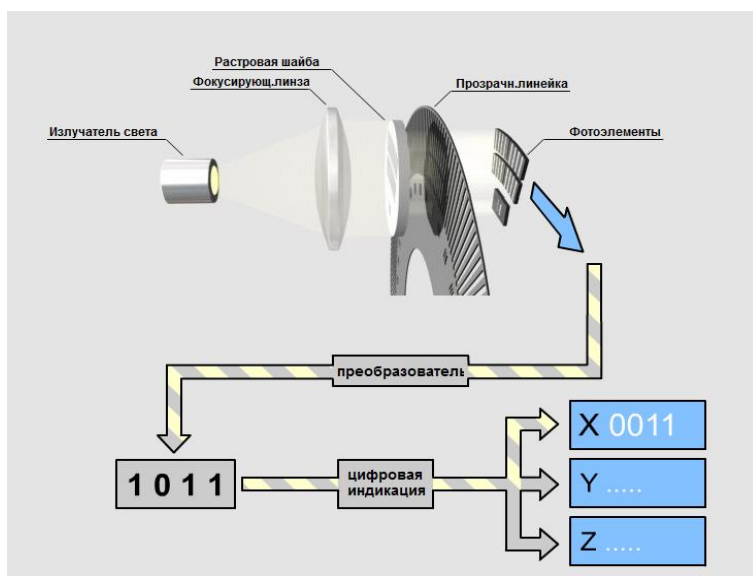


Рис. 4.18. Принципиальная схема кругового оптического датчика обратной связи [24]

Принципиальная схема **линейного оптического датчика** приведена на рис. 4.19. Как видно из данной схемы, вместо кругового прозрачного диска в этом датчике установлена линейка, а принцип работы аналогичен принципу работы кругового оптического датчика.

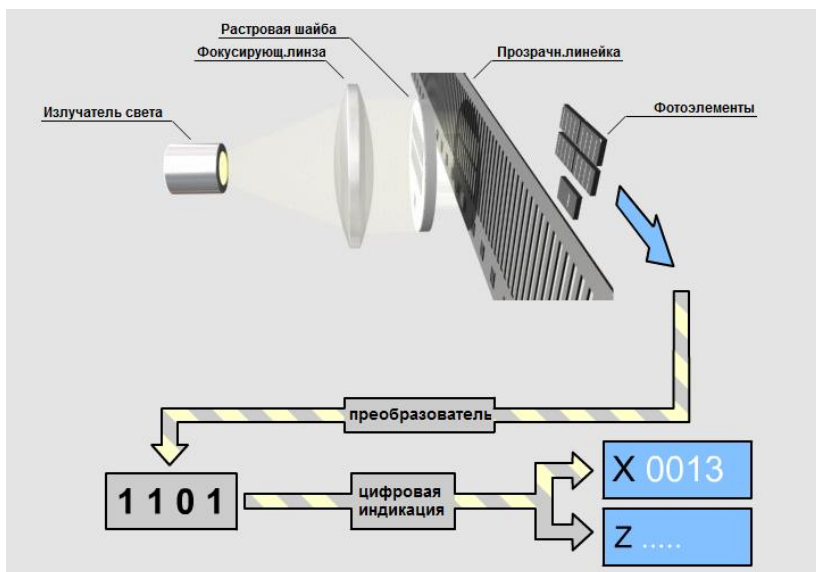


Рис. 4.19. Принципиальная схема линейного оптического датчика обратной связи [24]

Индуктивные (аналоговые) датчики базируются на принципе электромагнитной индукции и подразделяются на вращающиеся трансформаторы (резольверы) и индуктосины.

Вращающиеся трансформаторы (ВТ) – это небольшие индукционные электрические машины, предназначенные для преобразования механического перемещения (угла поворота ротора φ) в электрический сигнал – выходное напряжение U , амплитуда которого находится в определенной функциональной зависимости от угла поворота ротора.

Конструктивно вращающиеся трансформаторы весьма разнообразны, однако в настоящее время наибольшее распространение получили двухполюсные вращающиеся трансформаторы, изготавливаемые аналогично двухфазным асинхронным двигателям с контактными кольцами. Пакеты статора и ротора таких ВТ изготавливают из тщательно изолированных друг от друга листов электротехнической

стали, полученных на штампах высокой точности. В полуоткрытых пазах статора и ротора располагаются двухфазные обмотки, оси которых сдвинуты на 90° относительно друг друга (рис. 4.20, *а*). Обычно обе обмотки S и K статора имеют одинаковое число витков ($W_S = W_K$) и одинаковые активные R и реактивные X сопротивления. Обмотки ротора A и B также выполняются одинаковыми ($w_A = w_B$; $R_A = R_B$; $X_A = X_B$) (рис. 4.20, *б*).

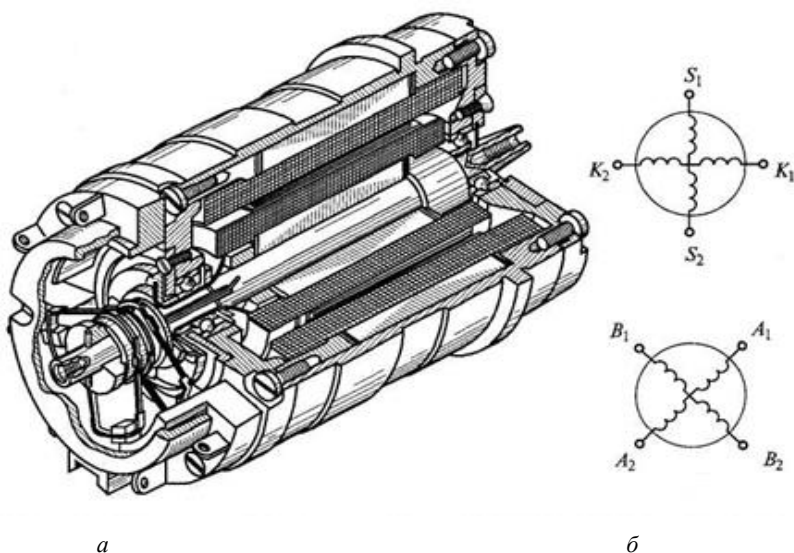


Рис. 4.20. Общий вид (*а*) и схема обмоток (*б*)
вращающегося трансформатора [18]

У большинства вращающихся трансформаторов концы обмоток ротора выводятся к контактным кольцам, по которым скользят щетки. Кольца и щетки обычно изготавливаются из сплавов серебра [18].

Чаще всего первичными обмотками ВТ являются обмотки статора, а вторичными – обмотки ротора, который связан с рабочим органом станка. При повороте ротора, по сути дела являющегося первичным датчиком, с него снимается синусоидальное напряжение.

Статорные обмотки ВТ питаются переменным напряжением, изменяющимся по синусоидальному или прямоугольному закону с частотой 400, 1000, 2000 и 4000 Гц. Вращающееся магнитное поле, образующееся при подключении обмоток статора к сети переменного тока, индуцирует в обмотках ротора переменное напряжение. При этом следует отметить, что скорость вращения магнитного поля будет определяться частотой переменного напряжения, поступающего на обмотки статора [2].

Индуктированное в обмотке ротора напряжение является выходным сигналом, фаза которого сдвинута относительно входного сигнала статора, т.е. на вторичной обмотке формируется сигнал соответствующий сдвигу оси пульсирующего магнитного поля относительно оси ротора.

Линейный индуктосин (рис. 4.21, а) состоит из линейки I, жёстко закреплённой на неподвижной части станка, и слайдера (движка) II, перемещаемого рабочим органом станка.

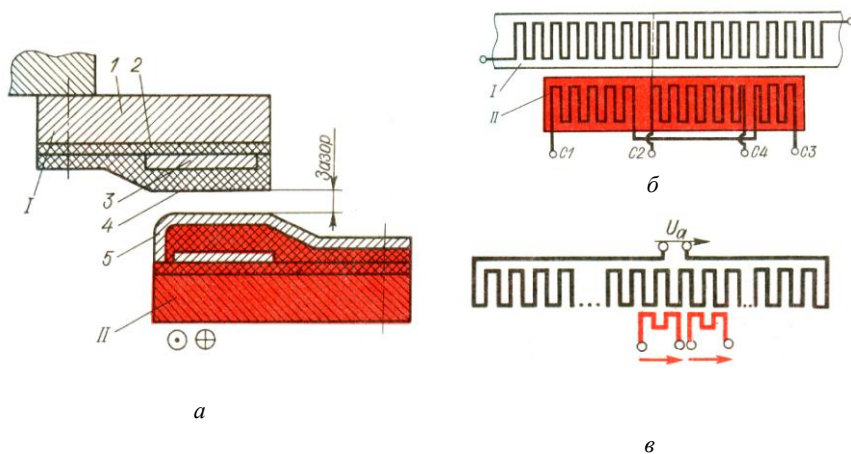


Рис. 4.21. Линейный индуктосин [2]:

а – устройство; б – схема обмоток; в – сигнал, снимаемый с обмотки линейки;

I – линейка; II – слайдер; 1 – планка; 2 – изоляционный материал;

3 – медная обмотка; 4 – слой лака; 5 – экран

Базовой частью линейки индуктосина является планка 1, которая изготавливается либо из алюминия, либо из изоляционного материала. На планку последовательно наносятся вначале слой изоляционного материала 2, а затем медная обмотка 3 (меандр с шагом равным 2 мм), после чего последняя покрывается слоем лака. Слайдер II оснащён экраном 5, представляющим собой медную полосу. На слайдере выполняют две печатные обмотки С1–С3 и С2–С4 и располагают их таким образом, чтобы они были сдвинуты друг относительно друга на $1/4$ шага, или на 90° по фазе (рисунок 4.21, б) [2].

При таком расположении слайдера и линейки слайдер является статором, а линейка индуктосина – ротором. На обмотки слайдера подается переменное напряжение с частотой 4000 Гц, а с обмотки линейки снимается сигнал в виде синусоидального напряжения U_a (рис. 4.21, в). Магнитное поле, образующееся на слайдере, перемещается вместе с ним вдоль линейки. Сдвиг по фазе напряжения, индуцированного на линейке индуктосина, зависит от положения обмотки линейки относительно обмоток слайдера. Смещение слайдера сопровождается периодическим изменением сдвига фаз от максимума до минимума, что приводит к формированию сигнала-импульса в системе преобразователя сдвига фаз в импульсы (в код). Сумма импульсов, подсчитанная счётчиком за определённый промежуток времени, позволяет оценить перемещение рабочего органа станка [2].

5. СТАНКИ С ЧПУ

Металлорежущие станки с числовым программным управлением представляют собой весьма разнообразную и наиболее совершенную часть технологических машин, в которых широко используются средства автоматики и электроники, а также механические, гидравлические, пневматические, электрические и другие устройства.

Станки с ЧПУ подразделяются на следующие группы [1]:

- станки токарной группы;
- станки сверлильно-фрезерно-расточной группы;
- станки шлифовальной группы;
- станки зубообрабатывающей группы;
- станки электрофизической группы;
- многоцелевые станки, обрабатывающие центры (ОЦ):
с автоматической сменой инструмента в revolverной головке;
с автоматической сменой инструмента в магазине.

Вместе с тем следует отметить, что в настоящее время имеет место тенденция, заключающаяся в существенной интеграции операций, выполняемых на одном рабочем месте. Поэтому названные ранее типовые группы металлорежущих станков претерпевают большие изменения. Исходя из ранее изложенного, можно выделить две основные группы станков: для обработки деталей в виде тел вращения и для обработки корпусных деталей.

5.1. Многофункциональные токарные станки

Многофункциональные токарные станки предназначены для выполнения всего комплекса токарных работ, а именно: точения, растачивания, подрезки торцов, отрезки заготовок, прорезки канавок, выполнения галтелей, снятия фасок, нарезания резьб, а также сверления, зенкерования, развертывания, фрезерования и т.д. Интеграция

операций на данных станках возможна за счет наличия многопозиционной револьверной головки.

Типовую конструкцию многофункционального токарного станка рассмотрим на примере его обобщенной виртуальной модели, представленной в работе [24]. На рис. 5.1 приведен общий вид станка, а на рис. 5.2 его вид при снятом кабинете.

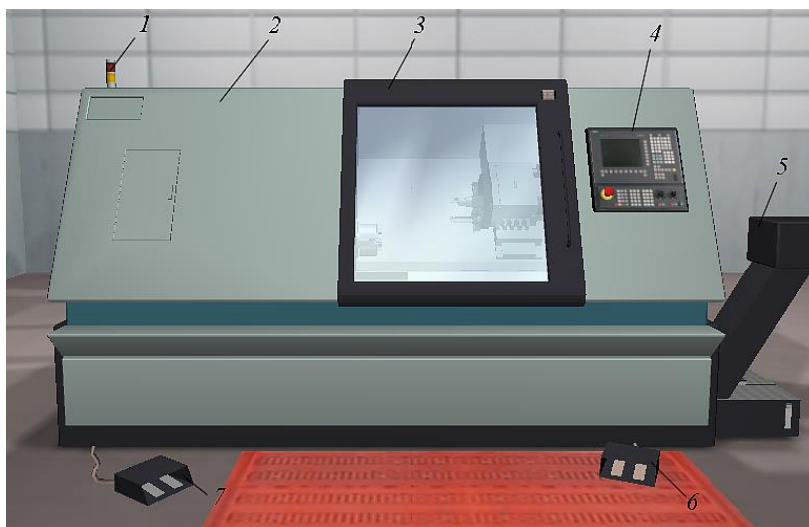


Рис. 5.1. Общий вид многофункционального токарного станка [24]:
1 – светосигнальное устройство; 2 – кабинет; 3 – дверь ограждения;
4 – панель управления станком; 5 – транспортёр стружки;
6 – педали управления пинолью; 7 – педали управления патроном

При загорании красного света на светосигнальном устройстве (рис. 5.1) имеет место аварийная ситуация или необходимость вмешательства оператора. Если на данном устройстве горит зелёный свет, то на станке идет выполнение управляющей программы в автоматическом режиме.

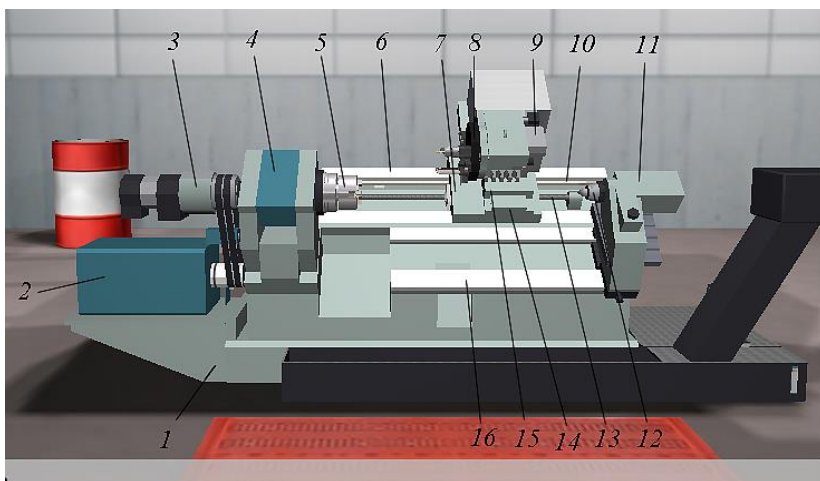


Рис. 5.2. Вид станка при снятом кабинете [24]:

1 – станина; 2 – привод главного движения; 3 – гидроцилиндр зажима патрона; 4 – передняя бабка; 5 – патрон; 6 – направляющие оси Z; 7 – продольные салазки; 8 – револьверная головка; 9 – привод поворота револьверной головки; 10 – оптический датчик линейных перемещений по оси Z; 11 – задняя бабка; 12 – вращающийся задний центр; 13 – шарико-винтовая пара оси Z; 14 – направляющие оси X; 15 – поперечные салазки; 16 – направляющие задней бабки

Станок смонтирован на высококачественной чугунной станине 1, выполненной с наклоном в 45° и имеющей четыре направляющих. На левом конце станины размещена передняя бабка 4, в которой располагаются шпиндель, с установленным на нем патроном 5, и гидроцилиндр зажима патрона 3. Передача движения на шпиндель осуществляется от высокودинамичного привода главного движения 2 через ремённую передачу. По направляющим оси Z 6 перемещается суппорт с продольными салазками 7 и револьверной головкой 8. Перемещение суппорта в продольном направлении осуществляется при помощи двигателя вращательного движения механизма подачи и шарико-винтовой пары 13. На направляющих 6 установлен оптический датчик линейных перемещений 10. По направляющим оси X 14 перемещаются поперечные салазки 15 с установленными на них револь-

верной головкой и её приводом. Перемещение в поперечном направлении осуществляется при помощи линейного двигателя прямого действия. На правом конце станицы установлена задняя бабка 11 с вращающимся задним центром 12, которая перемещается по направляющим задней бабки 16.

В зависимости от модели станка вместо задней бабки может быть установлен противошпиндель с приводом. Также на станке может быть установлено несколько револьверных головок.

Использование протипошпинделя позволят существенно расширить возможности станка. Во-первых, осуществлять перехват детали с целью обработки её с противоположной стороны (рис. 5.3), а, во-вторых, осуществлять обработку сразу двух деталей при наличии нескольких револьверных головок.

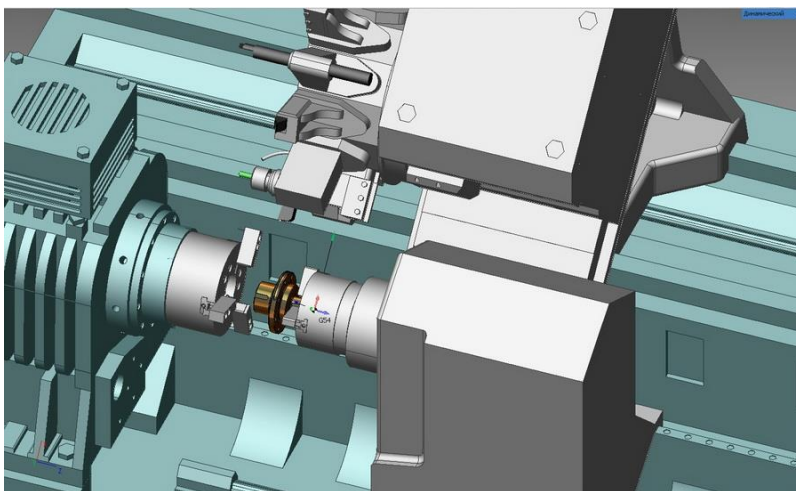


Рис. 5.3. Перехват детали в противошпиндель [14]

Как уже отмечалось, в передней бабке станка установлено устройство для зажима и разжима патрона, предназначенное для надежного закрепления заготовки при её обработке. Устройство включает (рис. 5.4): патрон 1; гидроцилиндр 2, шток 3 которого жёст-

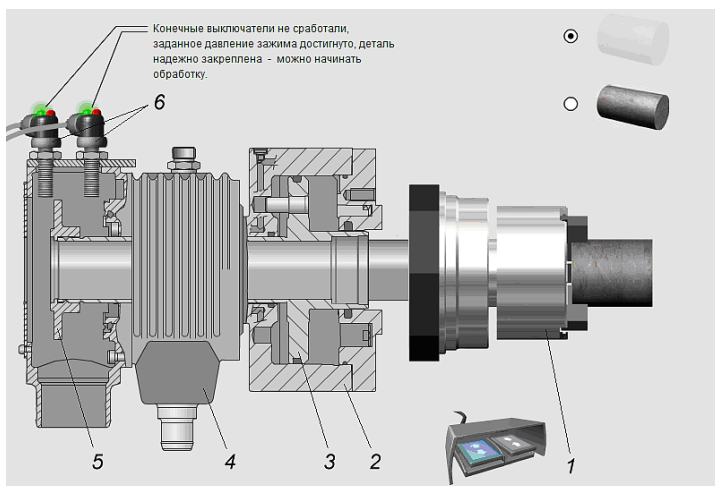
88

ко закреплен на шпинделе станка; систему подвода рабочего тела (масла) в гидроцилиндр 4; диск 5 и индуктивные датчики (конечные выключатели) 6. Следует отметить, что данное устройство настроено на определённый диапазон диаметров обрабатываемых заготовок. При установке заготовки в кулачки патрона и нажатии соответствующей педали (рис. 5.1 и 5.4, *а*) масло под давлением поступает в правую полость гидроцилиндра. При этом поршень со штоком и закреплённым на нём диском будет перемещаться влево. Если диаметр заготовки находится в заданном диапазоне, то диск при установленном производителем давлении в гидросистеме не достигнет левого датчика и устройство обеспечит требуемое усилие закрепления заготовки.

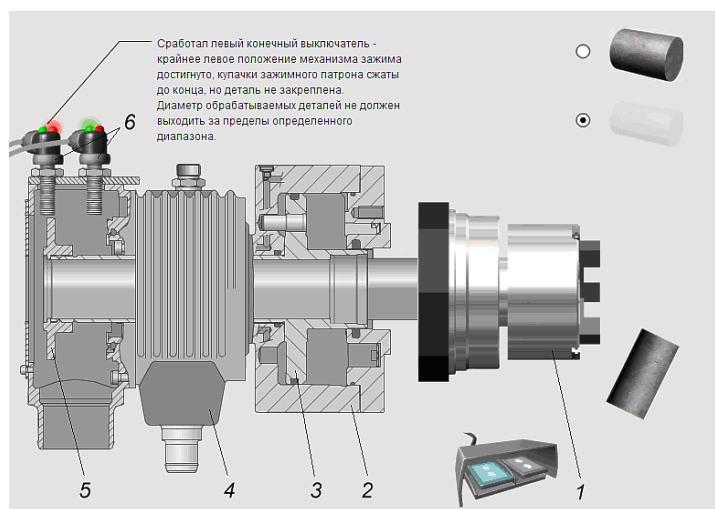
В том случае, если диаметр заготовки меньше допустимого, то диск достигнет левого датчика, в результате чего произойдет отключение устройства (рис. 5.4, *б*). То есть при данном диаметре заготовки и давлении в гидромагистрали либо не будет обеспечено необходимого усилия закрепления заготовки, что может привести к вырову заготовки из кулачков при обработке, либо заготовка совсем не будет закреплена. Последний вариант изображен на рис. 5.4, *б*.

Правый индуктивный датчик определяет максимальное раскрытие кулачков патрона. Так при нажатии соответствующей педали масло под давлением будет поступать в левую полость гидроцилиндра, в результате чего шток вместе с диском будет перемещаться вправо. Если оператор станка не прекратит подачу масла в гидроцилиндр (не уберёт ногу с детали), то при достижении диском правого датчика устройство отключится.

Помимо механических, гидравлических и пневматических устройств и систем многофункциональные токарные станки с ЧПУ содержат электрические и электронные устройства: коммутационные аппараты для подключения станка и его отдельных элементов к электрической сети; электродвигатели для механизма главного движения, механизмов подачи и вспомогательных движений; блоки питания; программируемые логические контроллеры; системы управления приводами и т.д.



a



б

Рис. 5.4. Схемы работы устройства для зажима и разжима патрона при диаметре заготовки, находящемся в пределах (а) и за пределами (б) установленного диапазона [24]

Кратко рассмотрим некоторые из этих элементов.

Блок питания. Для работы электроники УЧПУ нельзя использовать напряжение непосредственно от промышленной сети (380...400 В). Сначала переменный ток должен быть преобразован в постоянный, после чего напряжение стабилизируется и поддерживается на постоянном уровне. Это обеспечивается блоком электрического питания станка, схема которого представлена на рис. 5.5 [24].

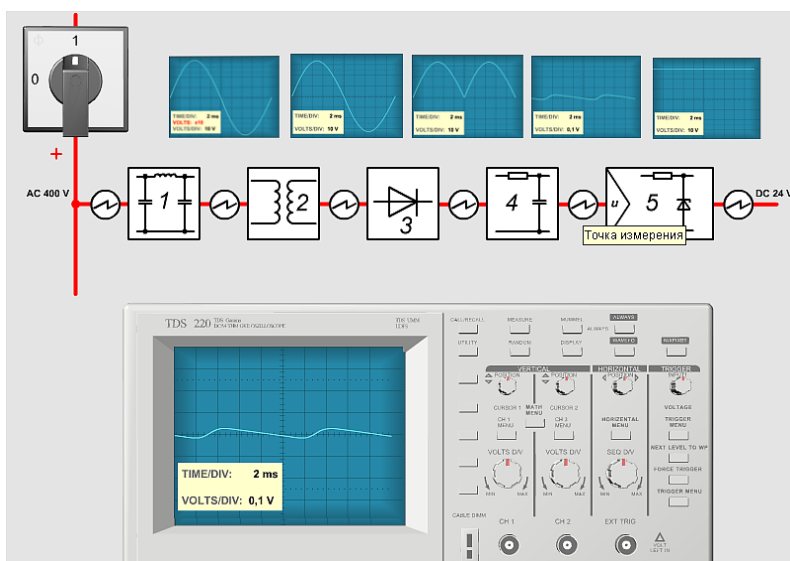


Рис. 5.5. Схема блока питания:

- 1 – сетевой фильтр; 2 – трансформатор; 3 – выпрямитель;
- 4 – фильтр; 5 – стабилизатор

Как видно из рис. 5.5, блок питания содержит: сетевой фильтр; трансформатор; выпрямитель, фильтр и стабилизатор. Использование данных составляющих позволяет получить необходимое напряжение на выходе блока питания. На данном же рисунке приведены осциллограммы напряжения в различных точках измерения.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК). ПЛК обеспечивают возможность выполнения рабочего цикла станка при соблюдении требований к технике безопасности и эксплуатации станка. Рабочий цикл может быть включён только при закрытой двери ограждения, отжатой кнопке аварийного выключения станка и когда рабочие органы станка не находятся в своих крайних положениях, т.е. не нажаты путевые выключатели ограничения хода (рис. 5.6). Одновременность выполнения всех этих требований обеспечивается логической функцией «И» программируемых логических контроллеров.

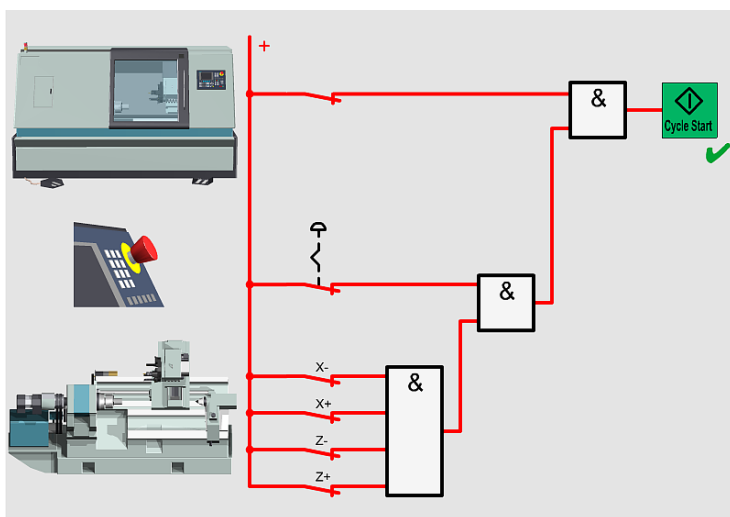


Рис. 5.6. Схема включения логических контроллеров для выполнения рабочего цикла [24]

Система управления приводами. ЧПУ – программа выполняется системой управления. Информация о величине и скорости требуемых перемещений передается приводам соответствующих осей координат станка (рис. 5.7).

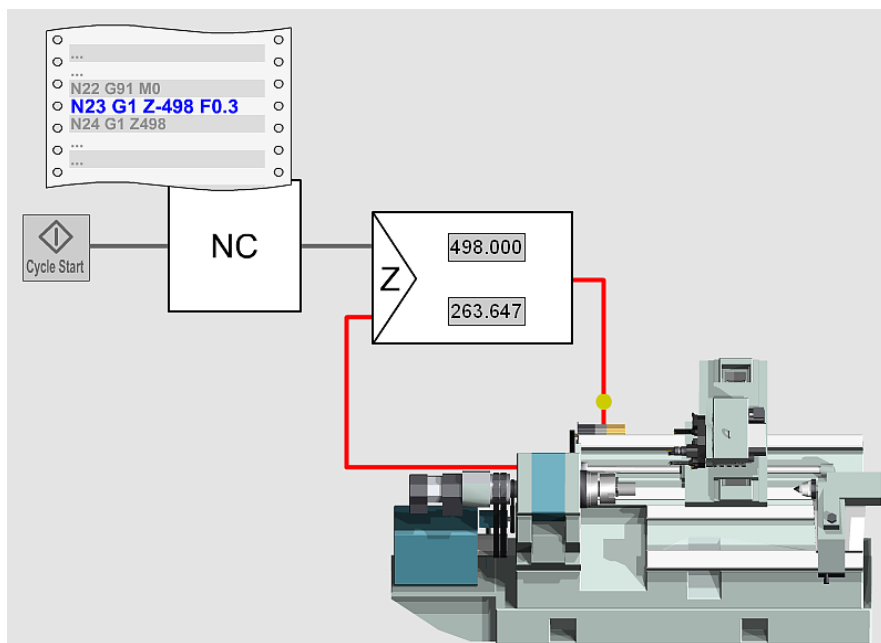


Рис. 5.7. Схема системы управлением приводами [24]

При этом их фактические значения сравниваются с заданными в постоянном цикле работы системы при помощи датчиков обратной связи.

5.2. Универсальные фрезерные центры

Универсальные фрезерные центры (УФЦ) предназначены для осуществления широкого комплекса сверлильно-фрезерно-расточных работ и в зависимости от оснащения могут выполнять как трех, так и пятикоординатную обработку заготовок. Данные станки производятся с инструментальными магазинами, как правило, на 16...32 позиций инструмента. Для осуществления пятикоординатной обработки заготовок станки оснащены наклонно-поворотным столом.

Типовую конструкцию универсального фрезерного центра по аналогии с токарным станком рассмотрим на примере его обобщенной виртуальной модели, представленной в работе [24]. На рис. 5.8 приведен общий вид данного центра, а на рис. 5.9 его вид при снятых кабине, кожухах инструментального магазина и шпиндельной бабки и при отсутствии бака для СОЖ. Отдельные сборочные единицы фрезерного центра представлены на рис. 5.10.

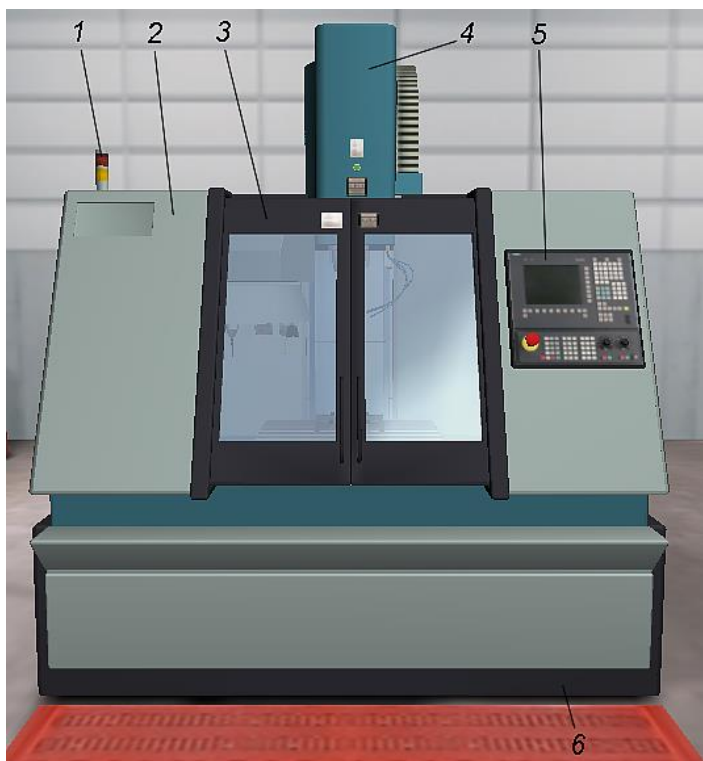


Рис. 5.8. Общий вид универсального фрезерного центра [24]:
1 – светосигнальное устройство; 2 – кабинет; 3 – дверь ограждения;
4 – кожух шпиндельной бабки; 5 – панель управления станком;
5 – транспортёр стружки; 6 – бак для СОЖ

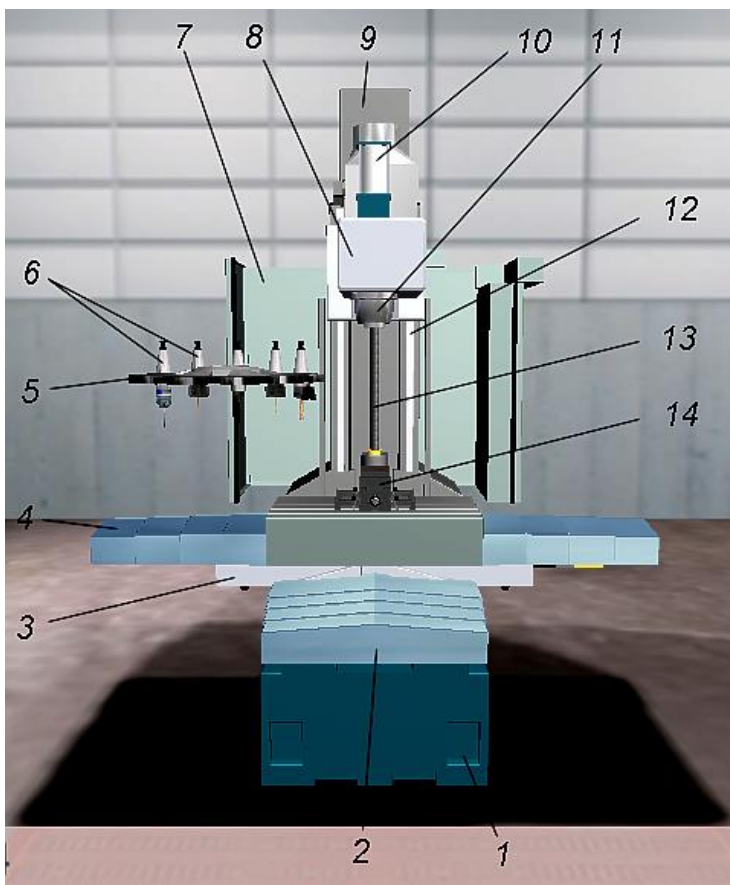
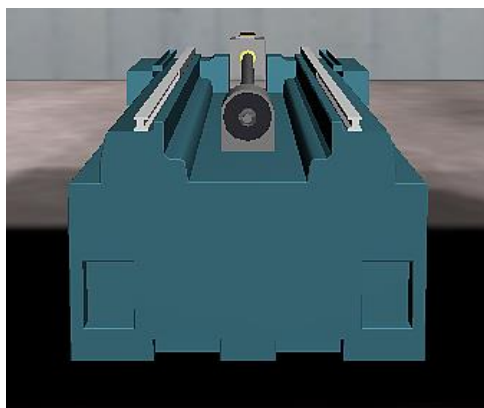


Рис. 5.9. Вид станка вид при снятых кабинете, кожухах инструментального магазина и шпиндельной бабки и при отсутствии бака для СОЖ [24]:

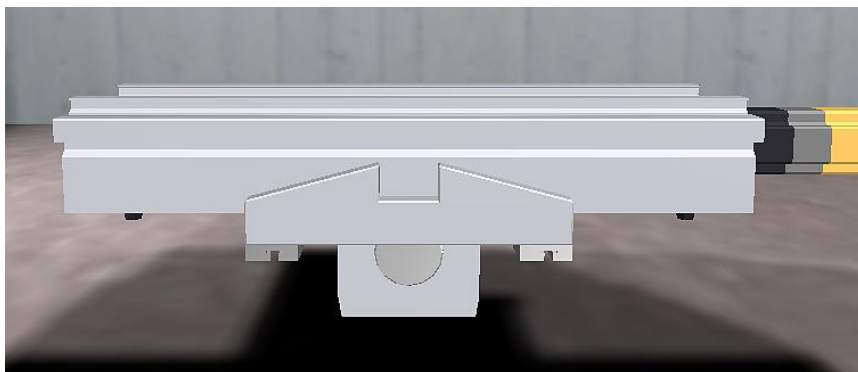
- 1 – станина; 2 – защита направляющих оси Y; 3 – поперечные салазки;
- 4 – защита направляющих оси X; 5 – диск магазина; 6 – инструменты магазина;
- 7 – электрошкаф; 8 – шпиндельная бабка; 9 – колонна; 10 – пневмоцилиндр механизма зажима/разжима инструмента; 11 – шпиндельная сборочная единица с механизмом зажима/разжима инструмента; 12 – направляющие оси Z;
- 13 – шарико-винтовая пара оси Z; 14 – тиски для зажима заготовки



a



б



в

Рис. 5.10. Сборочные единицы фрезерного центра:
a – станина; *б* – колонна; *в* – поперечные салазки [24]

Универсальный фрезерный центр смонтирован на высококачественной чугунной станине 1 с горизонтальными направляющими, расположенными параллельно оси Y его системы координат (рисунок 5.9 и 5.10, *а*) и закрытыми от механического воздействия посредством защиты 2. На станине смонтирована колонна 9 (рис. 5.9 и 5.10, *б*) с вертикальными направляющими оси Z 12. По горизонтальным направляющим станины перемещаются поперечные салазки 3 (рис. 5.9 и 5.10, *в*) с направляющими оси X фрезерного центра, также закрытыми от механического воздействия стружки при помощи защиты 4. По направляющим оси X перемещается стол 15 универсального фрезерного центра с установленными на нём тисками 14. К станине центра с помощью кронштейна крепится диск инструментального магазина 5 с расположенными на нем инструментами 6. По вертикальным направляющим оси Z перемещается шпиндельная бабка 8 со шпиндельной сборочной единицей 11 и пневмоцилиндром механизма зажима/разжима инструмента 10. Для перемещения шпиндельной бабки применяется механизм вертикальной подачи, в состав которого входит шарико-винтовая пара 13.

Для обеспечения возможности пятикоординатной обработки универсальные фрезерные центры оснащаются наклонно-поворотными столами. На рис. 5.11 представлен наклонно-поворотный стол, которым оснащен универсальный фрезерный центр модели DMU 50 eco-line.

Как уже отмечалось, в шпиндельной бабке фрезерного центра располагается устройство для зажима/разжима инструмента. Схема данного устройства приведена на рис. 5.12. Устройство включает: инструментальную оправку 1; шпиндель 2; механизм захвата 3; шток 4; тарельчатые пружины 5; пневмоцилиндр 6 и поршень 7.

Для закрепления инструмента, находящегося в оправке 1, из пневмоцилиндра 6 стравливается воздух, в результате чего тарельчатые пружины 5, находящиеся в сжатом состоянии, разжимаются. При этом шток 4 вместе с поршнем 7 поднимается вверх и механизм захвата 3 затягивает оправку в коническое отверстие шпинделя 2. Для

раскрепления инструмента в пневмоцилиндр подается воздух, в результате чего шток опускается, механизм захвата открывается и шток выталкивает оправку из отверстия шпинделя.

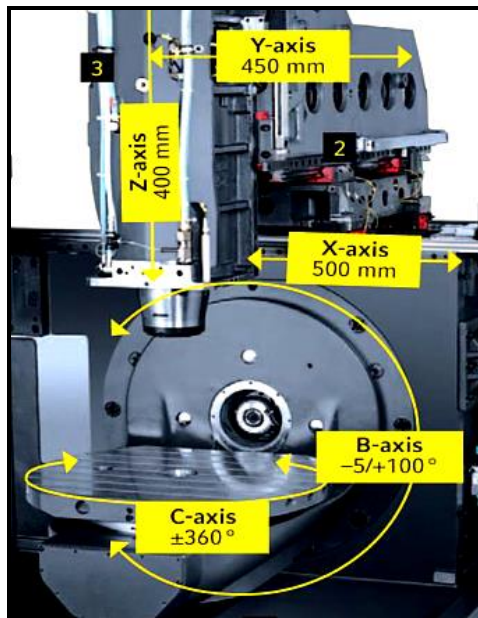


Рис. 5.11. Наклонно-поворотный стол станка DMU 50 ecoline [20]

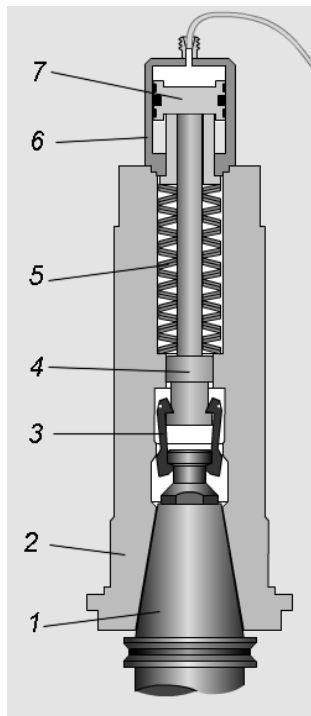


Рис. 5.12. Устройство для зажима/разжима инструмента [24]

Также как и многофункциональные токарные станки с ЧПУ универсальные фрезерные центры помимо механических, гидравлических и пневматических устройств и систем содержат электрические и электронные устройства: коммутационные аппараты для подключения станка и его отдельных элементов к электрической сети; электро-

двигатели для механизма главного движения, механизмов подач и вспомогательных движений; блоки питания; программируемые логические контроллеры; системы управления приводами и т.д.

Остановимся на некоторых из этих устройств.

Блок питания. Устройство и принцип работы блока питания, применяемого в универсальных фрезерных центрах с ЧПУ, аналогичны устройству и принципу работы блока питания, используемого в многофункциональных токарных станках с ЧПУ.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК). Для обеспечения возможности выполнения рабочего цикла изготовления детали на универсальном фрезерном центре необходимо чтобы перед началом обработки были закрыты дверцы кабинета, отжата кнопка аварийного выключения станка и рабочие органы станка не находились в своих крайних положениях. За выполнение этих условий отвечают программируемые логические контроллеры. При этом одновременность выполнения всех этих требований обеспечивается логической функцией «И». Схема включения логических контроллеров для выполнения рабочего цикла на универсальном фрезерном центре представлена на рис. 5.13.

Система управления приводами. Система управления приводами универсального фрезерного центра приведена на рис. 5.14. Данная система в принципе аналогична системе управления приводами, представленной в подразделе 5.1 при рассмотрении многофункционального токарного станка. При этом следует отметить, что если фрезерный центр предназначен для трехкоординатной обработки, то он оснащен тремя приводами подач и приводом главного движения. В универсальном фрезерном центре, предназначенном для пятикоординатной обработки, помимо указанных приводов имеются ещё два привода для наклонно-поворотного стола.

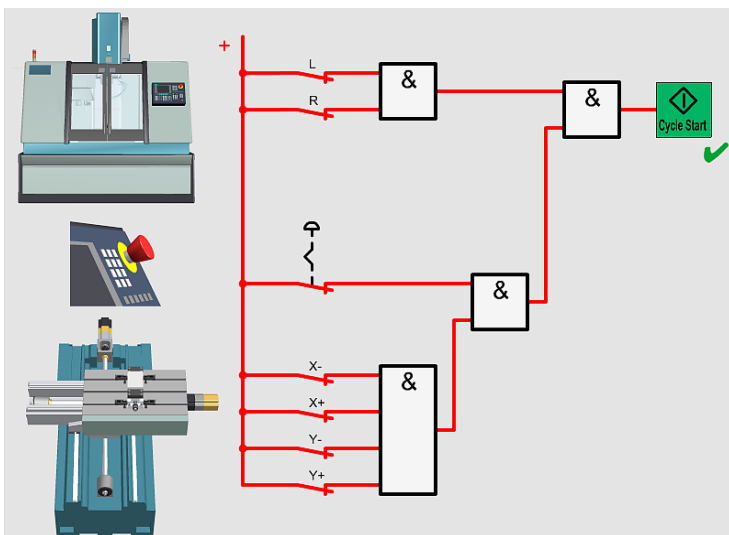


Рис. 5.13. Схема включения логических контроллеров для выполнения рабочего цикла на универсальном фрезерном центре [24]

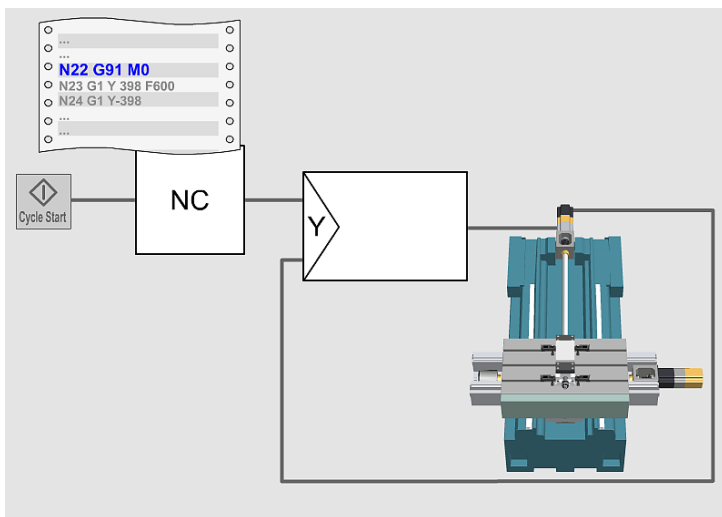


Рис. 5.14. Схема системы управления приводами [24]

6. РАЗРАБОТКА, ОТЛАДКА И КОРРЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

6.1. Разработка управляющих программ

При разработке управляющей программы для станка с ЧПУ необходимо выполнить совокупность действий, осуществляемых в следующей последовательности [11]:

1) спроектировать маршрутную технологию изготовления детали, представляющую собой совокупность последовательных операций, выполняемых выбранными режущими инструментами в комплекте с вспомогательными инструментами и станочными приспособлениями;

2) разработать операционную технологию с определением траекторий движения режущих инструментов и расчетом режимов резания на каждый переход операции. Причем при определении режимов резания целесообразно использовать существующие программы расчета, обеспечивающие более точное назначение режимов резания по сравнению с ручным методом по существующим нормативам или рекомендациям, прилагаемым к каталогам инструментов;

3) определить координаты опорных точек для траекторий движения режущих инструментов;

4) составить расчетно-технологическую карту (РТК) обработки детали и карту наладки станка с ЧПУ;

5) закодировать информацию;

6) нанести информацию на программноноситель, используемый станком, после чего переслать её в память УЧПУ станка или при необходимости набрать программу вручную с пульта устройства ЧПУ;

7) проконтролировать и при необходимости исправить программу.

Приведенная ранее совокупность действий имеет место при ручной подготовке программ. При использовании для создания управляющих программ САМ модулей различных CAD/CAM систем процесс

разработки маршрута обработки, операционных технологий, траекторий движения инструментов и т.д. существенно упрощается.

Для подготовки управляющей программы необходимы: чертеж детали или её 3D – модель; интегрированная CAD/CAM система, в которой будет разрабатываться технологический процесс изготовления детали и генерироваться управляющая программа, или инструкция по программированию при ручном составлении программы; паспорт или руководство по эксплуатации станка; каталог режущих инструментов, а также справочная литература по режимам резания или соответствующие программы расчета с базами данных.

В соответствии с ГОСТ 20999-83 запись элементов управляющей программы производится в определённом порядке в виде последовательности кадров с использованием символов, приведенных в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Значения управляющих символов и знаков [11]

Символ	Значение
A	Угол поворота вокруг оси X
B	Угол поворота вокруг оси Y
C	Угол поворота вокруг оси Z
D	Вторая функция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Первая функция (скорость) подачи
G	Подготовительная функция
H	Коррекция длины инструмента
I	Параметр угловой интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	Параметр круговой интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	Параметр круговой интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z
L	Не определен
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Не определен
P	Третьичная длина перемещения, параллельного оси X
Q	Третьичная длина перемещения, параллельного оси Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третьичная длина перемещения, параллельного оси Z

Символ	Значение
S	Функция (скорость) главного движения
T	Первая функция инструмента
U	Вторичная длина перемещения, параллельного оси X
V	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Y
W	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Z
X	Первичная длина перемещения, параллельного оси X
Y	Первичная длина перемещения, параллельного оси Y
Z	Первичная длина перемещения, параллельного оси Z
ПС	Символ, обозначающий конец кадра управляющей программы
%	Знак, обозначающий начало управляющей программы
(	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не должна обрабатываться на станке
)	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация должна обрабатываться на станке
+	Математический знак
–	Математический знак
·	Десятичный знак
/	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа «Конец кадра» может обрабатываться или не обрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте управления УЧПУ). Когда данный знак стоит перед символом «Номер кадра» или «Главный кадр», он действует на целый кадр управляющей программы
:	Знак, обозначающий главный кадр управляющей программы

Схема построения кадров определяется **форматом УЧПУ** станка, т.е. принятым порядком расположения слов в кадре и структурой каждого слова в отдельности. Каждый кадр управляющей программы для станка должен содержать:

- 1) слово «Номер кадра»;
- 2) информационные слова или слово, которые допускается не использовать;
- 3) символ «Конец кадра»;
- 4) символы табуляции, которые также допускается не применять.

Символ «Табуляция» обозначается точкой (·), а символ «Конец кадра» – прописными буквами ПС или другими принятыми символами, например, * .

Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в следующей последовательности [11]:

1) слово (или слова) «Подготовительная функция»;

2) слова «Размерные перемещения», которые, в свою очередь принято записывать в указанной последовательности символов: X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C;

3) слова «Параметр интерполяции» или «Шаг резьбы» I, J, K;

4) слово (или слова) «Функция подачи», которые относятся только к определённой оси, должны строго следовать за словом (словами) «Размерное перемещение» по этой оси; слово «Функция подачи», относящееся к двум и более осям, должно следовать за словом «Размерное перемещение»;

5) слово «Функция главного движения»;

6) слово (или слова) «Функция инструмента»;

7) слово (или слова) «Вспомогательная функция».

Следует отметить, что порядок и кратность записи слов с адресами D, E, H, U, V, W, P, Q, R, используемых в значениях, отличных от принятых, указываются в формате конкретного УЧПУ, применяемого на станке.

В рамках одного кадра управляющей программы недопустимо повторение слов «Размерные перемещения», «Параметр интерполяции» и «Шаг резьбы». Кроме того, недопустимо использование слов «Подготовительная функция», входящих в одну группу.

В управляющей программе после символа «Главный кадр» должна содержаться вся информация, необходимая для начала или возобновления процесса формообразования детали.

При наладке станка возникает необходимость в выполнении наладочных переходов. Для исключения этих переходов после осуществления процесса наладки перед символами «Номер кадра» и «Главный кадр» должен быть записан символ «Пропуск кадра».

Все слова в кадрах управляющей программы станка должны состоять из символа адреса, т.е. прописной буквы латинского алфавита в соответствии с таблицей 6.1, математического знака «+» или «-» и сочетания цифр.

Слова в управляющей программе, как указано в работе [7], могут быть записаны без десятичного знака, т.е. с подразумеваемым положением десятичной запятой, и с явным положением десятичной запятой, которая обозначается символом «DS».

При включении в кадры программы слов с десятичным знаком те из них, в которых десятичный знак отсутствует, должны отрабатываться УЧПУ как целые числа. Незначащие нули, находящиеся до и (или) после знака, могут во внимание не приниматься, например запись X.08 означает размер 0,08 мм по оси X; X950 – размер 950,0 мм по оси X. Размер, выраженный одними нулями, должен быть представлен, по крайней мере, одним нулем. Подразумеваемое положение десятичной запятой должно быть определено в характеристиках формата конкретного УЧПУ.

Слово «Номер кадра» должно состоять из цифр, количество которых также указывается в формате конкретного УЧПУ.

Слово (или слова) «Подготовительная функция» должно быть обозначено кодовым символом. Перечень этих символов представлен в табл. 6.2.

Установлено, что все размерные перемещения должны записываться в программе либо в абсолютных значениях, либо в приращениях. За адресом каждого слова «Размерные перемещения» указывается знак (знак плюс можно опускать) и числовое значение размерного перемещения. Количество разрядов до десятичной запятой и количество разрядов после десятичной запятой определяются форматом УЧПУ. Все линейные перемещения, указанные в программе, численно должны быть выражены в миллиметрах или десятичных долях миллиметра.

Таблица 6.2. Подготовительные функции [11]

Обозначение функции	Значение функции
G00	Позиционирование. Перемещение на быстром ходу в заданную точку. Ранее заданная рабочая подача не отменяется
G01	Линейная интерполяция. Перемещение с запрограммированной подачей по прямой к точке
G02, G03	Круговая интерполяция соответственно по ходу и против хода часовой стрелки
G04	Задержка в обработке на определённое время, которое задается с пульта управления или в кадре
G05	Временный останов. Длительность останова не ограничена. В работу станок включается нажатием кнопки
G06	Параболическая интерполяция. Движение по параболе с запрограммированной подачей
G08	Разгон. Плавное увеличение скорости подачи до запрограммированного её значения в начале движения
G09	Торможение в конце кадра. Плавное уменьшение скорости подачи до фиксированного значения.
G17, G18, G19	Плоскости интерполяции соответственно XY, XZ, YZ
G33, G34, G35	Нарезание резьбы соответственно с постоянным, увеличивающимся и уменьшающимся шагами
G40	Отмена коррекции инструмента заданной одной из функций G41-G52
G41, G42	Коррекция диаметра или радиуса инструмента при контурном управлении. Режущий инструмент расположен соответственно слева и справа от детали
G43, G44	Коррекция диаметра или радиуса инструмента соответственно положительная и отрицательная
G45-G52	Коррекция диаметра или радиуса инструмента при прямолинейном формообразовании: G45+/, G46+/-, G47-/-, G48-/-, G49 0/+, G50 0/-, G51+/0, G52-/0
G53	Отмена линейного сдвига, заданного одной из функций G54-G59
G54-G59	Линейный сдвиг по координатам X, Y, Z и в плоскостях XY, ZX, YZ соответственно
G63	Нарезание резьбы метчиком

Обозначение функции	Значение функции
G80	Отмена постоянного цикла, заданного одной из функций G81–G89
G81-G89	Постоянные циклы
G90	Абсолютный размер. Отсчет перемещений в абсолютной системе координат с началом в нулевой точке системы ЧПУ
G91	Размер в приращениях. Отсчет перемещений относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	Установка абсолютных накопителей положения
G93	Скорость подачи в функции, обратной времени
G94, G95	Единица подачи соответственно в минуту и на оборот
G96	Единица скорости резания (м/мин)
G97	Единица главного движения (об/мин)

Ряд устройств ЧПУ имеет специальные циклы, «привязанные» к конкретному станку.

В том случае, если устройство ЧПУ станка позволяет задание размеров в абсолютных значениях как положительных, так и отрицательных в зависимости от положения начала системы координат, то составной частью слова «Размерное перемещение» обязательно должен быть математический знак «+» или «-», который проставляется перед первой цифрой размера [11].

При задании размеров в управляющей программе, выраженных в приращениях, математический знак перед первой цифрой размера определяет направление перемещения.

Движение режущего инструмента по сложной траектории в процессе изготовления детали производится с помощью специального устройства, именуемого интерполятором. Следует отметить, что интерполяция линейных и дуговых участков данной траектории производится по отдельности, при этом каждый из участков может быть записан либо в одном, либо в нескольких кадрах программы.

Интерполяция участков траектории движения инструмента, имеющих как простую, так и сложную форму, обеспечивается за счет использования подготовительных функций G01-G03, либо G06.

Для задания в программе параметров интерполяции используют символы I, J, K, предназначенные для определения геометрических параметров кривых, например, центра дуги окружности, радиуса, угла и т.д. При этом, если параметры интерполяции необходимо дополнить математическим знаком «+» или «-», то он должен располагаться после адресного символа перед цифровым параметром. В том случае, если математический знак отсутствует, то подразумевается, что он положительный [11].

При составлении программы необходимо знать, что начальная точка каждого последующего участка интерполяции совпадает с конечной точкой предыдущего участка, в связи с этим в новом кадре программы она не повторяется. Всем последующим точкам траектории, лежащим на рассматриваемом участке интерполяции и имеющим определённые координаты, соответствуют отдельные кадры информации с адресами перемещений X, Y или Z.

Скорость главного движения и подача кодируются числовыми значениями, количество разрядов которых определено форматом устройства ЧПУ станка. При этом выбор типа подачи осуществляется подготовительными функциями G93-G95, а выбор типа главного движения подготовительными функциями G96-G97.

В качестве основного метода кодирования подачи нашел применение метод прямого обозначения. При этом в качестве единиц измерения используются либо миллиметр в минуту (мм/мин), в том случае если подача не зависит от скорости главного движения, либо миллиметр на оборот (мм/об), когда подача зависит от скорости главного движения. Также в качестве единицы измерения может использоваться радиан в секунду (градус в минуту) для регламентации подачи применительно к круговому перемещению. При прямом обозначении скорости главного движения число, указанное в программе, будет обозначать либо угловую скорость шпинделя в оборотах в минуту или радианах в секунду, либо скорость резания в метрах в минуту. Так, например, если в управляющей программе частота вращения шпинделя задана как $S - 1000$, то это означает, что шпиндель враща-

ется по часовой стрелке с частотой 1000 об/мин. Если же знак «—» в программе отсутствует, то следовательно шпиндель вращается против направления движения часовой стрелки.

Слово «Функция инструмента» может применяться как для выбора режущего инструмента, так и для его коррекции (или компенсации) (см. табл. 6.1). В этом случае слово «Функция инструмента» должно состоять из двух групп цифр, первая из которых используется для выбора инструмента, а вторая – для его корректировки [11].

Слово (или слова) «Вспомогательная функция», выражается кодовым числом. Перечень вспомогательных функций с их обозначением представлен в табл. 6.3.

Таблица 6.3. Вспомогательные функции [11]

Обозначение функции	Значение функции
M00	Программируемый останов. Останов шпинделя, подачи и выключение охлаждения
M01	Останов с подтверждением. То же, что и M00, но выполняется при предварительном нажатии соответствующей кнопки на пульте оператора
M02	Конец программы. Останов шпинделя и выключение подачи СОЖ
M03, M04	Вращение шпинделя соответственно по ходу и против хода часовой стрелки
M05	Останов шпинделя наиболее эффективным способом
M06	Смена инструмента. Команда на смену инструмента подается вручную или автоматически
M07, M08	Включение охлаждения соответственно №2 и №1
M09	Выключение охлаждения. Отменяет команды M07, M08, M50, M51
M10, M11	Зажим и разжим. Относится к зажимным приспособлениям столов станка, заготовки и т.д.
M13, M14	Вращение шпинделя по ходу и против хода часовой стрелки при одновременном включении охлаждения

Обозначение функции	Значение функции
M15, M16	Быстрое перемещение в «+» и «-»
M17	Конец подпрограммы для устройства ЧПУ со встроенной памятью
M19	Останов шпинделя в определённом угловом положении
M20	Конец подпрограммы, которой является многократно считываемая глава программы
M30	Конец информации
M31	Обход блокировки. Команда на временную отмену блокировки
M36, M37	Диапазон подач соответственно №1 и №2
M38, M39	Диапазон вращения шпинделя соответственно №1 и №2
M48	Отмена M49
M49	Отмена ручной коррекции
M50, M51	Включение охлаждения соответственно №3 и №4
M55, M56	Линейное смещение инструмента в положении №1 и №2 соответственно
M58	Отмена M59
M59	Постоянная скорость шпинделя
M60	Смена заготовки
M61, M62	Линейное смещение заготовки в фиксированное положение №1 и №2 соответственно
M68, M69	Зажим и отжим заготовки
M71, M72	Угловое смещение заготовки в фиксированное положение №1 и №2 соответственно
M78, M79	Зажим и отжим стола

Управляющую программу следует составлять таким образом, чтобы в кадре записывалась только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется по сравнению с предыдущим кадром программы.

Запись любой управляющей программы начинается с символа «Начало программы», после которого ставится символ «Конец кадра». Затем располагается кадр с соответствующим номером. Заканчивается программа символом «Конец программы» или «Конец информации».

6.2. Отладка и корректирование программ

При создании управляющей программы для станка с ЧПУ одним из ключевых моментов является разработка траектории движения режущих инструментов относительно заготовки (детали) и, следовательно, на основе этого – описание движений соответствующих рабочих органов станка. Для этого применяется несколько существующих систем координат.

Система координат станка является главной расчетной системой, позволяющей определить предельные перемещения и положения его рабочих органов. Эти положения задаются базовыми точками, расположение которых в свою очередь во многом определяется конструкцией металлорежущего станка. Например, у шпиндельной сборочной единицы базовой точкой является точка пересечения оси вращения шпинделя с его торцом, у крестового стола в качестве базовой точки служит центр пересечения его диагоналей, у поворотного стола станка за базовую точку принят центр поворота на зеркале стола и т.д. Положения осей и их направления в стандартной системе координат подробно рассмотрены в подразделе 3.7. Как правило, начало стандартной системы координат совмещают с базовой точкой сборочной единицы, предназначенной для установки заготовки. При этом положение начала координат должно быть таковым, при котором все перемещения рабочих органов станка происходят исключительно в положительном направлении. Эту точку принято называть нулевой точкой станка или нулем станка (рис. 6.1). От нулевой точки станка определяется положение всех его рабочих органов. В эту точку рабочие органы станка могут вернуться либо посредством нажатия соответствующих кнопок на пульте управления, либо с помощью команд управляющей программы.

Система координат детали является главной системой при осуществлении процесса программирования обработки. В этой системе определены все размеры рассматриваемой детали, даны координаты всех опорных точек контура детали и положение обрабатываемых элементов. Базовая точка системы координат детали необходима для определения положения этой системы относительно системы координат станка.

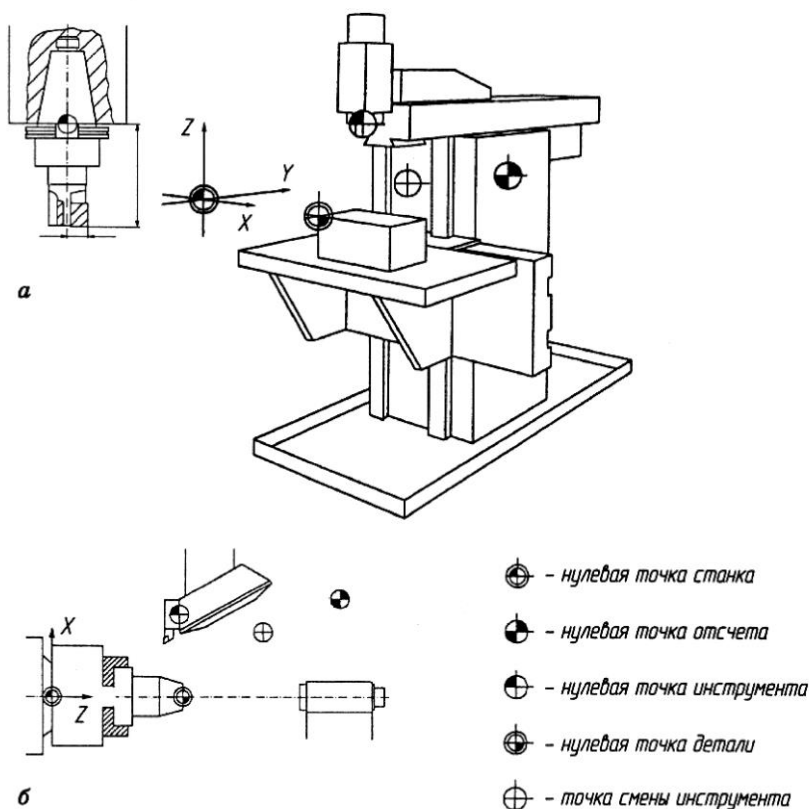


Рис. 6.1. Положение нулевых точек систем координат при обработке на фрезерном (а) и токарном (б) станках [11]

Система координат инструмента служит для задания положения его режущей части относительно начала системы координат, располагающейся в базовой точке инструментально блока. При этом следует отметить, что положение базовой точки зависит от особенностей установки инструментального блока на станке.

Оси системы координат инструмента расположены параллельно соответствующим осям стандартной системы координат станка и направлены в ту же сторону, а положение вершины режущего ин-

струмента задается радиусом r и координатами X и Z её настроечной точки. Настроечная точка необходима для определения траектории движения, элементы которой параллельны координатным осям [11]. При криволинейной траектории движения режущего инструмента за расчётную точку принимают центр закругления при его вершине.

При создании управляющей программы для формообразования детали применяют *систему координат программы*. Системы координат программы и детали, как правило, совмещены и представляют собой единую систему, в которой производится программирование и обработка детали на станке. Оси системы координат программы параллельны осям координат станка, а их направления совпадают. Начало координат выбирают исходя из удобства отсчёта геометрических размеров. При этом современные УЧПУ позволяют смещать начало системы координат программы в пространстве во всем диапазоне перемещений рабочих органов.

Положения точек и элементов можно пересчитать из одной системы координат в другую. Однако при современном уровне развития СЧПУ это не обязательно. В настоящее время управляющие программы создаются в САМ модулях различных CAD/CAM/CAPP систем, а применительно к конкретным станкам разработанные программы адаптируются с помощью специальных согласующих программ, называемых постпроцессорами, которые пишутся высококвалифицированными технологами-программистами для каждой используемой системы УЧПУ.

Для «привязки» в пространстве к нулевой точке станка его системы измерения перемещений используется нулевая (базовая) точка отсчёта, которая при включении станка «привязывает» данную систему к его нулевой точке.

При смене режущих инструментов в процессе изготовления детали могут возникнуть несоответствия между требованиями, предъявляемыми к качеству обработки, и её результатами. В этом случае возникает необходимость в оперативном корректировании управляющей

программы. Погрешности обработки, требующие незамедлительной коррекции, могут иметь место, например, при сверлении отверстий или при формообразовании (токарной обработке) наружных и внутренних конических и фасонных поверхностей из-за наличия у резцов радиуса при вершине.

Существуют две разновидности коррекции – на длину и радиус инструмента.

Коррекции длины инструмента, а именно длины сверла или вылета державки резца, выполняется с помощью символа H и набранного числа, соответствующего величине коррекции. В этом случае кадр программы может иметь вид:

N 065 T03 H12,

что означает введение коррекции на длину 12 мм для режущего инструмента №3.

Необходимость выполнения второй разновидности коррекции обусловлена тем, что при формообразовании (токарной обработке) наружных и внутренних конических и фасонных поверхностей, а также при контурной обработке на операциях фрезерования траектория движения центра радиусной поверхности инструмента должна представлять собой эквидистанту поверхности детали. Если данное условие не будет выполнено, то будет иметь место погрешность формы детали, что видно из рис. 6.2.

Пример фрагмента программы, позволяющего выполнить компенсацию радиуса резца, приведен ниже по тексту [11]:

N035 G81 X +25 Z +4 I +7

N036 G41

.....

Описание контура обработки

.....

N053 G40

N054 G80.

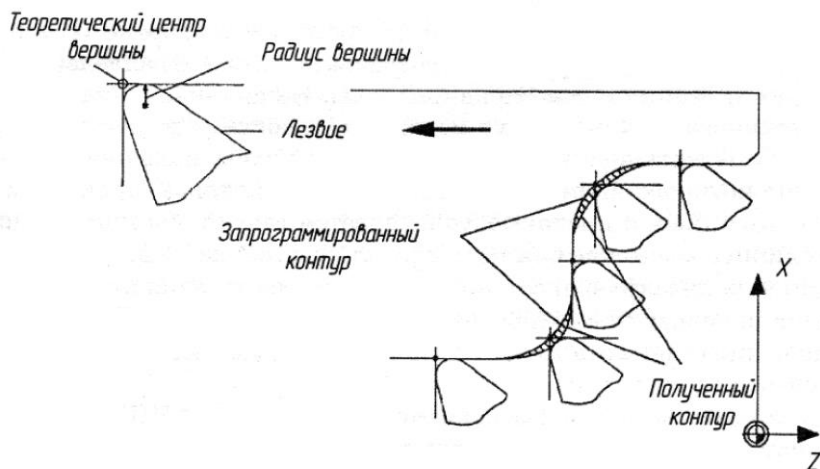


Рис. 6.2. Компенсация радиуса резца при фасонной обработке [11]

Фрагмент программы, описывающий движение фрезы по эквидистанте при фрезеровании наружного контура, показанного на рис. 6.3, будет иметь вид:

% 150

N005 G90 G00 X0 Y0 S1000 T01 M03

N006 G41 G01 X220 Y100 F100

N007 X220 Y430 F50

N008 G02 G17 X370 Y580 I370 J430

N009 G01 X705 Y580

N010 X480 Y190

N011 X220 Y190

N012 G00 X0 Y0 M05

N013 M02.

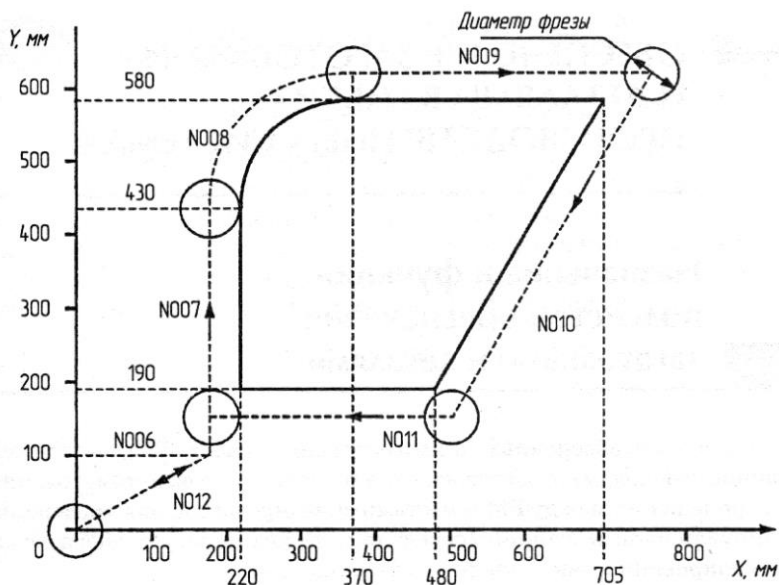


Рис. 6.3. Движение фрезы по эквидистанте при фрезеровании
наружного контура [11]

Как видно из данного фрагмента, функция G41 в кадре N006 обеспечивает движение центра концевой фрезы по эквидистанте относительно обработанной поверхности. В случае если в процессе обработки необходимо уменьшить шероховатость поверхности или снизить уровень вибрации, снижающей качество обработки, то используя пульт управления можно набрать новое значение подачи и ввести его в память устройства ЧПУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В подготовленной авторами второй части учебно-теоретического пособия «Обработка конструкционных материалов. Процессы, инструменты и станки» описаны технологические процессы протягивания, зубонарезания и отделки зубчатых колес, а также приведены общие сведения о станках, типовых сборочных единицах и механизмах современных металлорежущих станков и системах их управления. Рассмотрены многофункциональные токарные станки с ЧПУ и универсальные фрезерные центры. Описаны процессы разработки, отладки и корректирования управляющих программ. Эти материалы вместе с материалами, приведенными в первой части пособия «Обработка конструкционных материалов. Процессы резания и режущие инструменты» составляют основы курса «Обработка конструкционных материалов». Поэтому данное учебное пособие может быть составной частью учебно-методических комплексов по таким дисциплинам как «Резание, станки и инструменты», «Обработка конструкционных материалов», «Процессы и операции формообразования» и «Оборудование машиностроительных производств».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Босинзон, М.А. Современные системы ЧПУ и их эксплуатация: учебник / М.А. Босинзон; под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 192 с.
2. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: справочник / Р.И. Гжиров. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
3. Кожевников, Д.В. Режущий инструмент: учебник для вузов / Д.В. Кожевников [и др.]; под ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
4. Митряев, К.Ф. Станки с числовым программным управлением при производстве авиационных двигателей и летательных аппаратов: учеб. пособие / К.Ф. Митряев. – Куйбышев: КуАИ, 1983. – 91 с.
5. Петруха, П.Г. Технология обработки конструкционных материалов: учебник / П.Г. Петруха [и др.]; под ред. П.Г. Петрухи. – М.: Высшая школа, 1991. – 512 с.
6. Рыжкин А.А. Режущий инструмент: учебное пособие / А.А Рыжкин [и др.]. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 405 с.
7. Серебреницкий, П.П. Программирование автоматизированного оборудования: учебник для вузов: В 2 ч. / П.П. Серебреницкий, А.Г. Схиртладзе. – М.: Дрофа, 2008. – Ч.1. – 576 с.
8. Сибикин, М.Ю. Технологическое оборудование: учебник / М.Ю. Сибикин. – М.: Форум: Инфра-М, 2005. – 400 с.
9. Скуратов, Д.Л. Обработка конструкционных материалов. Процессы резания и режущие инструменты: учебное пособие / Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 196 с.
10. Фельдштейн, Е.Э. Металлорежущие инструменты: справочник конструктора / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
11. Фельдштейн, Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ: учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск.: Новое знание, 2006. – 287 с.

12. Черпаков, Б.И. Технологическое оборудование машиностроительного производства: учебник / Б.И. Черпаков, Л.И. Вереина. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 416 с.

13. ISO 841:1974. Numerical control of machines. Axis and motion nomenclature.

14. <http://commit.name/index.php?MainShowID=216>.

15. <http://cxem.net/promelectr/promelectr5.php>

16. http://iadt.siemens.ru/assets/files/infocenter/catalogs_and_brochures/mc/catalogs/NC82_2011_rus_web.pdf

17. <http://ind-techno.com.ua/ru/cat/63/835/116712/>

18. <http://toe-kgeu.ru/automaticelements/169-automaticelements1>

19. http://uss-stanko.com/mach/cnc_frez/f150.htm

20. <http://yandex.ru/yandsearch?lr=213&text=%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BA+dmu+50+ecoline&csg=0%2C0%2C0%2C0%2C1%2C0>.

21. <http://www.diximachines.com/english/products/spindle.html>

22. <http://www.siemens71.ru/new/?fn=10030552>

23. <http://www.spsspindle.com/blog/get-the-machine-tool-spindles-you-need-at-sps-spindle/>

24. CD CNC Training Sinumerik 840D

Учебное издание

*Скуратов Дмитрий Леонидович,
Хаймович Александр Исаакович,
Абульханов Станислав Рафаельевич*

**ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.
ПРОЦЕССЫ, ИНСТРУМЕНТЫ И СТАНКИ**

Часть 2

Учебное пособие

Редактор И.И. Спиридонова
Компьютерная вёрстка И.И. Спиридоновой

Подписано в печать 03.12.2018. Формат 60 × 84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 7,5.

Тираж 25 экз. Заказ . Арт. – 1(Р5У)/2018.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

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