

для вузов

А.Р. Маслов

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»



**МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2006**

УДК 621.9.02
ББК 34.63
М31

Рецензенты:

В.П. Балков – канд. техн. наук, зам. генерального директора
ОАО “ВНИИинструмент”;
А.М. Кузнецов – д-р техн. наук, профессор, зам. зав. кафедрой
“Автоматизация механообрабатывающих производств” МГТУ “МАМИ”

Маслов А.Р.

М31 Инструментальные системы машиностроительных производств: учебник. – М.: Машиностроение, 2006. – 336 с.: ил.
ISBN 5-217-03351-7

На основе системного подхода и разработок в области инструментального обеспечения приведена структура систем инструмента. Проанализированы системы вспомогательного инструмента, сменных режущих пластин, токарных резцов, инструмента для обработки отверстий и фрезерования. Рассмотрены вопросы эффективности применения систем инструмента в автоматизированном производстве.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки специалистов “Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств”.

УДК 621.9.02
ББК 34.63

ISBN 5-217-03351-7

© Издательство “Машиностроение”, 2006

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

Предисловие

Инструмент является основной составляющей технологической оснастки, используемой в машиностроительном производстве. С ростом уровня автоматизации машиностроения его роль значительно возрастает.

Инструмент должен отвечать требованиям к заданной точности обработки и производительности, соответствовать условиям его эксплуатации в автоматическом цикле, таким как: автоматическая смена инструмента, диагностика, оперативная информация о состоянии режущей части, размерная подналадка, регулирование и др.

Важное значение для автоматизированного производства имеет надежность инструмента. Этому требованию отвечает сборный инструмент, в том числе, с механическим креплением сменных режущих пластин. Применение сборного инструмента позволяет существенно повысить эффективность машиностроительного производства.

Однако сборный инструмент отличается большей сложностью и многовариантностью. Эффективность его работы может быть обеспечена только на основе системного подхода. Такой подход предусматривает проектирование не отдельных инструментов, а инструментальных систем, включающих совокупности типоразмерных рядов инструмента. Системный подход позволяет более полно учитывать взаимосвязь инструмента с другими элементами технологической системы.

В результате системным становится инструментальное обеспечение машиностроительного производства, что в свою очередь позволяет повысить отдачу основных фондов и сократить расходы на инструмент.

Преимущества инструментальных систем реализуются только при правильной организации их применения и соблюдении условий рациональной эксплуатации. Поэтому необходим учет оперативной информации о результатах использования инструмента для

оптимизации совокупности параметров технологической системы «станок – приспособление – инструмент». Это позволяет комплексно оценить технический уровень инструментальных систем с позиций общей теории качества продукции, когда на основе лабораторных и эксплуатационных испытаний оцениваются конструктивные варианты систем.

В учебнике обобщен опыт проектирования и совершенствования инструментальных систем, что позволяет рекомендовать не отдельные конструкции (такие сведения быстро устаревают), а методики, основанные на концепции системного анализа.

Показаны пути синтеза конкретных инструментальных систем исходя из типов поверхностей базирования, схем закрепления, действующих сил закрепления при разделении инструмента на взаимозаменяемые сборочные единицы и узлы.

В учебнике использован опыт ОАО «ЭНИМС», ОАО «ВНИИинструмент», ГСПКТБ «Оргприминструмент», кафедры «Инструментальная техника и технология формообразования» МГТУ «Станкин», отраслевой лаборатории при Краматорском индустриальном институте, отечественных и зарубежных инструментальных фирм по разработке систематизированного прогрессивного инструмента для машиностроительных производств.

Автор выражает благодарность зам. генерального директора ОАО «ВНИИинструмент», канд. техн. наук Балкову В.П. за большую помощь в работе над темой учебника.

Глава 1

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНСТРУМЕНТА

Условия автоматизированного проектирования инструмента, высокие требования к экономичности принимаемых решений, уровню и срокам проектирования обуславливают необходимость системного подхода, который обеспечивает комплексность, широту охвата и четкую организацию работ в противовес низкой эффективности локальных решений.

Применение системного подхода основывается на положениях общей теории систем, системотехники, общей теории проектирования [13, 53], исследованиях операций, системного анализа [30], теории принятия решений [21] и др. Большинство новых методов количественного анализа могут быть реализованы только благодаря использованию ЭВМ.

1.1. Параметры проектирования систем

Параметры технологической системы:

- входные (заданные) – условия эксплуатации инструментов;
- выходные – совокупность инструментов и режимы их эксплуатации;
- промежуточные – критерии оптимальности (целевые функции) и человеческий фактор.

Как правило, полное рассмотрение системы, т.е. охват большого количества элементов, обеспечивает большую эффективность работы. Многие ошибки и недоработки проектов являются следствием недостаточного анализа условий обработки; также необходимо учитывать человеческий фактор.

Так, конструирование режущего инструмента совместно с резцедержателем станков токарной группы привело к созданию конструкций, построенных по модульному принципу. Однако, если бы одновременно с разработкой конструкций инструмента, были оптимизированы параметры режимов резания и показатели, характери-

зующие обслуживающий персонал, то можно было бы получить более эффективные параметры инструмента.

Системный подход предполагает, что не только объект проектирования, но и процесс его создания являются полной системой, обеспечивающей достижение поставленной цели. На рис. 1.1 показан процесс создания, который рекомендуется при разработке системы инструмента широкого назначения. Этот процесс включает взаимосвязанные этапы, многие из которых часто выполняются недостаточно полно и в отрыве друг от друга.

На основе изучения статистических данных определяют условия эксплуатации инструмента и характеризующие ее факторы (этап 1), анализируются свойства, определяющие качество системы инструмента для работы в этих условиях (этап 2). Далее генерируются идеи, касающиеся конструкторских разработок трех уровней:

- а) структуры системы инструмента (совокупности типоразмерных рядов инструментов);
- б) структуры инструмента, входящего в систему;
- в) конструкции каждого модуля, составляющего инструмент (этап 3).

Эти решения подвергаются экспертной оценке и отбору (этап 4), а отобранные решения после разработки чертежей (этап 5) – лабораторным испытаниям (этап 6), лучшие из них – эксплуатационным испытаниям (этап 8). На этапе 7 решаются технологические вопросы и разрабатываются мероприятия по повышению качества изготовления инструмента. На этапе 9 решаются вопросы рациональной эксплуатации инструмента (определение режимов резания, норм расхода инструмента и разработка организационных мероприятий инструментообеспечения).

Выявление новых решений и усовершенствование выдвинутых ранее происходит на протяжении всей работы, что показано на рис. 1.1 линиями обратных связей.

Опыт показывает, что на этапе 3 для создания одного конкурентоспособного изделия необходимо примерно 200 идей [53]. Поэтому при разработке системы инструмента широкого назначения необходимым этапом проектирования является интенсивное генерирование идей. В настоящее время предложено более 40 специальных методов поиска новых решений [9, 53]. Среди них

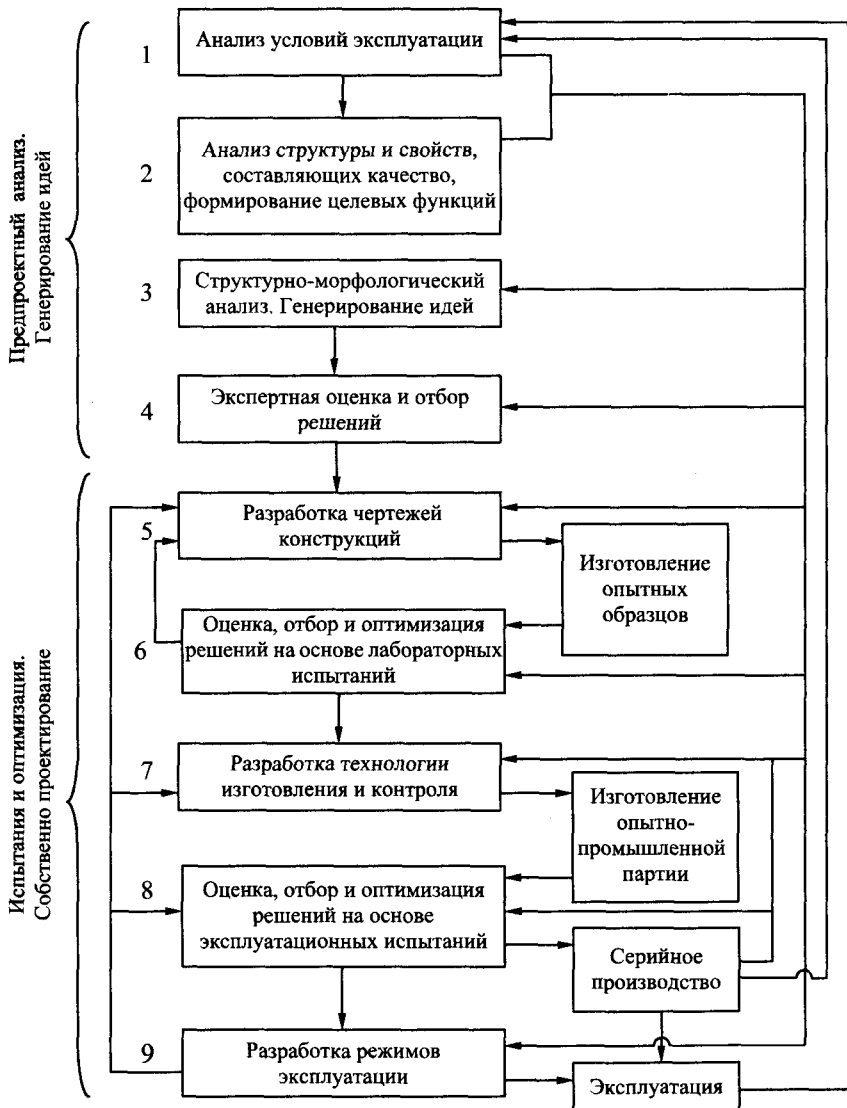


Рис. 1.1. Процесс создания системы инструмента

ассоциативные методы, наборы контрольных вопросов, синектика и алгоритмы творческого процесса. Большой популярностью в начальном периоде работы пользуется метод “мозгового штурма” (“brainstorming”).

Особое место занимает группа методов, которую можно называть *структурно-морфологическим анализом* (СМА). СМА – неотъемлемая часть проектирования при системном подходе.

СМА состоит из следующих стадий: объект проектирования структурируется, составляется перечень признаков, характеризующих как его структуру, так и форму частей, выявляются возможные варианты, рассматриваются их сочетания и осуществляется экспресс-оценка. СМА дает полный перебор всех вариантов, выявляет новые, подвергает все варианты классификации, кодированию и оценке и тем самым готовит исходную информацию для автоматизированного проектирования систем инструмента.

Для анализа условий эксплуатации инструмента (этап 1, см. рис. 1.1), используемого на производстве, разработан **метод моментных наблюдений** [44]. Он состоит в том, что в случайные моменты времени обходят станки, на которых применяют анализируемый инструмент, и фиксируют состояние технологического процесса и условия обработки. Время нахождения инструмента в соответствующем состоянии (процесс резания, замена инструмента, простой и т.д.) или время работы в соответствующих условиях (материал и типоразмер детали, состояние поверхности заготовки, глубина резания и т.д.) прямо пропорциональны числу зафиксированных случаев нахождения в этом состоянии или при этих условиях.

Чтобы облегчить выбор минимально необходимого числа регистрируемых факторов (обычно 10–30), целесообразно на основе предшествующего опыта или справочных данных оценить важность факторов для достижения целей проектирования, например оценить их влияние на наиболее просто определяемые целевые функции.

Пример ранжирования факторов с учетом их влияния на производительность процесса резания при черновой и получистовой обработке заготовок из конструкционных сталей на станках токарной группы приведен в табл. 1.1, в которой ранг – это число, показывающее степень влияния факторов, расположенных в порядке уменьшения их влияния на производительность.

Наибольшее влияние на изменение производительности оказывает *основной размерный параметр токарного станка* – наибольший диаметр D_c устанавливаемой заготовки. Это, в основном, связано с изменением жесткости и виброустойчивости технологической системы, а также с изменением прочности инструмента. Изменение D_c для токарных станков от 320 до 2500 мм увеличивает максимальную глубину резания $t_{\max}$, допускаемую по виброустойчивости технологической системы – в 3,3 раза, подачу S , определяемую прочностью инструмента, – в 7,6 раза и скорость резания v , определяемую износостойкостью инструмента – в 1,5 раза. В результате этого производительность резания может изменяться до 34 раз.

Метод длительных наблюдений предназначен для получения данных о зависимости периодов стойкости и числа периодов стойкости от различных факторов. Эти зависимости отражают процессы изнашивания и разрушения режущего инструмента и являются исходными для оптимизации его конструкции. Метод предусматривает непрерывное наблюдение за процессом резания до отказа инструмента и требует присутствия исследователя на

1.1. Ранжирование факторов по степени их влияния на производительность резания на токарных станках

№ п/п	Фактор	Ранг
1	Основной размерный параметр станка	1
2	Отношение максимальной длины к максимальному диаметру заготовки	3
3	Твердость обрабатываемых сталей	2
4	Наличие корки или перерывов в резании	6
5	Глубина резания	5
6	Конструкция резца	4
7	Конструкция режущей пластины	7
8	Главный угол в плане	8

рабочем месте. Обычно регистрируется значительно большее число факторов, чем при методе моментных наблюдений (60–90). Характер отказа инструмента регистрируется более детально, чем при анализе списанного инструмента.

Данные об условиях обработки, полученные указанными методами, подвергают группированию, т.е. разделяют на части соответственно определенным значениям дискретных факторов (D_c , группа обрабатываемых материалов и т.д.) или диапазонам непрерывных факторов (припуски или глубина резания и т.д.). В результате получают матрицу в виде таблицы, которая показывает применимость того или иного инструмента.

Применимость тех или иных условий определяет очередность работ по проектированию системы инструмента и последующую серийность его изготовления.

Кроме того, учитывают, что система инструмента проектируется не для конкретной детали, а для группы деталей данного производства. Поэтому большое значение имеет анализ структуры парка станков и их параметров. Системы инструментов, рассматриваемые в книге, используются на станках трех групп: токарной, сверлильно-расточной и фрезерной.

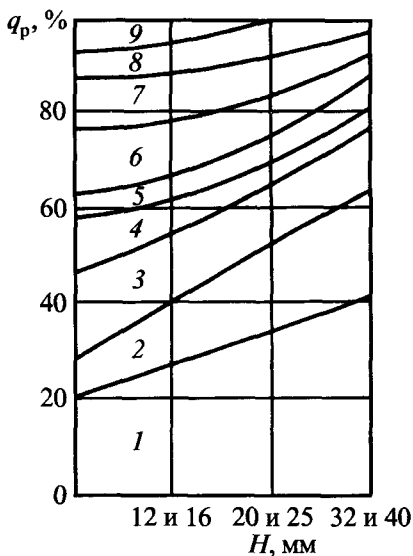
При разработке системы инструмента необходимо проанализировать конструкцию мест крепления инструмента на станках: форму резцедержателей станков токарной группы, конструкции концов шпинделей фрезерной и сверлильно-расточной групп, конструкции устройств автоматической смены инструмента (АСИ).

Данные о заготовке, детали и станке формально являются достаточными, чтобы далее вести проектирование системы инструмента и разработку режимов ее эксплуатации. Однако многие факторы на производстве остаются неизвестными или влияние их трудно объяснить и учесть. Поэтому наряду со сбором статистических данных об условиях эксплуатации инструмента собираются сведения о применяемом на практике инструменте и фактических режимах резания. Каждый случай обработки, помещаемый в банк данных, называют прецедентом. Совокупность прецедентов для данной области условий отражает прошлый опыт эксплуатации инструмента, который должен быть использован при проектировании.

На рис. 1.2 показана применимость резцов q_p разных видов на токарных станках. Наибольшую часть составляют проходные рез-

Рис. 1.2. Применяемость различных видов резцов на токарных станках в зависимости от высоты сечения державки H :

зона применения резцов:
 1 – правых проходных;
 2 – левых проходных; 3 – проходных упорных; 4 – подрезных;
 5 – упорных широких;
 6 – отрезных и прорезных;
 7 – расточных; 8 – галтельных и других фасонных;
 9 – резьбовых



цы с главным углом в плане $\varphi < 90^\circ$. Далее в порядке уменьшения применяемости располагаются проходные упорные ($\varphi = 90 \dots 95^\circ$), отрезные и прорезные резцы, а затем уже расточные, галтельные и др.

Как видно из рис. 1.2, с увеличением высоты державки H растет количество необходимых проходных резцов. При изменении высоты H от 16 до 40 мм их относительное число увеличивается примерно в 2 раза. Применяемость проходных упорных, подрезных, расточных и резьбовых резцов соответственно падает.

Применяемость наиболее распространенных видов резцов можно приблизительно выразить формулой [44]:

$$q_p = C_q D_c^{z_q}, \quad (1.1)$$

где C_q — коэффициент, зависящий от условий производства (для проходных резцов $C_q = 2,2$, $z_q = 0,43$; для проходных упорных и подрезных $C_q = 550$, $z_q = -0,48$; расточных $C_q = 290$, $z_q = -0,50$).

Увеличение числа проходных резцов с углом $\varphi < 90^\circ$ и уменьшение числа проходных упорных резцов связано с большей жесткостью крупных деталей, а также возрастанием времени об-

работки одной ступени. Это оправдывает целесообразность замены проходного упорного резца более производительным проходным.

Соотношение видов резцов с различными углами в плане зависит от отрасли промышленности, что связано с изменением конфигурации типовых деталей, их материала, качества заготовки, требований к точности и качеству обрабатываемой поверхности. Так, в энергетическом машиностроении процент проходных резцов ниже, а проходных упорных и подрезных выше, чем в тяжелом машиностроении [44] (табл. 1.2). В тяжелом машиностроении в основном применяют резцы с углом $\varphi = 60^\circ$, в энергетическом наряду с ними растет применение резцов с углом $\varphi = 45^\circ$, а в станкостроении резцы с углом $\varphi = 45^\circ$ преобладают. Эти отличия объясняются меньшими глубинами резания в энергетическом машиностроении и станкостроении, что связано с меньшими припусками и более высокими требованиями к точности деталей. В станкостроении это связано также с большим числом деталей из чугуна.

Для фрез большое значение имеет их распределение по диаметрам D_ϕ (рис. 1.3). Разработанный в ОАО «ВНИИинструмент» типаж торцовых фрез со сменными режущими пластинами (СРП) различных диаметров (распределение 3) соответствует распределению ширин фрезерования B с учетом рационального отношения D_ϕ/B , а также учитывает частоту использования фрез большего диаметра в единичном и мелкосерийном производстве. Сравнение

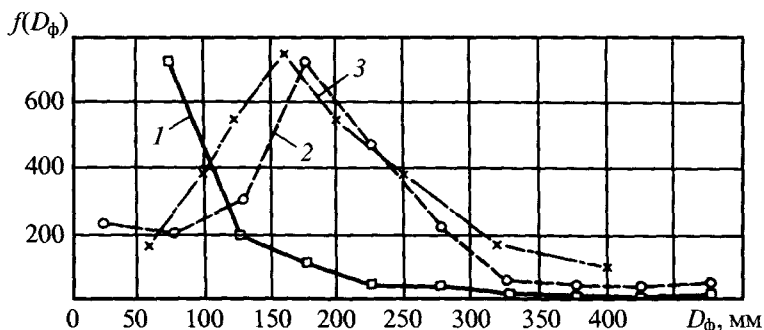


Рис. 1.3. Частота распределения торцовых фрез по диаметру D_ϕ :
 1 – теоретическая; 2 – применяемые напайные фрезы;
 3 – предложенный типаж торцовых фрез с СРП

1.2. Применяемость различных резцов и их параметров в отраслях машиностроения

Тип резца	Применяемость по отраслям машиностроения, %			Параметр резца	Применяемость по отраслям машиностроения, %		
	Тяжелое	Энергетическое	Станкостроение		Тяжелое	Энергетическое	Станкостроение
Прходной	54	37		Главный угол в плане φ , °:			
Прходной упорный	12	19					
Подрезной	5	10			30	5	3
Широкий упорный	6	1			45	14	24
					60	56	40
Прорезной и отрезной	7	16		Материал режущей пластины:	90	25	33
Расточной	8	11					
Резьбовой	3	2			твердый сплав	70	57
Фасонный	5	4			другие	30	43

зависимостей 1 и 3 показывает, что при проектировании фрез с СРП для серийного производства необходимо включать конструкции малых диаметров с $D_{\phi} = 50 \dots 100$ мм.

Важные сведения для проектирования дает изучение распределений *глубин резания* и других параметров режимов резания. Распределение элементов сечения среза при торцовом фрезеровании в процессе обработки (рис. 1.4) показывает, что торцовые фрезы с механическим креплением пластин применяют только при относительно малых глубинах резания (примерно до 8 мм) при работе с пониженными подачами (кривые 1 расположены левее кривых 2). Это говорит о низкой виброустойчивости и прочности используемых конструкций. В разрабатываемой системе фрез эти недостатки должны быть устранены.

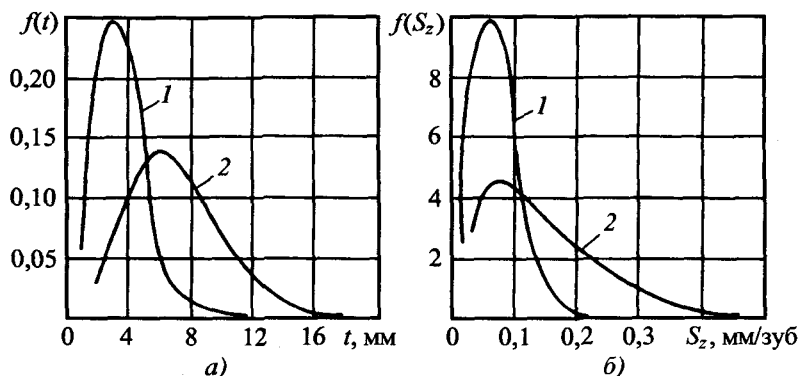


Рис. 1.4. Распределение глубин резания (а) и подач (б) при фрезеровании: 1 – торцовыми фрезами с СРП; 2 – напайными фрезами

При этом целесообразно рассматривать не отдельные распределения параметров режима резания, а их семейства, например, семейство распределений глубин резания, подач, сил и мощности резания для станков определенного типоразмера. При этом анализируется не только закон распределения, но и зависимость средних и максимальных значений параметров от основного размерного параметра станка. Эта зависимость необходима для оценки нагрузки на проектируемый инструмент различных размеров, входящий в систему.

Однако, рассмотрение распределений одного параметра или даже семейства распределений параметров, также как и анализ распределений нескольких параметров отдельно, не дают желаемой картины явления. Поэтому вместо кривой распределения целесообразно рассматривать поверхность распределения двух параметров, которая обычно имеет вид купола. Сечения этой поверхности плоскостями с шагом N с постоянной частотой или плотностью распределения наглядно показывают области применения инструмента.

На рис. 1.5 показаны области применения двух марок твердых сплавов, применяемых в проходных резцах на токарных станках. В качестве параметров, характеризующих область применения этих сплавов, выбраны сечение среза $t \times S_0$, определяющее силовую нагрузку на резец, и скорость резания v , обуславливающая тепловую нагрузку.

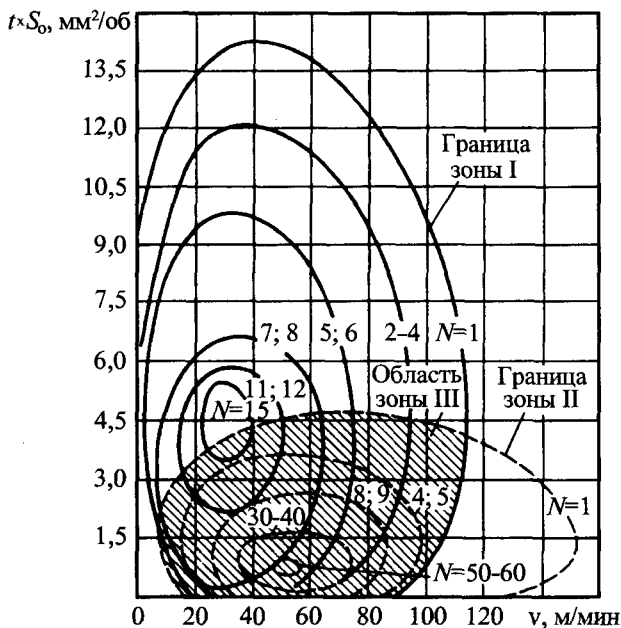


Рис. 1.5. Сечения поверхностей распределения марок твердых сплавов для точения на токарных станках: сплошные линии — для МРЗ, штриховые — МР1 для ($D_c = 200 \dots 400$ мм; $H = 20 \dots 40$ мм)

Области применения очерчены семействами кривых, близких к эллиптическим. В центральной части области лежит модальная кривая, показывающая область наиболее частого применения данного сплава; на периферии — кривая, за пределами которой частота применения сплава весьма мала.

Можно выделить три зоны: I — зона применения сплава МРЗ; (см. табл. 2.8); II — зона применения сплава МР1 и III — зона совместного применения сплавов. Наличие большой зоны III свидетельствует о том, что в ряде случаев сплав МРЗ применяют там, где следовало бы использовать сплав МР1. Обратное предположение маловероятно, так как использование сплава МР1 там, где нужно применять сплав МРЗ, вызывает резкий рост числа поломок и делает работу не только неэкономичной, но и крайне затруднительной для рабочего в связи с частой заменой инструмента. Резцами

из МРЗ нередко работают даже в области наибольшей эффективности применения сплава МР1 (сечение среза до $1,5 \dots 3,0 \text{ мм}^2/\text{об}$), что не позволяет использовать важный резерв роста производительности труда. Причины этого в отсутствии оптимальной конструкции инструмента, обеспечивающей быструю замену режущего элемента.

1.2. Оценка и обеспечение качества системы

Качество продукции – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением (ГОСТ 15467–79 в ред. 1985 г.). Соответственно *качество системы инструмента* характеризуется совокупностью свойств, обуславливающих пригодность к процессу резания с обеспечением заданных форм, размеров и качества поверхностей детали при определенной производительности труда, затратах трудовых, материальных и денежных средств.

Система инструмента относится и к классу продукции, расходуемой свой ресурс, и к группе ремонтируемых изделий. Для этой группы изделий рекомендуется оценивать следующие *основные комплексные свойства*: назначение, надежность, технологичность, унификация, эргономические, эстетические и экологические свойства.

Количество свойств, оцениваемых на стадии проектирования с учетом требований полноты и минимальности [44], определяется на основе теории информации, из которой следует, устанавливать более 13 свойств нецелесообразно.

Свойства, определяющие качество системы инструмента, имеют сложную взаимосвязь [33, 48] и могут быть представлены в виде структуры, которая охватывает наиболее общие свойства (рис. 1.6). Связи между свойствами в этой структуре не поддаются количественному анализу, поэтому структуру свойств целесообразно упорядочить в виде дерева. Такая упорядоченная схема (*дерево свойств*), содержащая самые важные свойства для системы инструмента и предназначенная для ее экспертной оценки на стадии проектирования, представлена на рис. 1.7.

Дерево строится по определенным правилам [3]. Каждое свойство i -го уровня иерархии влияет наряду со свойствами этого уровня только на одно из свойств $(i - 1)$ -го уровня и в свою очередь взаимосвязано с определенными свойствами $(i + 1)$ -го уровня

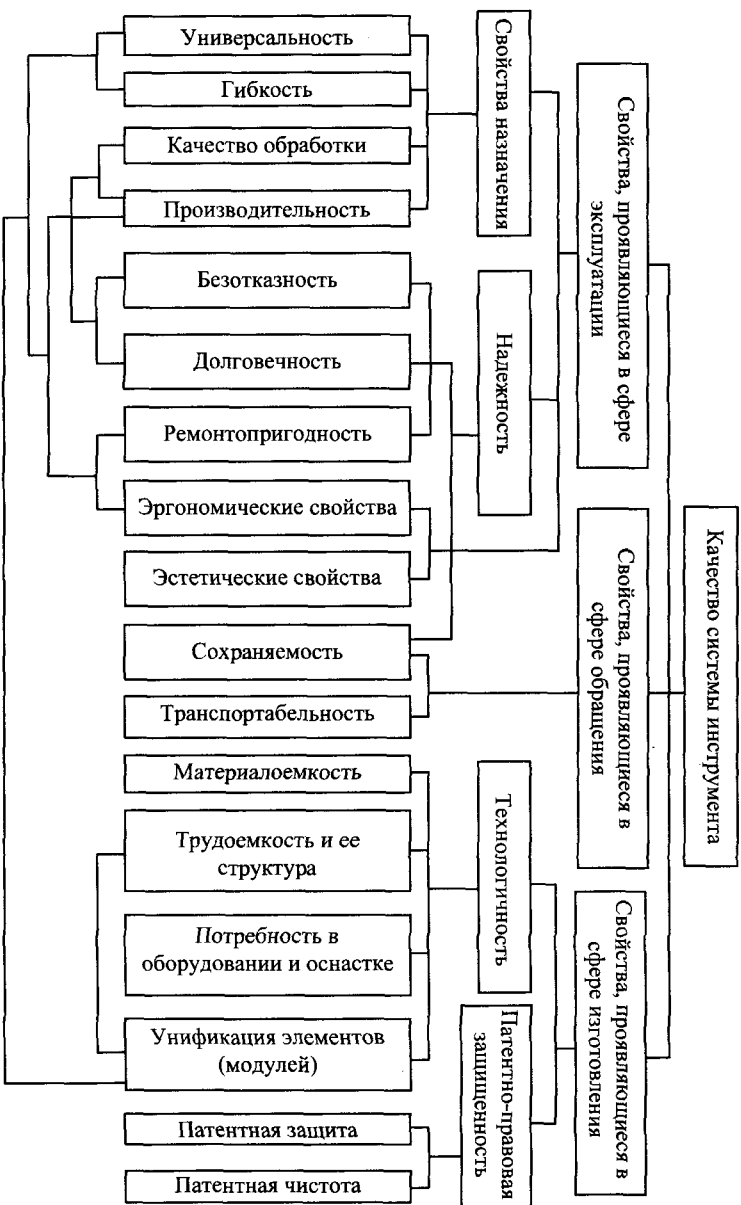


Рис. 1.6. Свойства, определяющие качество системы инструмента

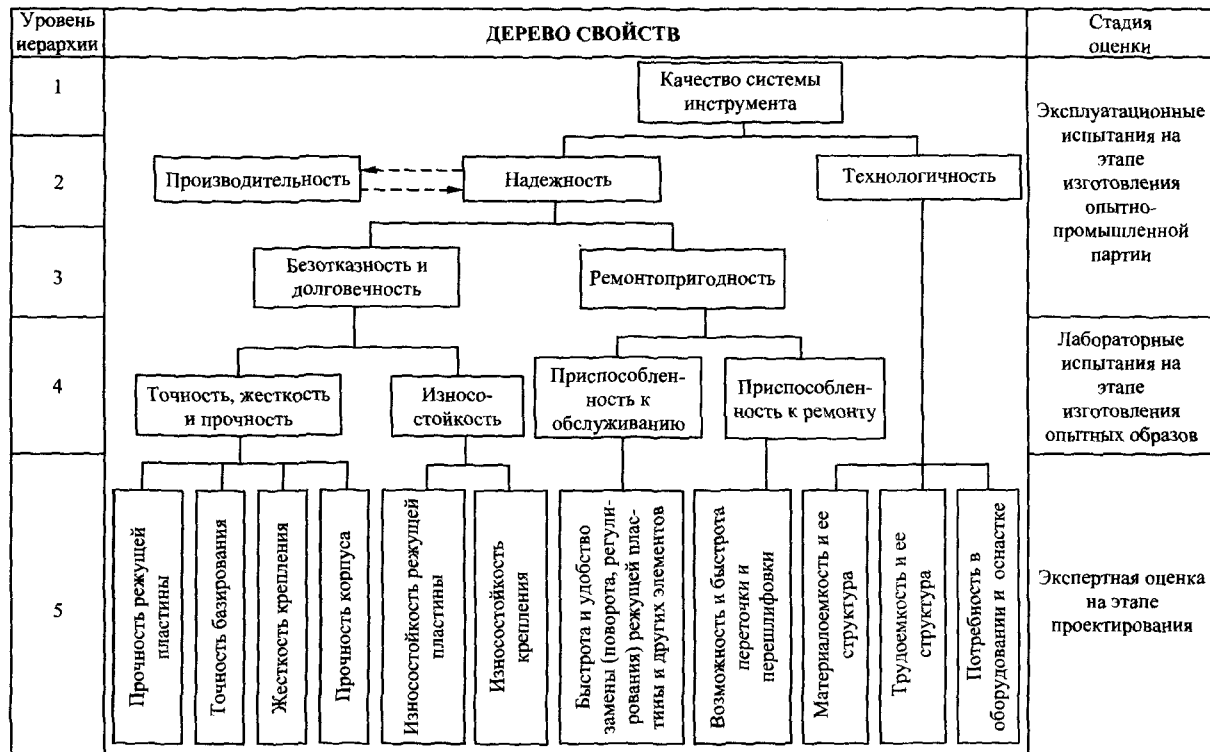


Рис. 1.7. Дерево свойств, составляющих качество системы инструмента

(нумерация уровней ведется от рассмотрения более общих свойств к рассмотрению более узких, частных свойств). Принимается, что свойства одного уровня не связаны между собой. Свойства, которые применительно к данному инструменту и данной задаче анализа нецелесообразно раскладывать на более простые, называют условно простыми.

Свойства производительности и надежности тесно связаны. Повышение производительности при прочих равных условиях приводит к снижению надежности. Производительность процесса резания (производительность по основному времени), безотказность и долговечность обуславливают одни и те же свойства: точность, жесткость, прочность и износостойкость инструмента. В связи с этим возможны два способа анализа качества системы инструмента на стадии проектирования: *по производительности* при постоянной надежности и *по показателям надежности* при одной и той же производительности. В большинстве случаев целесообразно использовать второй способ оценки. В этом случае в трансформированной схеме показатели назначения опускаются (на рис. 1.7 свойство производительности связано со свойством надежности штриховыми линиями).

Свойства универсальности и гибкости влияют на ремонтнопригодность, определяя необходимость и время замены инструмента или его элементов при смене перехода операции; *эргономические и эстетические свойства* во многом определяют приспособленность инструмента к смене и наладке. Поэтому в трансформированной схеме для оценки качества инструмента на стадии его проектирования указанные свойства учитываются в ремонтнопригодности.

Значительно влияют на технологичность *свойства унификации* инструмента. Поэтому в дереве свойства унификации относятся к трудоемкости изготовления системы инструмента.

Следует отметить, что установленная номенклатура и структура свойств, составляющих качество, в немалой степени зависят от вида системы инструмента, условий ее применения, целей, метода и этапа оценки качества. Так, для расточного инструмента должно главным образом оцениваться качество обработки.

Установление номенклатуры и структуры свойств является первым этапом работы по оценке качества системы инструмента.

Однако даже просто перечень свойств с указанием связей между ними сам по себе может служить важным материалом для конструктора при проектировании системы.

Каждое свойство системы инструмента должно характеризоваться соответствующим показателем, причем желательно, чтобы этот показатель был количественным, легко и точно определяемым.

Показателем ремонтпригодности инструмента является среднее время восстановления $t_{в.ср.}$. У системы инструмента, состоящей из N элементов, этот показатель зависит от времени восстановления $t_{вi}$ каждого i -го элемента конструкции, а также числа его переустановок K_i за полный период стойкости:

$$t_{в.ср.} = \frac{1}{K_{ср}} \sum_{i=1}^N t_{вi} K_i, \quad (1.2)$$

где $K_{ср} = \sqrt{\sum_{i=1}^N K_i^2}$.

Оценка технического уровня и качества системы инструмента предусматривает сравнение совокупности показателей его качества с соответствующей совокупностью показателей качества *базового образца*. Базовый образец выбирают из существующих систем инструментов, аналогичных оцениваемой по назначению, условиям изготовления и эксплуатации.

Базовыми образцами служат системы инструментов, показатели качества которых в момент оценки отвечают самым высоким требованиям и наиболее эффективны в эксплуатации.

Базовый показатель качества — это показатель базового образца. Возможны два подхода: выбирают образец или с наиболее высоким рассматриваемым единичным показателем, или образец с наиболее высоким обобщенным показателем. В практической работе обычно используют второй подход.

Измерения параметров используют главным образом для оценки качества изготовления инструмента, например, точности изготовления присоединительной поверхности инструмента.

В настоящее время испытания являются основным методом определения показателей качества. Результаты *лабораторных и стендовых испытаний* используют главным образом для оценки

образцов, а также для контроля серийно изготавливаемого инструмента. Результаты *эксплуатационных испытаний* используют на стадии изготовления опытно-промышленных партий нового инструмента, а также для оценки качества в процессе эксплуатации.

Обеспечение качества системы инструмента имеет первостепенное значение для реализации заложенных в ней потенциальных возможностей и воплощается в виде обратных связей, действующих как внутри, так и между этапами обеспечения качества инструмента (проектирование, изготовление, эксплуатация). Информация, полученная путем испытаний на этапе проектирования, используется для выбора оптимального варианта и совершенствования конструкции системы инструмента, технологии изготовления и регламентов ее эксплуатации (см. рис. 1.1). Данные контроля на этапе изготовления – для повышения технологичности конструкции, технологического обеспечения качества, аттестации инструмента. Результаты диагностики и учета применяются для организации соответствующих воздействий на конструкцию, технологию и регламенты эксплуатации инструмента.

Оценка качества инструмента на этапе проектирования осуществляется в основном в результате испытаний, причем наибольшее распространение получили лабораторные испытания, целью которых является оценка износостойкости, жесткости, виброустойчивости и других эксплуатационных свойств инструмента. Испытания проводят с моделированием нагрузки или в процессе резания.

Испытания моделированием обеспечивают дифференцированную оценку влияния различных факторов (величины и направления силы, температуры, амплитуды, частоты и т.д.) на надежность инструмента, допускают высокую степень форсирования, позволяют экономить станочное время и обрабатываемый материал. Наиболее просты *статические испытания* на прочность, для которых созданы специальные испытательные машины. Так, прочность режущей кромки определяют путем вдавливания алмазной призмы. Критерием прочности служит величина нагрузки, при которой появляются микротрещины в углах отпечатка [49].

Прочность инструмента при прерывистом резании целесообразно оценивать путем *динамических испытаний*. По режущей кромке наносят удар свободно падающим закаленным стержнем,

ось которого располагают перпендикулярно кромке [49]. Мерой прочности служит наименьшая высота падения стержня, при которой кромка получает повреждения. Разработаны установки, которые имитируют условия нагружения при прерывистом резании, а зависимость вероятности выкрашиваний от количества ударов характеризует прочность режущей кромки инструмента [59].

Испытания инструмента в процессе резания обеспечивают меньшую дифференцированность оценки свойств, но большее соответствие результатам эксплуатации, что привело их к широкому распространению. Испытания проводят при непрерывном и прерывистом резании. Для оценки прочности режущей части инструмента в процессе резания находят минимально возможные углы заострения режущей кромки.

Прочность режущего инструмента оценивают определением времени работы (стойкости) до разрушения при увеличенной подаче. Подача должна быть такой, чтобы разрушение инструмента наступило раньше, чем износ достигнет принятой величины. Для оценки относительной прочности режущей части инструмента в процессе резания определяют разрушающую (ломающую, предельную) подачу, достижение которой вызывает разрушение режущей части инструмента при постоянных значениях глубины и скорости резания. Доступность метода и наличие необходимого оборудования дают возможности проводить такие испытания на любом предприятии [47, 49].

Прочность инструмента в процессе резания с непрерывно возрастающей толщиной среза (постоянная подача и переменная глубина резания, за счет врезания под углом $3...4^\circ$ к обрабатываемой поверхности). При этом толщина среза определяется глубиной резания, непрерывно возрастающей в процессе испытаний.

При испытаниях с подачами, близкими к нормативным, осуществляют форсирование испытаний путем наложения колебаний на инструмент с помощью специального устройства. Стойкость до разрушения при испытаниях с наложением колебаний определяют, обеспечивая постоянство амплитудно-частотной характеристики во время испытаний, например, за счет увеличения вылета резцов. Испытания на прочность проводят также путем точения шести-гранных заготовок или заготовок с большим количеством радиальных отверстий.

В связи с большим количеством методов испытаний инструмента, их классифицируют и отбирают наиболее эффективные для включения в систему испытаний.

Оценка качества групп методов испытаний сборных твердосплавных резцов с высотой сечения державки 10...50 мм на основе имеющейся информации, а также экспериментальная проверка отобранных в результате экспертизы способов создания и изменения нагрузки (рис. 1.8) показали, что наиболее целесообразными являются форсированные испытания на прочность методом ступенчато-возрастающей подачи.

Важным рычагом повышения качества изготовления инструмента является совершенствование методов и системы его контроля. Для неразрушающего контроля инструмента предложены измерения геометрических параметров режущей части, твердости, коэрцитивной силы, цветная дефектоскопия и другие методы [47]. Входной неразрушающий контроль твердосплавных пластин измерением парамагнитной восприимчивости позволил резко снизить число отказов в начале работы [55]. Разбраковку пластин осуществляют также по величине термоЭДС, связанной с содержанием углерода, нестабильность которого определяет разброс режущих свойств пластин [45].

Система контроля качества систем инструмента при его изготовлении направлена на решение трех задач: повышение технологичности конструкции; технологическое обеспечение качества и аттестацию отдельных партий. Исследования в соответствии с общей теорией надежности показывают, что эксплуатация изделий «по состоянию», по их фактическим ресурсам (качествам), обеспечивает значительную экономию. Применительно к системам инструмента этот резерв используется недостаточно. Для его реализации необходимо решить две задачи: по результатам контроля установить представительный показатель качества конкретной партии и в зависимости от величины этого показателя рассчитать поправочные коэффициенты на условия эксплуатации, позволяющие с максимальной эффективностью использовать данную систему с присущим ей уровнем качества.

Организация рациональной эксплуатации систем инструмента включает три этапа: прогнозирование надежности до начала эксплуатации; оптимизация расходования ресурса инструмента непо-

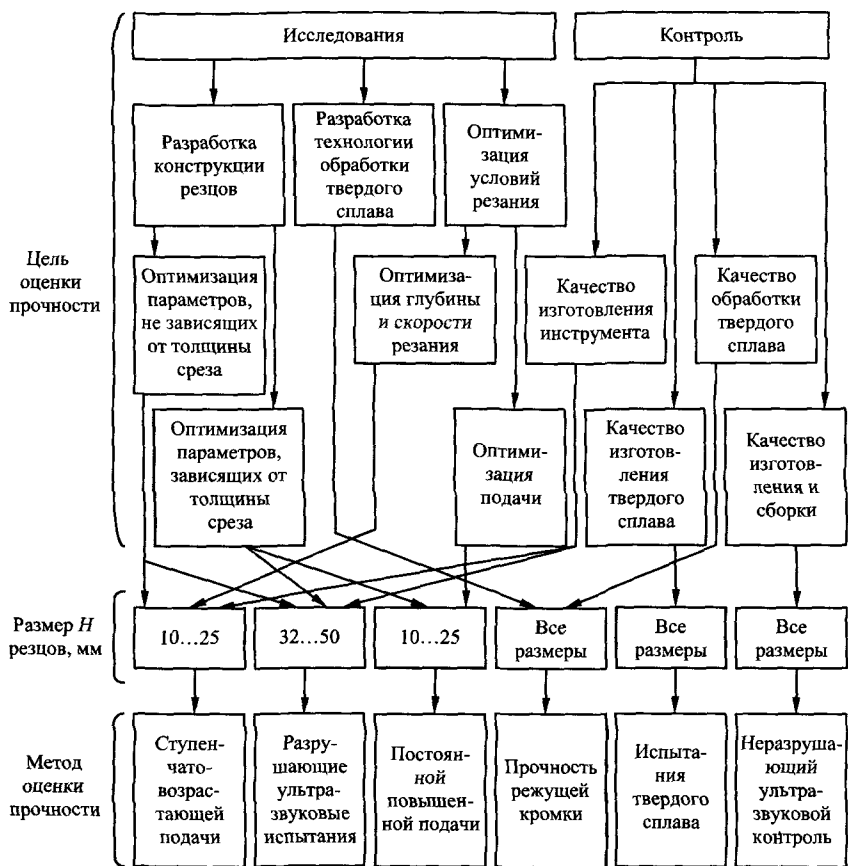


Рис. 1.8. Методы оценки прочности сборных резцов с твердосплавными СПП

средственно во время эксплуатации; использование результатов эксплуатации для обеспечения обратной связи с этапом анализа условий эксплуатации (см. рис. 1.1).

Первый этап обеспечения рациональной эксплуатации системы инструмента определяет его надежность, являющуюся базой для определения режимов резания, производительности автоматизированного

производства и других показателей. На этом этапе важно учесть статистические аспекты надежности инструмента [35, 44, 65, 66]. Специфическими чертами эксплуатации системы инструмента в автоматизированном производстве (АП) являются сложная структура отказов, существенная нестационарность нагружения, высокие требования к надежности [34, 55]. В этой связи прогнозирование надежности инструмента в АП включает в себя: определение структуры отказов, учет нестационарности нагружения, расчет показателей надежности.

Отказы инструмента подразделяют на устранимые (переточкой или переустановкой режущего элемента) и неустраняемые (ремонт технически невозможен или экономически нецелесообразен), полные (требующие немедленного прекращения резания) и неполные (возможно кратковременное резание).

К *полным неустраняемым отказам* инструмента относятся разрушение элементов крепления, например, поломка деталей сборного инструмента, поломка режущей пластины (по сечению), скол режущей пластины (по режущему клину). Эти отказы внезапные, т.е. их появление не связано с предшествующим ухудшением эффективности работы инструмента.

К *полным устранимым отказам* относятся выкрашивания режущих кромок, пластическая деформация контактной зоны, износ поверхностей контакта. Эти отказы обычно носят характер постепенных, т.е. их появлению предшествует изменение таких параметров, как сила и температура резания, размер и шероховатость обработанной поверхности, амплитудно-частотный спектр вибраций и т.д. К *неполным отказам* относятся выкрашивания поверхностей и трещины режущей пластины, износ, смятие и трещины деталей крепления. Они не исключают возможности резания, а играют роль диагностических признаков, при появлении которых вероятность полного отказа резко возрастает. Структура отказов включает относительные доли (вероятности) каждого типа отказа [47].

Усложнение структуры отказов инструмента в АП обусловлено углублением его сборности, повышением универсальности и улучшением расходования ресурса. Конструкция системы инструмента для АП, как правило, сложная, с большим числом деталей, точных и сложнопрофильных соединений [23]. В связи с этим, инструмент приобретает дополнительные «слабые» места, которые в

процессе эксплуатации получают повреждения, приводящие к отказам. Повышение универсальности инструмента предусматривает его работу на разных глубинах резания и подачах, а также возможность «смены ролей» главной и вспомогательной режущих кромок, что усложняет структуру отказов за счет появления повреждения и затем отказов различной локализации.

Экономичность АП, полнота использования всех ресурсов часто являются факторами, определяющими целесообразность расширения его сферы. Применительно к режущему инструменту это означает полное использование нагрузочной способности инструментального материала не по одному, а по системе критериев, например, износостойкость, вязкая прочность, хрупкая контактная прочность, хрупкая объемная прочность. Как показывает практика, подавление какого-либо физического процесса, приводящего к отказу, возможно лишь за счет такого снижения производительности резания, которое делает АП неэкономичным. При наличии доминирующего вида отказа – нормального износа, некоторая небольшая доля и других отказов, вызванных конкурирующими физическими процессами (ползучесть, усталость, малоцикловое термоциклическое разрушение), является признаком достаточно полного расходования ресурса инструмента.

Таким образом, усложнение структуры отказов инструмента в АП вызвано увеличением количества деталей, испытывающих отказы, появлением отказов различной локализации в пределах режущей части, возникновением отказов различной физической природы. В этой связи необходимо определить и учесть в дальнейших расчетах структуру отказов инструмента. Имеется ряд подходов к решению этой задачи. Для учета сложной структуры отказов при расчете надежности инструмента можно использовать не обычно принятые двухпараметрические законы распределения стойкости, а суперпозиции двух или больше распределений [14, 57].

Для *определения показателей надежности* используют статистические методы, например, моделирование процесса выхода из строя инструмента методом Монте-Карло [57]. Обработка функции распределения стойкости на ЭВМ заключается в вычислении случайной последовательности возможных реализаций стойкости; метод имеет широкие возможности и может применяться для оптимизации режимов испытаний, расчета потребности в инструменте и других задач.

Для *определения собственно структуры отказов* успешно применяется статистический метод распознавания Байеса [43, 51], позволяющий учитывать как априорную информацию (результаты эксплуатации аналогичного инструмента), так и диагностическую (измерение определенных величин признаков отказа).

При помощи датчиков силы резания [25] можно поддерживать последнюю постоянной, меняя подачу при колебаниях припуска, твердости заготовки и других факторов. Возможно адаптивное управление по комплексу силовых и температурных факторов [52].

Изменение режимов эксплуатации в зависимости от срока службы инструмента производится на основе нелинейной модели накопления повреждений. Если справедлива линейная модель, то целесообразно на протяжении периода стойкости поддерживать нагрузку постоянной, при этом наработка максимальна. Если линейная модель, как это чаще всего имеет место, несправедлива, поддержание постоянного уровня нагрузки нецелесообразно. В этом случае эффективность может быть повышена путем изменения нагрузки в соответствии с накоплением дефектов инструмента. Направление и оптимальная степень такого изменения определяются коэффициентами нелинейной модели, найденными путем лабораторных испытаний на износостойкость и прочность.

Для твердосплавных резцов оптимальным способом изменения нагрузки является ее повышение по мере роста повреждений инструмента [50]. Аналогичное решение предложено для снижения рассеивания стойкости [11]. Следует отметить, что в адаптивных системах управления со стабилизацией силы резания при износе резца режимы снижаются, что приводит к неоптимальному расходованию ресурса инструмента. При чистовой обработке ресурс инструмента может быть существенно повышен путем применения подналадки [7].

Элементом системы эксплуатации инструмента является критерий его замены. Инструмент может быть заменен в связи с внезапным отказом, постепенным отказом или исчерпанием назначенной наработки. Примером диагностического параметра может служить сила резания: если ее значение выходит за установленные пределы, диагностируется внезапный отказ (аварийная замена), если становится равным определенному значению – постепенный отказ (программная замена). Диагностику осуществляют в процессе

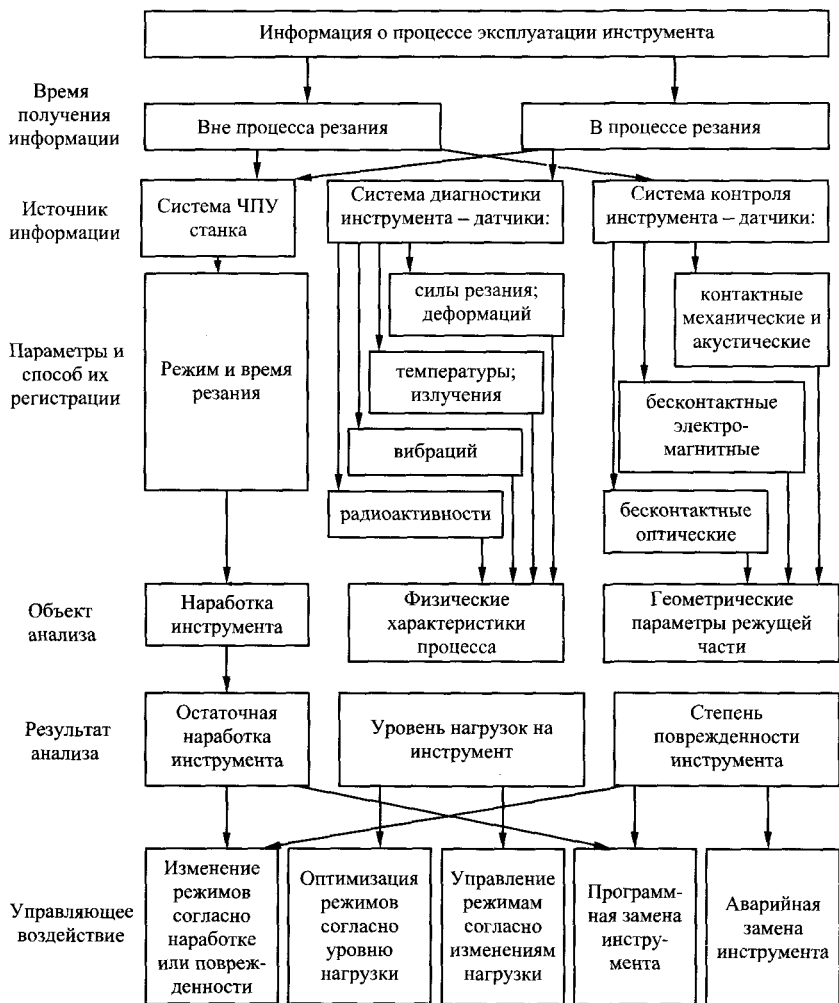


Рис. 1.9. Схема адаптивного управления процессом эксплуатации инструмента

резания путем измерения силы, момента на шпинделе, тока или мощности двигателя главного привода, путем пробного резания, регистрации момента начала резания [11], с использованием аксе-

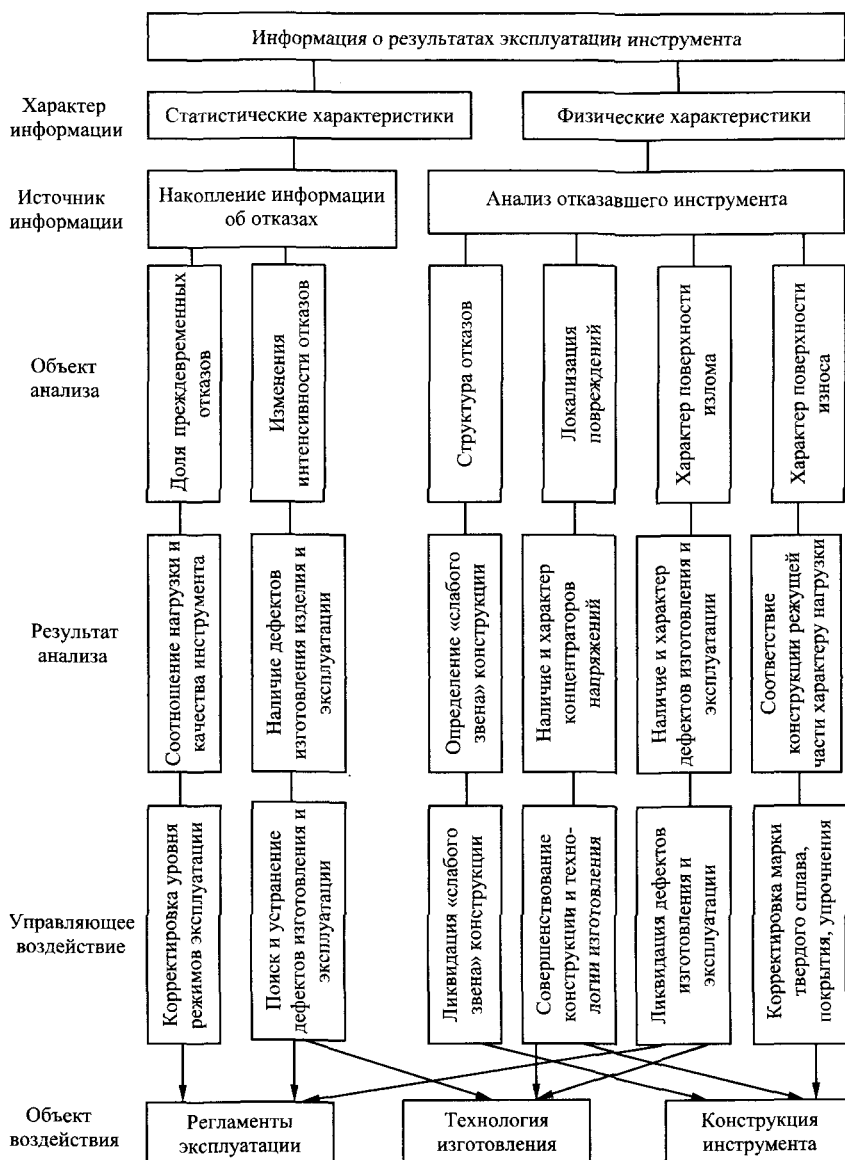


Рис. 1.10. Использование информации о результатах эксплуатации инструмента

лерометров [64], методом акустической эмиссии в звуковом [4, 37] и ультразвуковом [37] диапазонах, путем определения температуры резания с помощью термопар [7], соотношения составляющих силы резания [58], спектральным анализом силы резания, радиоактивным контролем, измерением температуры стружки, контактного сопротивления между инструментом и деталью [63] и другими методами. Вне процесса резания состояние инструмента определяют с помощью механических, пневматических [52], оптических [11, 60], индуктивных [52], емкостных [69] и других датчиков (рис. 1.9).

Информация о результатах эксплуатации инструмента содержит статистические характеристики, получаемые путем автоматического накопления и обработки информации об отказах инструмента в системе управления АП и физические характеристики, получаемые путем анализа отказавших экземпляров инструмента (рис. 1.10). Система сбора, анализа и документирования результатов процесса резания непосредственно на рабочем месте может быть реализована с помощью ЭВМ и упрощенных интеллектуальных терминалов [61]. Такая система позволяет корректировать режимы резания [62]. Информация об отказах инструмента представляет собой матрицу, содержащую номер инструмента, код критерия замены (достижение назначенной наработки, постепенный преждевременный отказ, внезапный преждевременный отказ), отработанную долю назначенной наработки, признаки отказа.

1.3. Унификация элементов системы инструмента

Как показано на рис. 1.6, унификация элементов системы инструмента является одним из главных ее свойств.

Унификация распространяется на типы, конструкции, основные размеры и параметры элементов, материалы, химические покрытия, нормы точности и т.п. [39].

Целесообразна унификация следующих элементов:

а) деталей, если они предназначены для одной цели и имеют близкие размеры (при нецелесообразности полной унификации возможна унификация частей конструкции и даже отдельных размеров);

б) узлов, выполняющих одинаковые по характеру функции при незначительно отличающихся рабочих размерах, габаритах и эксплуатационных показателях;

в) компоновок из унифицированных деталей при условии идентичности схем базирования и закрепления;

г) инструментальных блоков для типовых операций, если их конструкции (в целом или частично) аналогичны по схемам, условиям эксплуатации и габаритам.

Элементы системы инструмента считаются унифицированными, если:

а) их конструкции обеспечивают оптимальную повторяемость в инструментальных блоках;

б) номенклатура базовых и присоединительных поверхностей конструкций оптимально сокращена;

в) минимальная номенклатура унифицированных элементов обеспечивает на базе типовых решений оснащение максимального количества операций по изготовлению различных изделий;

г) осуществлено рациональное сокращение размерных параметров аналогичного функционального назначения однотипных конструкций, узлов и деталей с одновременными повышением числа их повторяемости;

д) осуществлена типовая унификация конструкций, деталей или узлов с одинаковыми основными параметрами, но с разным конструктивным исполнением, что обеспечивает рациональное сокращение типов конструкций аналогичного функционального назначения.

Комплексная унификация элементов системы инструмента должна учитывать ее назначение по виду оборудования и способу обработки заготовок деталей, а также по номенклатуре обрабатываемых деталей, видам и операциям.

Типаж конструкций элементов, входящих в систему, зависит от:

а) пространственной конфигурации и габаритов обрабатываемых заготовок деталей;

б) координации заготовок в процессе обработки относительно режущего инструмента;

в) специфики закрепления инструментальных блоков.

Оборачиваемость элементов системы зависит от условий производства, в которых планируется их эксплуатация. Степень точности изготовления деталей и узлов определяется принципом агрегатирования.

Унификация поверхностей элементов системы проводится пу-

тем деления их на группы базисных и прочих поверхностей.

К базисным поверхностям относятся группы различных поверхностей, предназначенные для закрепления:

- а) наладки в базисном агрегате;
- б) функциональных узлов и деталей при сборке базисного агрегата;
- в) узлов и деталей в процессе сборки наладки;
- г) базисных агрегатов в соответствующем узле оборудования.

Унификация разновидностей базисных поверхностей должна проводиться с учетом параметрических стандартов на соответствующие поверхности станков и конструктивных элементов устройств АСИ и транспортно-складского оборудования.

Унификация прочих поверхностей должна быть направлена на ограничение применяемой номенклатуры и типоразмеров диаметров отверстий и валов, видов и размеров поводков, шпонок, резьбовых соединений, а также на регламентацию параметров точности и шероховатости.

Детали, имеющие базисные поверхности, в процессе унификации подвергаются расчету преимущественно на жесткость и точность, а детали, у которых эти поверхности отсутствуют, – на прочность и точность.

При проведении работ по унификации необходимо проанализировать:

- а) отечественную и зарубежную техническую документацию, международные и национальные стандарты, технические регламенты, типажи, научно-исследовательские работы, сведения о патентной чистоте и т.п.;
- б) документацию и другие материалы по сопрягаемым деталям и узлам в конструкциях, применяемых в общих компоновках и имеющих смежное функциональное назначение с унифицируемыми объектами.

На заключительной стадии производится сопоставление унифицированных конструкций с ранее применявшимися с целью оценки их преимуществ при оснащении новых и при использовании в действующих технологических процессах.

Унификация систем инструмента наиболее эффективна в комплексе с унификацией элементов типовых технологических процессов. Эта унификация дает возможность создавать и в дальнейшем

1.3. Термины, применяемые при систематизации инструмента

Систематизация инструмента		
по методу образования (агрегатирования) инструментального блока	по степени преемственности инструментального блока	по организационным формам эксплуатации

Термин

Компо- новка	Сборка	Конст- рукция	Пере- нала- живае- мый	Нала- дочный	Обра- тимый	Специ- альный	Универ- сальный	Спе- циали- зиро- ванный
-----------------	--------	------------------	---------------------------------	-----------------	----------------	------------------	--------------------	-----------------------------------

Систематизация инструмента

по конструктивной специализации	по виду оснащаемого оборудования	по составляющим частям инструментального блока
------------------------------------	-------------------------------------	---

Термин

Одно- пози- цион- ный	Мно- гопо- зици- онный	Од- номе- стный	Много- мест- ный	Для тока- рных работ	Для обра- ботки отвер- стий	Для фре- зерных работ	Ба- зис- ный агре- гат	На- ладка	Функ- цио- наль- ный узел	Де- таль
--------------------------------	---------------------------------	-----------------------	------------------------	-------------------------------	---	--------------------------------	------------------------------------	--------------	---------------------------------------	-------------

успешно применять системы инструмента и их элементы при оснащении производства изделий, выпускаемых несколькими отраслями машиностроения.

Уровень унификации системы инструмента $L_{y(\text{сист})}$ определяется как суммарный показатель уровня унификации комплектов инструментальных блоков и вычисляется в процентах по формуле [39]:

$$L_{y(\text{сист})} = \frac{\sum_i^n a_i L_i}{\sum_i^n a_i}, \quad (1.3)$$

где $L_1, L_2, \dots, L_n$ – оцениваемые уровни унификации комплектов инструментальных блоков для оснащения операций различных видов обработки;

$a_1, a_2, \dots, a_n$ – весомость комплектов, назначается в диапазоне $0 \leq a \leq 1$, исходя из анализа данных их применяемости.

Оценка весомостей осуществляется опросным методом, который заключается в сборе сведений от ведущих предприятий, эксплуатирующих соответствующее металлорежущее оборудование.

В книге использованы термины, применяемые при систематизации и унификации инструмента (табл. 1.3 и 1.4).

1.4. Термины, применяемые при унификации

Термин	Определение
Унификация инструмен- тальных наладок	Унификация, основанная на рациональном сокращении количества типов, конструкций, видов и размеров инструментальных наладок, разновидностей составляющих их деталей, узлов и поверхностей одинакового функционального назначения, а также марок материалов, химических покрытий, норм точности и т.д. путем определения объемов и частоты их применения в целях достижения оптимальной экономической эффективности при проектировании, изготовлении и эксплуатации

Окончание табл. 1.4

Термин	Определение
Комплексная унификация систем инструмента в рамках технологической подготовки производства	Процесс создания материальной базы технологического процесса на основе разработки комплекса конструкторской и нормативно-технической документации и применения систем стандартного и унифицированного инструмента, обеспечивающих: – единые правила оснащения и выбора организационных форм технологических процессов изготовления изделий; – взаимный обмен технологической и конструкторской документацией между изготовителями систем инструмента и предприятиями-потребителями; – исключение повторной разработки и изготовления дополнительного инструмента; – организацию специализированного производства систем инструмента на предприятиях, в отраслях и промышленности в целом
Агрегатирование инструментальных блоков	Метод проектирования, сборки и эксплуатации, основанный на рациональном членении инструментальных блоков на агрегаты, каждый из которых представляет собой законченное изделие, выполняет определенную функцию и может многократно использоваться при создании различных модификаций. Метод целенаправлен на серийное и массовое производство и применение стандартных и унифицированных функциональных узлов
Система инструмента	Совокупность комплектов инструментальных блоков, конструкции которых унифицированы с целью обеспечения их единства при изготовлении и эксплуатации

Глава 2

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ

2.1. Система инструментального обеспечения

В организации технологической системы машиностроительного производства, одной из важнейших ее составляющих является организация и функционирование инструментального обеспечения (ИО).

В структуру ИО входят [17]: инструменты; оборудование для их проектирования, изготовления, испытания, ремонта и утилизации; транспорт для доставки; склады для хранения; мерители для настройки; датчики для диагностики; устройства для регулирования и т. п. База данных ИО должна содержать всю необходимую информацию для его функционирования.

В **автоматизированной системе инструментального обеспечения (АСИО)** можно выделить (рис. 2.1):

- 1) информационно-управляющую систему;
- 2) инструментальную систему;
- 3) отделение подготовки и заточки инструмента;
- 4) секцию сборки и настройки инструмента;
- 5) автоматизированную транспортно-складскую систему;
- 6) систему смены инструмента.

Информационно-управляющая система в АСИО выполняет следующие функции:

- а) учет наличия инструмента;
- б) определение необходимых комплектов инструмента с использованием базы данных по технологическим процессам и выдачей задания на сборку-настройку инструментальных наладок;
- в) хранение информации о сменных режущих пластинах, режущем и вспомогательном инструменте;

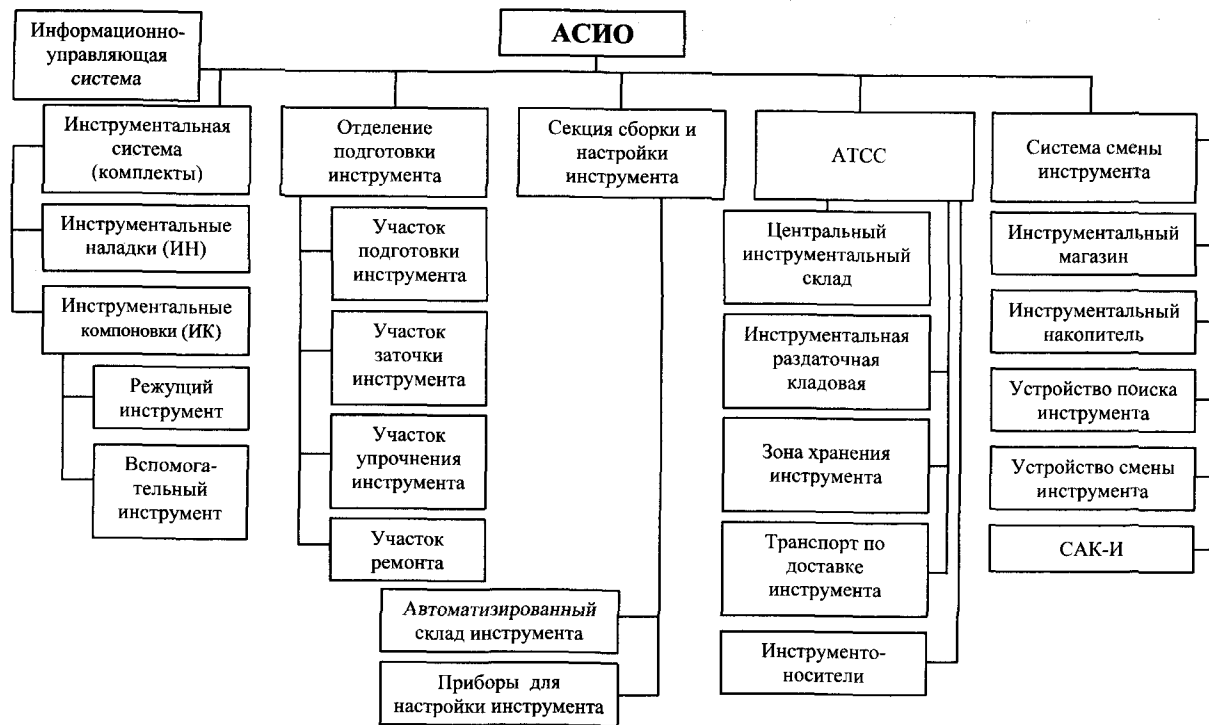


Рис. 2.1. Схема автоматизированной системы инструментального обеспечения

г) разработка схемы сборки, сведения о настроечных и размерных параметрах, а также о требуемой точности сборки компонентов инструмента (ИК).

Комплект ИК, настроенных и сформированных в определенном порядке на соответствующую деталиеоперацию, представляет собой инструментальную наладку (ИН). Часть ИН, включающих определенный перечень ИК, расположенных в определенной последовательности в позициях инструментоносителя, представляет собой *инструментальный комплект*.

В состав *отделения комплексной подготовки* входят участки подготовки, заточки, контроля, упрочнения, ремонта и восстановления инструмента. *Секция сборки и настройки* подает скомплектованный инструмент на склад.

В состав автоматизированной транспортно-складской системы (АТСС), обеспечивающей хранение, выдачу и доставку инструмента в условиях гибкого производства, как правило, входят: центральный инструментальный склад; инструментальная раздаточная кладовая; зона хранения инструментальных накладок в автоматизированной складской системе производственного участка; автоматизированная подвесная или напольная транспортная система; инструментоносители.

В состав *системы смены инструмента* входят: инструментальный магазин, инструментальный накопитель, устройства поиска, устройства смены инструмента и система автоматизированного контроля инструмента (САК-И).

В организационной структуре, образующей общий информационный поток (рис. 2.2), связываются четыре массива инструмента. Массив *М* – инструмент, находящихся в оборудовании. Массив *А* – инструмент складского хранения и зон предварительной подготовки. Массив *Б* – подготовленный инструмент, который находится в зонах промежуточного хранения, контроля и комплектации. Инструмент, находящийся в процессе транспортирования, составляет массив *Т*.

На представленной схеме использована двухуровневая система управления, при которой оперативное управление по зонам возложено на зонные персональные компьютеры, а общее управление и планирование работы осуществляет центральная ЭВМ системно.

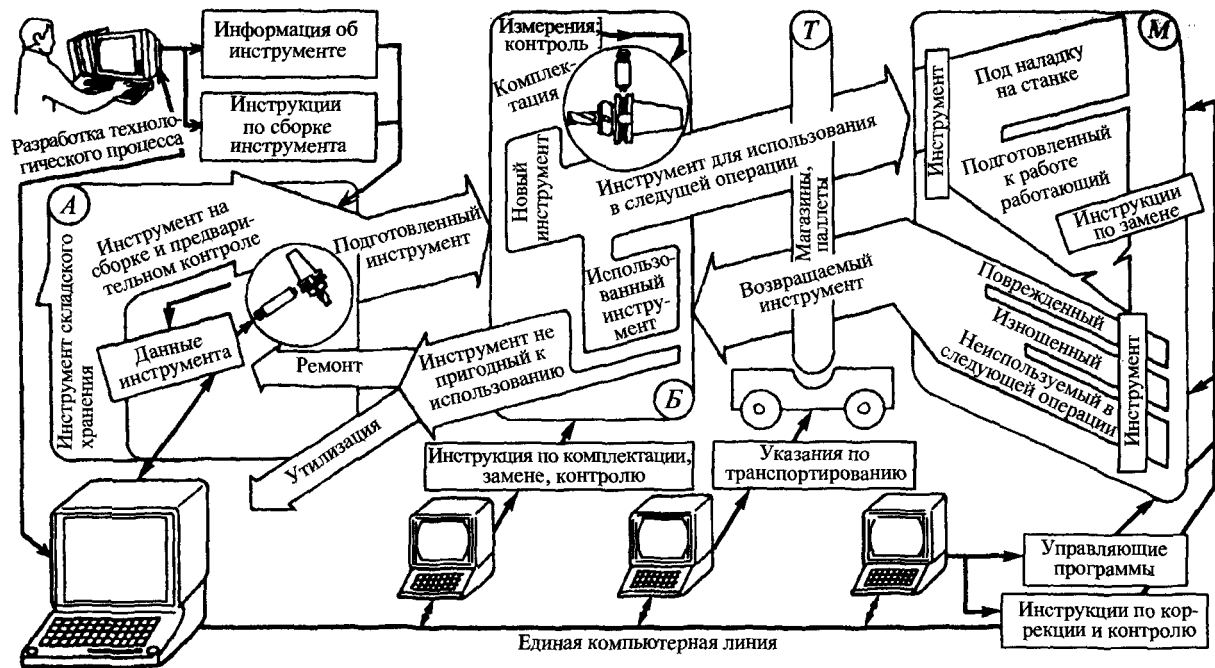


Рис. 2.2. Схема материальных и информационных потоков в системе ИО

При этом часть информации находится в кодирующих элементах ИК. Это создает дополнительные возможности для более четкой организации работы из-за наличия базы данных по использованию инструмента в операциях механической обработки, алгоритмов расчета и оптимизации различных технологических параметров и выбора критериев этой оптимизации.

Система ИО позволяет вводить любую информацию и использовать ее для ведения технологического проектирования на основе следующих технологических данных:

а) номенклатура режущего инструмента с рекомендациями по видам обработки и переходам;

б) виды и количество режущего инструмента в наладках и схемы наладок;

в) материал режущей части инструмента в зависимости от материала заготовки;

г) геометрические параметры и виды заточки режущего инструмента;

д) номенклатура вспомогательного инструмента для выбранного режущего инструмента;

е) варианты технологических решений на базе одного из критериев оптимизации (минимальная себестоимость, максимальная производительность, гарантированная стойкость инструмента; время обработки деталей и т.п.).

Автоматизированное решение технологических задач позволяет готовить управляющие программы для оборудования, принимая в этих программах обоснованные значения параметров резания (подачу, скорость резания), глубину проходов, число ходов, длину обработки, траектории движения инструмента, схемы и характер смены инструментов и др.

На всех этапах полученные решения технологических задач сопровождаются выводом информации на все виды программно-сителей и на дисплей. По каждой проработанной технологической операции обеспечивается вывод данных со следующей структурой:

а) перечень переходов;

б) данные о всех ИК;

в) режимы обработки на каждый режущий инструмент;

г) последовательность использования ИК в операции;

д) рекомендации по настройке ИК на данную операцию;

е) время операции (время работы каждого инструмента, время простоев, интервалы на замену инструментов, расчетная стойкость инструментов, общее время обработки детали и др.).

Для решения всех технологических задач система ИО должна иметь базу данных, состоящую из следующих систем и подсистем: подсистема станков и обрабатываемых материалов, подсистема инструментальных материалов, подсистема технологических решений, система сменных режущих пластин (СРП), системы режущих инструментов (по видам обработки) и система вспомогательного инструмента.

Подсистема станков содержит данные об оборудовании, имеющемся на данном предприятии. Обычно она создается пользователем и содержит все основные данные об используемых станках: мощность приводов, систему координатных осей, предельные перемещения, данные об устройствах АСИ, диапазон скоростей и подач и т.п.

Подсистема материалов содержит данные о машиностроительных материалах и их основных характеристиках, включая данные об аналогичных в соответствии со стандартами ИСО и с национальными стандартами передовых стран.

Подсистема инструментальных материалов содержит необходимые сведения о физических и механических свойствах, областях применения и номенклатуре, используемой на предприятии.

Подсистема технологических решений содержит данные по взаимосвязи и по применимости инструмента для обработки тех или иных элементов, по зависимостям геометрии инструмента от параметров обрабатываемых материалов, рекомендации по применению инструментальных материалов, данные по скоростям резания и подачам для возможных комбинаций взаимосвязанных компонентов технологического процесса: материала детали и материала режущего инструмента при заданной стойкости инструмента, и др.

Система сменных режущих пластин содержит данные об этих пластинах и их сочетаниях с режущими инструментами.

Системы режущих инструментов должны включать в себя данные об инструменте: тип и размер, геометрические параметры и материал режущей части, данные идентификации и др.

Система вспомогательного инструмента содержит сведения о базировании и закреплении режущего инструмента, закреплении и смене ИК на станках.

2.2. Подсистемы станков и обрабатываемых материалов

Типоразмер станка налагает ограничения на режимы резания: кинематические (например, на подачу, частоту вращения), динамические (на силу, крутящий момент, мощность и пр.). В качестве примера на рис. 2.3 приведено семейство кривых, показывающих распределение мощностей, фактически затрачиваемых при обработке деталей на токарных станках различных размеров, в сопоставлении с эффективными мощностями $N_{\text{эф}}$ двигателей главных приводов этих станков [1].

Подсистема станков базы данных должна содержать сведения о рабочем пространстве.

Например поперечные сечения рабочего пространства станков сверлильно-расточной и фрезерной групп выражают в долях ширины B рабочей поверхности стола и увязывают с размерами перемещений от $h_{\min}$ до $h_{\max}$ исполнительных органов и с вылетами инструментов.

Для вертикальных станков (рис. 2.4, а) $B = 300 \dots 1250$ мм, для горизонтальных $300 \dots 1000$ мм. Соотношение между Y и B для горизонтальных станков принимают равным 0,56, а для вертикальных – 0,86. Для горизонтальных станков $Z = 0,66B$.

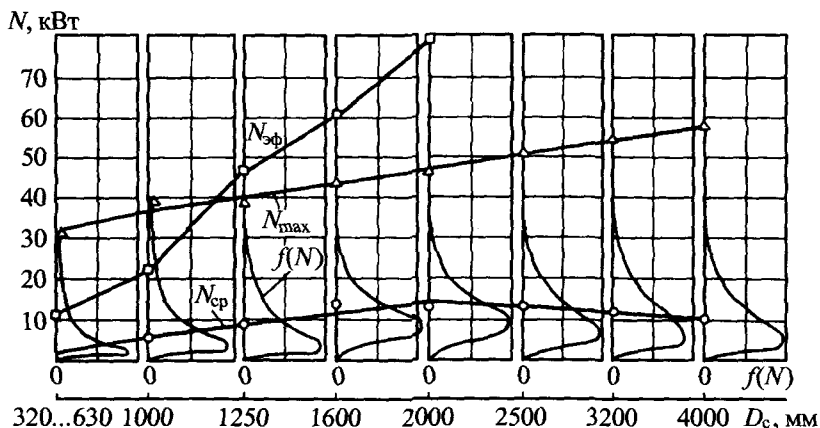


Рис. 2.3. Распределение мощности, расходуемой на обработку резанием на токарных станках различных размеров, и эффективная мощность их главного привода

При вертикальной компоновке станка наибольшие размеры автоматически сменяемого инструмента по длине $l_{и\max}$ определяются по эмпирической формуле:

$$l_{и\max} = 0,5B + l_{и\min} - (l_{хв} + 2\Delta), \quad (2.1)$$

где $l_{и\min}$ — наименьший возможный размер, мм;

Δ — необходимый зазор для избежания столкновения инструмента с деталью.

При горизонтальной компоновке пространства станка (рис. 2.4, б) наибольшие размеры инструмента по длине равны:

$$l_{и\max} = 0,6B - (l_x + 2\Delta). \quad (2.2)$$

Важной характеристикой оборудования является *присоединительная поверхность* ИК (вспомогательного инструмента с закрепленным в нем режущим), с помощью которой он закрепляется в шпинделе и в устройстве АСИ.

Для взаимодействия с АСИ в станках применяются устройства автоматического закрепления инструмента. Один из вариантов такого устройства показан на рис. 2.5. При закрепленном положении оправки тяга (шомпол) 6 находится в крайнем правом положении под действием тарельчатых пружин 8, которые размещены в расточке шпинделя 2, и упирается в гайку 10, связанную с тягой 6.

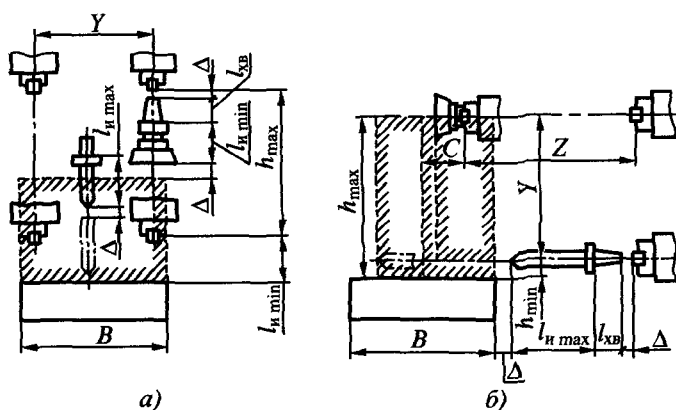


Рис. 2.4. Определение максимального и минимального вылета инструмента

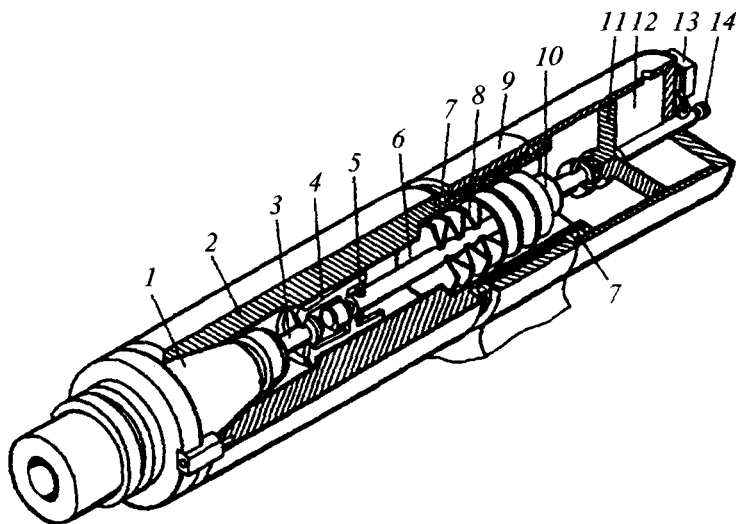


Рис. 2.5. Устройство автоматического крепления инструмента в шпинделе

Оправка 1 удерживается за хвостовик 3 специальными рычагами 4, которые находятся под действием пружин 5 и связаны плечом с тягой 6. Надежность захвата рычагами хвостовика 3 обеспечивается тем, что при движении тяги вправо верхние выступы рычагов 4 воздействуют с конусной расточкой переходной ступени отверстия в шпинделе [16].

Для раскрепления оправки служит гидроцилиндр 12 одностороннего действия. При подаче масла под давлением в правую полость гидроцилиндра его поршень 11 смещается и через подшипник воздействует на торец тяги 6, сжимая комплект тарельчатых пружин. Рычаги 4, попадая в расточку отверстия шпинделя, освобождают хвостовик 3, а тяга своим торцом при дальнейшем ходе упирается в хвостовик 3 оправки 1 и выталкивает оправку с инструментом из шпинделя примерно на 5...6 мм. Автооператор системы АСИ вынимает оправку из шпинделя и заменяет ее следующей по программе. Для закрепления следующей оправки следует сигнал на снятие давления в полости гидроцилиндра и происходит втягивание оправки в шпиндель. Надежное закрепление хвостови-

ка оправки обеспечивается рычагами 4. Под действием пружин рычаги в конце хода тяги попадают в суженную часть отверстия шпинделя и тем самым удерживаются в сжатом состоянии. Чтобы исключить опасность включения вращения шпинделя при незакрепленной оправке, в системе установлен микропереключатель 13, на который воздействует удлиненный конец штока 14, связанный с поршнями 11 гидроцилиндра 12. Рассмотренная конструкция шпинделя смонтирована в шпиндельной бабке 9 на подшипниках 7.

Устройства АСИ конструктивно исполняются в различных вариантах, которые можно подразделить на две основные группы: 1) устройства АСИ без автооператора; 2) устройства АСИ с автооператором.

Устройство АСИ без автооператора часто представляет собой сочетание револьверной головки и дополнительных узлов, обеспечивающих разжим, поворот и закрепление револьверной головки, а также вращение шпинделя револьверной головки, когда он находится в рабочей позиции.

В револьверных головках токарных станков с горизонтальной осью инструмент может быть размещен как параллельно оси головки, так и перпендикулярно к ней. Конструктивно револьверные головки выполняют с базовыми отверстиями в поворотном корпусе.

В револьверных головках с вращающимся инструментом расположены соответствующие шпиндельные узлы.

Устройства АСИ с автооператорами представляют собой сочетание инструментальных магазинов, автооператоров и других устройств. В качестве автооператора используется часть устройства АСИ, которая обеспечивает автоматический обмен инструментом между накопителями и шпинделем станка.

Классификация устройств АСИ приведены на рис. 2.6 [29].

В устройствах АСИ для смены шпиндельного узла в качестве магазинов могут быть применены револьверные головки 1–3, в которых инструменты устанавливаются в той последовательности, в которой производится обработка заготовки. Автоматическая смена инструмента осуществляется расфиксацией, поворотом и фиксацией револьверной головки. Преимуществами таких устройств являются простота конструкции, малое время, затрачиваемое на смену инструмента, недостатками – ограниченность рабо-

чей зоны, малая емкость револьверной головки как магазина инструментов, а также невысокая жесткость шпинделей.

Дисковые магазины 4–6 изготавливаются с горизонтальной, вертикальной или наклонной осью поворота. Один из шпиндельных узлов поочередно присоединяется к приводу. При смене инструмента шпиндельный узел отсоединяется от привода, магазин поворачивается в положение, при котором очередной шпиндель устанавливается соосно с валом привода и присоединяется к последнему. Преимуществом устройства АСИ с магазином шпинделей по сравнению с устройствами с револьверными головками является увеличение вместимости магазина, большая жесткость шпинделя, меньшие ограничения зоны обработки.

Устройства для смены инструмента в шпинделях станков выполняются на базе дисковых цепных или барабанных магазинов – накопителей инструмента.

Наиболее простой является конструкция устройств АСИ с инструментальными дисковыми магазинами 7–12, установленными на шпиндельной бабке таким образом, что в одной из его позиций гнездо магазина совмещается соосно со шпинделем станка. Автоматическая смена инструмента осуществляется поворотом магазина и осевым перемещением шпинделя. После окончания очередного перехода оправка с инструментом отсоединяется от шпинделя и закрепляется в магазине. Затем магазин поворачивается в положение, при котором очередной инструмент устанавливается соосно со шпинделем. Шпиндель с новым инструментом проходит через отверстие магазина в позицию обработки. Такая конструкция исключает необходимость в специальном автооператоре.

В магазинах цепного типа инструменты размещают в гнездах подвижной цепи 13, 14 и подаются в промежуточную позицию для захвата автооператором.

В барабанных магазинах 15, 16 для инструмента предусмотрено несколько рядов гнезд, обеспечивающих его радиальное расположение. Смена инструмента осуществляется с помощью автооператоров, которые вынимают инструмент из соответствующего гнезда магазина и вставляют в шпиндель станка или выполняют обратную операцию.

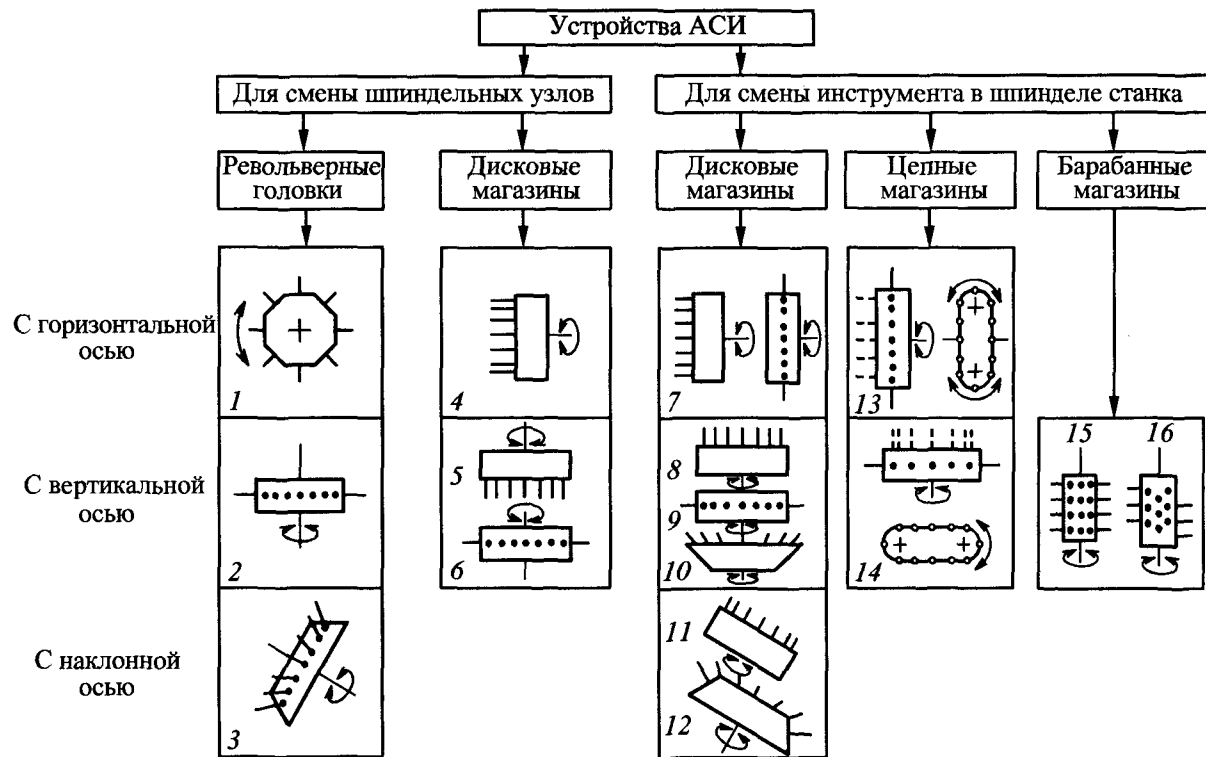


Рис. 2.6. Классификация устройств автоматической смены инструмента

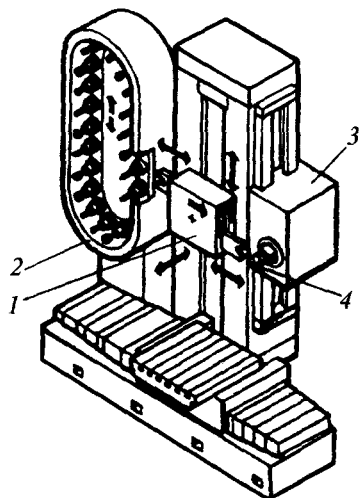


Рис. 2.7. Цепной магазин инструмента

На станке с цепным магазином 2 (рис. 2.7) двухзахватный автооператор 1 может перемещаться по стойке станка вверх-вниз, выдвигаться параллельно оси шпинделя 4 и поворачиваться на 180° . Для смены инструмента левый захват автооператора вынимает инструментальный блок из магазина, затем автооператор устанавливается так, чтобы правый захват встал в положение напротив шпиндельной бабки 3 и извлек инструмент из шпинделя. После поворота автооператора на 180° происходит установка нового инструментального в шпиндель, а старого – в магазин.

Для включения в базу данных важны такие сведения, как допускаемые размеры и масса инструмента, емкость инструментального магазина (например, на рис. 2.7 цепной магазин 2 имеет 20 гнезд).

Сведения о допускаемых размерах и массе инструментальных блоков приведены в табл. 2.1.

В гибких производственных системах (ГПС) применяют комбинированную схему АСИ (рис. 2.8). Главным элементом является стеллажный инструментальный склад 1. Он размещен вдоль всей ГПС, составленной из нескольких многооперационных станков 3,

Автооператоры, предназначенные для смены инструмента в шпинделе станка, по количеству захватов подразделяются на одно-, двух- и многозахватные. Захват инструментальных блоков осуществляется в радиальном направлении за V-образную канавку во фланце механизмами захвата с подпружиненным зажимом клещевого или тисочного типа. Конструкции однозахватных автооператоров предусматривают возможность поворота относительно оси, параллельной или перпендикулярной к оси шпинделя, а также поступательного перемещения в плоскости, перпендикулярной к оси шпинделя.

2.1. Допускаемые размеры и масса инструментальных блоков

Конус 7:24	t	s	$d_{и\ max}$	$D_{и\ max}$	L	m		
	мм					кг		
40	38,1	76	75	225	400	16		
		88	85	250				
		114	110					
		133	130					
		152	150					
50	50,8	101	100	300	500	25		
		133	130					
		152	150					
		177	170					
		203	200					

Условные обозначения: t – расстояние между шпонками гнезд магазина; s – расстояние между гнездами; $d_{и\ max}$ – максимальный диаметр инструмента, установленного в магазин при соседних заполненных гнездах; $D_{и\ max}$ – то же, при соседних пустых гнездах; L – общая длина инструмента, равная $l_{и\ max} + l_{хв}$ (см. рис. 2.4); m – масса инструментального блока.

имеющих цепные инструментальные магазины 2 с устройствами АСИ. Станки обслуживаются транспортными тележками 6, обеспечивающими подачу заготовок на паллетах 11 с загрузочной позиции 5 на приемные столы 4, размещенные перед каждым станком.

Вдоль инструментального склада, где в ячейках размещен различный инструмент, по направляющим 7 перемещается робот 10, который по соответствующим командам из центра управления или по командам с пульта 8 оператора ГПС загружает и разгружает инструментальные цепные магазины всех станков линии. Робот заменяет изношенный инструмент на новый из номенклатуры инструмента, размещенного в ячейках инструментального склада, комплектует магазины станков инструментом в зависимости от характера предстоящих технологических операций, размещает в ячейках склада новый инструмент. Новый инструмент проходит

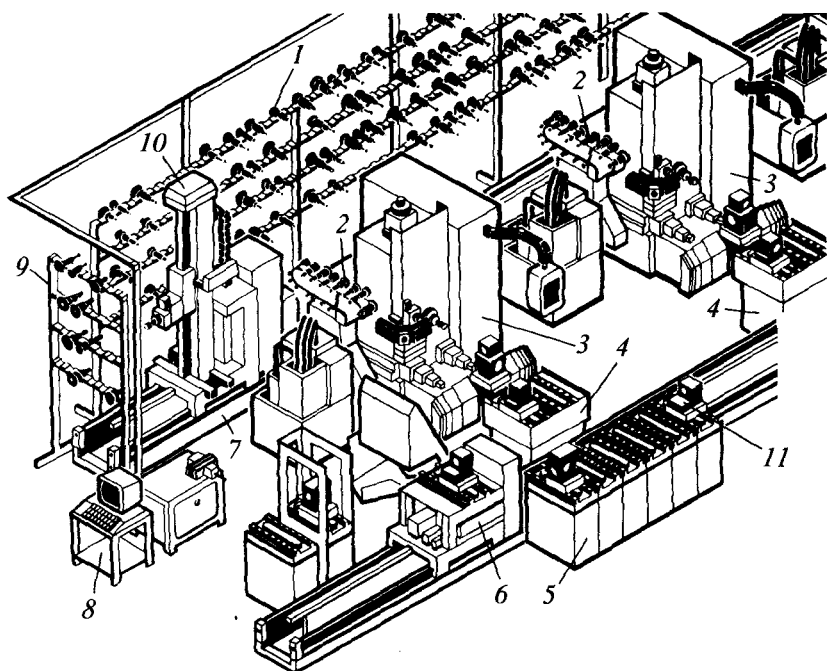


Рис. 2.8. ГПС с комбинированной АСИ

предварительный контроль и размещается наладчиками вручную в ячейках приемного стеллажа 9 инструментального склада.

На станках токарной группы для смены инструмента применяют револьверные головки, в которых режущий инструмент закрепляется с помощью вспомогательного. Способы установки вспомогательного инструмента в таких револьверных головках различны (рис. 2.9).

Способ базирования и закрепления с помощью цилиндрического хвостовика широко используется на станкостроительных заводах, изготавливающих и эксплуатирующих универсальные револьверные станки, токарные полуавтоматы и автоматы. Конструкция цилиндрического хвостовика у вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ для повышения надежности видеоизмене-

на: введена плоская лыска, на которой в ряде случаев выполняют рифления (рис. 2.9, *а-г*). Базирование резцедержателя проводится по цилиндру хвостовика и штифту, обеспечивающему точную угловую установку инструмента, который крепится в револьверной головке с помощью сухаря или клина, имеющего рифления, смещенные относительно рифления хвостовика. Вспомогательный инструмент прижимается к револьверной головке станка с усилием 5...6 кН, в результате радиальная жесткость соединения превышает жесткость соединения без рифлений в 3 раза.

В станках с ЧПУ используется также мини-револьверные головки с комбинированной установкой режущего инструмента во вспомогательном (рис. 2.9, *д*).

Резцедержатели с установкой на призматические поверхности (рис. 2.9, *е*) применяют на станках с четырехпозиционными револьверными головками, предназначенными для центровых и патронно-центровых работ. Такой способ позволяет с помощью нескольких сухарей устанавливать на одной грани револьверной головки независимо друг от друга несколько резцедержателей. В продольном направлении резцедержатели фиксируются сухарем, который входит в специальный паз.

Применяют системы, когда вспомогательный инструмент базируется по зубчатому венцу револьверной головки (рис. 2.9, *к*). Резцедержатели имеют зубчатый венец с зубьями внутреннего зацепления, прижимы которых осуществляются эксцентриком. Такой способ крепления обеспечивает необходимую жесткость, позволяет располагать резцедержатели под любым углом относительно друг друга. Недостаток способа – относительная сложность нарезания зубьев, особенно на резцедержателях. Несколько реже применяют способы установки, показанные на рис. 2.9, *л-н*.

На центровых токарных станках с ЧПУ применяют также непосредственное крепление режущего инструмента в револьверной головке (рис. 2.9, *ж, и*).

При закреплении резцедержателя 2 в револьверной головке 3 токарного станка (рис. 2.10) крепежный сухарь 1 со смещенными рифлениями обеспечивает плотный торцовый контакт головки и резцедержателя 2.

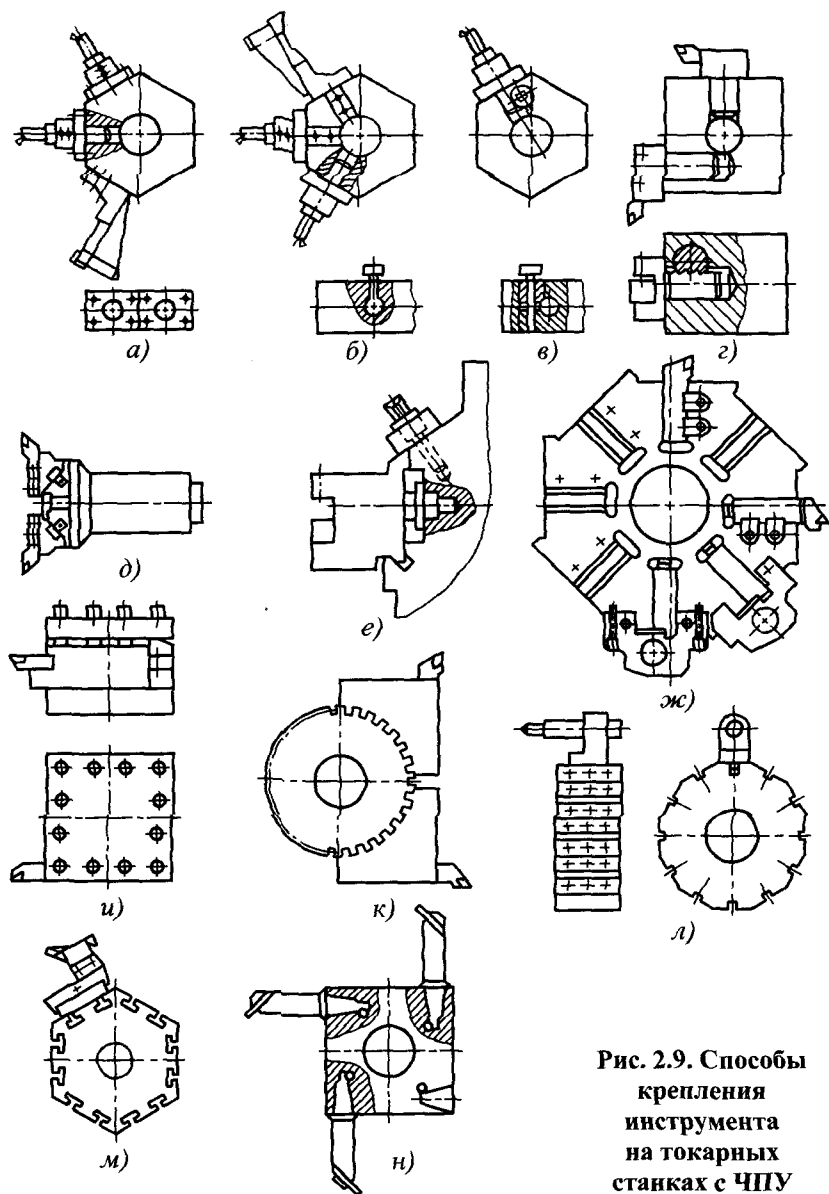


Рис. 2.9. Способы крепления инструмента на токарных станках с ЧПУ

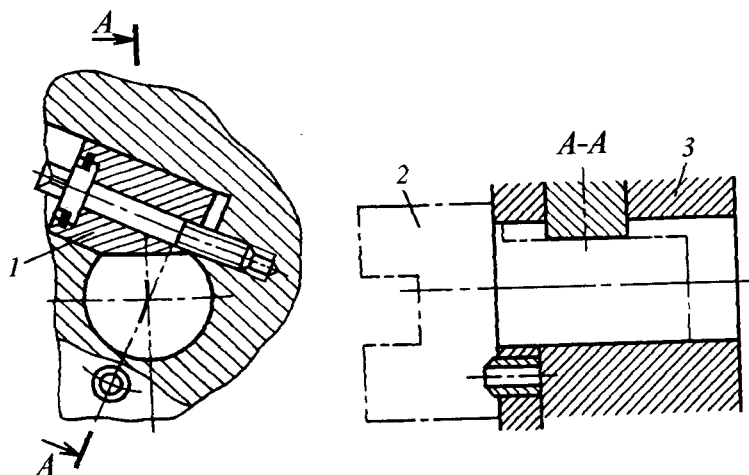


Рис. 2.10. Закрепление резцедержателя в револьверной головке

В базу данных по станкам могут, как дополнительные, входить сведения о податливости крепления инструмента.

На рис. 2.11 показаны схемы измерения податливости инструментальных блоков на токарном станке при нагружении силой резания P_z , а на рис. 2.12 – гистерезисные петли податливости δ_b . Введение этих данных в параметрические уравнения расчета погрешности обработки (см. главу 4) позволяет корректировать режимы резания по заданной точности обработки.

Параметры заготовок, технические требования к ним и данные о применимости различных обрабатываемых материалов на предприятии также необходимы для проектирования систем. Для токарных станков, работающих в машиностроении, прежде всего необходимы (табл. 2.2) резцы для обработки заготовок из конструкционных сталей (применяемость 94 %). Значительно реже (применяемость 3 %) используют заготовки из чугуна. Большие трудно-

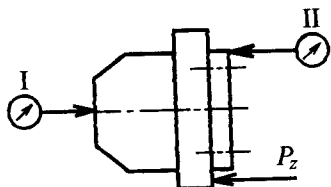


Рис. 2.11. Схема нагружения по составляющей силы резания P_z :

I и II – измерительные устройства

сти возникают при обработке резанием заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов. Типаж этих материалов весьма велик, но общая применимость их составляет всего 2,5 %. Наиболее распространены коррозионно-стойкие и теплостойкие стали. Их типичными представителями являются стали 12Х18Н10Т и 34ХНЗМФ.

Для карусельных станков применимость заготовок из чугуна увеличивается до 15 %. Для фрезерных и сверлильно-расточных станков – до 25 %.

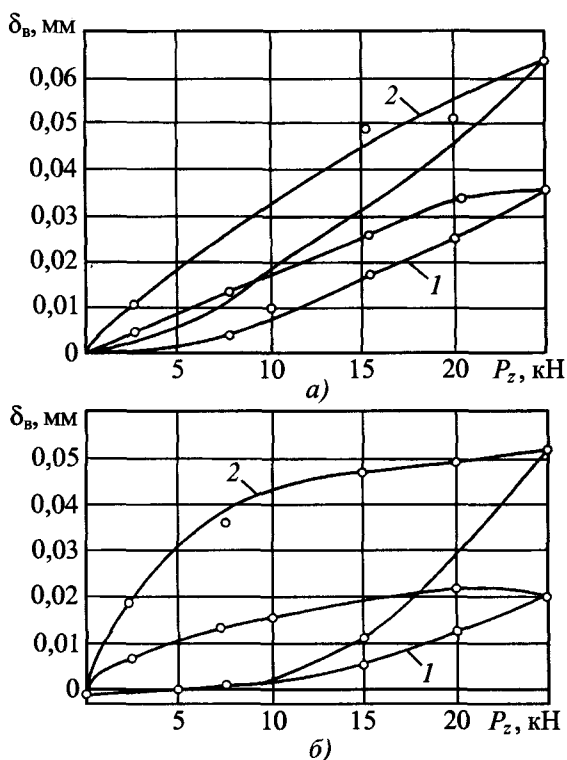


Рис. 2.12. Податливость $\delta_{в}$ системы резец–резцедержатель–револьверная головка–станок по оси Z: а – измерение в точке I; б – измерение в точке II; 1 – с рифленной лыской; 2 – с плоской лыской

2.2. Применяемость материалов заготовок на заводах машиностроения [44]

Группа материалов	Применяе- мость		Группа материалов	Применяе- мость	
	q_y	J_β		q_y	J_β
Конструкционные стали (включая стали для прокатных валков):	94	1,7	Труднообраба- тываемые ста- ли и сплавы	2,5	1,1
углеродистые	70	3,4			
в том числе:			в том числе:		
с содержанием угле- рода менее 0,5 %	50	3,7	коррозионно- стойкие стали	2,0	0,1
с содержанием угле- рода более 0,5 %	20	2,9	прочие стали и сплавы	0,5	0,5
легированные	24	3,1	Чугуны	3,0	1,2
в том числе:			в том числе:		
с добавками хрома и никеля	14	2,5	серые	2,0	0,1
с добавками ванадия, молибдена, вольф- рама	4,5	1,5	высокопрочные и отбеленные	1,0	0,7
с прочими добавками	5,5	1,6	Цветные ме- таллы и сплавы	0,5	0,5

Условные обозначения: q_y – значения, полученные статистиче-
ски; J_β – доверительный интервал.

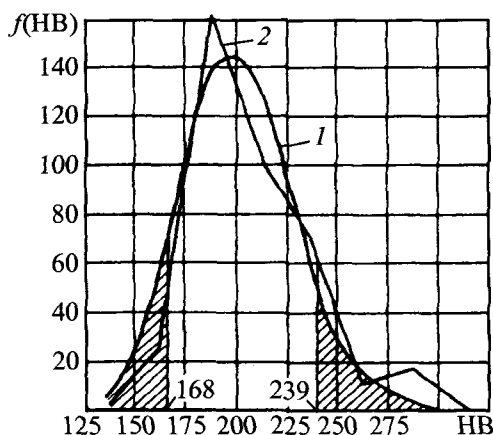


Рис. 2.13. Плотность распределения твердости материалов заготовок, обрабатываемых на токарных станках:
 1 – нормальное распределение; 2 – эмпирическая зависимость

Большое значение имеет не только группа материалов, но и их свойства внутри группы. Например, твердость конструкционных сталей, заготовки из которых обрабатывают на токарных станках, изменяется в широком диапазоне (рис. 2.13). Наиболее вероятные значения твердости лежат в диапазоне 168...239 HB.

Важно знать распределение габаритных размеров обрабатываемых деталей и их масс. Так, отношение длины деталей к их максимальному диаметру, а также максимального диаметра деталей к максимальному диаметру обработки токарного станка определяют податливость технологической системы. Эти параметры, а также масса заготовки налагают ограничения при выборе режимов резания. Исходными данными для оптимизации размеров инструмента служат плотности распределения размеров обрабатываемых деталей.

Так, при разработке общемашиностроительных нормативов режимов резания для точения был принят диапазон параметров, охватывающий 80 % случаев обработки [34]. Этот диапазон в несколько раз меньше всего диапазона параметров. Если на токарных станках обрабатывают заготовки из стали твердостью от 120 HB до 65 HRC, то 80 %-ный диапазон равен 168...239 HB (см. рис. 2.13, незаштрихованная часть). Для этого диапазона могут быть разработаны детальные рекомендации по выбору инструмента и назначению режимов резания, для остальной части диапазона – только общие рекомендации.

2.3. Подсистема инструментальных материалов

При изготовлении режущего инструмента применяют следующие инструментальные материалы:

- а) инструментальные легированные стали;
- б) быстрорежущие стали;
- в) твердые сплавы;
- г) минералокерамика;
- д) сверхтвердые материалы.

Большое разнообразие инструментальных материалов объясняется тем, что ни в одном из них не совмещаются высокая прочность и технологичность с необходимыми показателями скорости резания и теплостойкости.

Инструментальные легированные стали обозначаются цифрой, характеризующей массовое содержание углерода в десятых долях процента (если цифра отсутствует, содержание углерода $\approx 1\%$), за которой следуют буквы, соответствующие легирующим элементам (Г – марганец, Х – хром, С – кремний, В – вольфрам, Ф – ванадий), и цифры, обозначающие содержание элемента в процентах. Инструментальные легированные стали глубокой прокаливаемости марок 9ХС, ХВСГ, 11Х, ХВГ отличаются малыми деформациями при термической обработке. Физико-механические свойства легированных инструментальных сталей приведены в табл. 2.3.

В инструментальных легированных сталях массовое содержание легирующих элементов недостаточно, чтобы связать весь углерод в карбиды, поэтому теплостойкость этих сталей находится в пределах 250...300 °С. В **быстрорежущих сталях** стремятся связать весь углерод в карбиды легирующих элементов, исключив при этом возможность образования карбидов железа. За счет этого разупрочнение быстрорежущих сталей происходит при более высоких температурах (табл. 2.4).

Быстрорежущие стали нормальной производительности предназначены в основном для обработки конструкционных сталей с твердостью до 280 НВ, феррито-перлитных чугунов с твердостью до 220 НВ и цветных сплавов. Основной маркой является сталь Р6М5, которая предназначена для изготовления большинства режущих инструментов: резцов, фрез, сверл, зенкеров, разверток, протяжек, метчиков, резьбовых плашек, а также значительной части зуборезных инструментов.

2.3. Основные физико-механические свойства наиболее распространенных марок инструментальных легированных сталей

Окончание табл. 2.3

Марка	Физико-механические свойства						Карбидная фаза, %	Тепло-стой-кость (красно-стой-кость), °С	Область применения			
	ρ , г/см ³	НВ	После отжига		После закали и отпуска							
			НВ	σ_B , Н/мм ²	σ_H , Н/мм ²	HRC						
ХВСГ	7,83	<388	≤255	—	<3200	62...64	14,0...15,5	200...220	Круглые плашки, развертки и др.			
ХВГ	7,83	—	≤255	—	<3400	63...66	14,0...16,0	200...220	Резьбовые калибры, удлиненные инструменты, холодно-высадочные матрицы и пуансоны			
Х12Ф1	7,83	—	≤255	—	<3040	63...65	15,0...17,0	490...510	Холодные штампы, накатные плашки, матрицы и пуансоны вырубных и просечных штампов			

2.4. Показатели прочности, твердости и теплостойкости быстрорежущих сталей

Марка по ГОСТ 19265-73 (в ред. 1991 г.)	$\sigma_{\text{н}}, \text{Н/мм}^2$	HRC	Теплостойкость, °С, при твердости 59 HRC
P6M5	3000...4000	63...66	650
P18	2600...3200	62...65	620
P6M5Ф3	2000...3200	64...66	630
P6M5K5	2400...3000	64...66	630
P9M4K8	2000...2700	64...67	630

Режущие свойства инструментов из сталей P6M5 и P18 практически равноценны для подавляющего большинства видов инструментов и областей их применения. Сталь P18 обладает лучшей шлифуемостью и поэтому применяется, когда изготовление инструментов из стали P6M5 затруднительно.

Из стали P18 изготавливают инструменты, при производстве которых осуществляются сложные и точные шлифовальные операции, а именно: корригированные шеверы, зуборезные долбяки для чистовой обработки, шлицевые протяжки, мелкогабаритные метчики.

Инструменты из быстрорежущих сталей с увеличенным содержанием углерода и ванадия обладают повышенной износостойкостью. Сталь P6M5Ф3 обладает износостойкостью на 30...40 % больше, чем P5M6, но уступает этой стали по шлифуемости. Сталь P6M5Ф3 применяется с целью повышения стойкости инструментов, таких как резцы, сверла, зенкеры и т.п.

Быстрорежущие стали повышенной производительности, содержащие кобальт, предназначены для обработки конструкционных сталей и перлитных чугунов с твердостью более 280 HB. Применение стали P6M5K5 обеспечивает по сравнению с P6M5 рост скорости резания в среднем на 20 % или увеличение количества периодов стойкости инструментов в 1,5...3 раза. Сталь P6M5K8 обладает повышенной износостойкостью по сравнению с P6M5K5, но уступает ей по прочности, шлифуемости и является более дорогой. Она применяется, когда режущие свойства стали P6M5K5 недостаточны.

Порошковые быстрорежущие стали имеют однородную структуру, значительно прочнее и лучше шлифуются по сравнению со сталями того же химического состава, изготовленными по обычной технологии. Это позволяет изменить легирование порошковых быстрорежущих сталей, увеличив в них содержание углерода и ванадия и повысив таким образом износостойкость инструментов при достаточной прочности и удовлетворительной шлифуемости. Порошковые быстрорежущие стали позволяют повысить стойкость инструментов в 1,3...2 раза по сравнению с аналогами, получаемыми по обычной технологии (например, Р6М5Ф3-МП по сравнению с Р6М5Ф3).

Рациональные значения износа инструментов из быстрорежущих сталей приведены в табл. 2.5. Российские быстрорежущие стали, их зарубежные аналоги и химический состав показаны в табл. 2.6.

2.5. Рациональные значения износа инструментов из быстрорежущих сталей по задней поверхности

Инструмент	Величина износа, мм	
	при обработке сталей	при обработке чугунов
Резцы проходные, расточные, резьбовые:		
для черновой обработки	1,5...2,0	—
для чистовой обработки	0,8...1,2	—
Сверла спиральные, диаметром, мм:		
до 6	0,4...0,6	0,4...0,6
7...20	0,6...0,8	0,6...0,8
свыше 20	0,8...1,2	0,8...1,2
Зенкеры	1,2...1,5	1,2...1,5
Развертки	0,6...0,8	0,6...0,8
Метчики машинные (с шагом резьбы P)	0,7 P	P
Фрезы торцовые	1,2...1,5	1,5...2,0
Фрезы дисковые, концевые	0,3...0,5	0,4...0,6
Фрезы прорезные и отрезные	0,1...0,2	0,4...0,5

2.6. Российские быстрорежущие стали, их зарубежный аналог и химический состав

Марка по ГОСТ 19265-73 (в ред. 1991 г.)	Зарубежный аналог		Средний химический состав, %			
	Стандарт (страна)	Марка	C	W	V	Co
P6M5	ATM; AISI (США)	M2	0,9	6,4	1,9	—
P18		T1	0,75	18	1,0	—
P6M5Ф3		M3	1,0	6,4	2,5	—
P6M5	DIN 17350-80 (Германия)	S6-5-2	0,9	6,4	1,9	—
P6M5Ф3		S6-5-3	1,0	6,4	2,5	—
P6M5K5		S6-5-2-5	0,9	6,4	1,9	4,8
P6M5	NFA 35-590-78 (Франция)	6-5-2	0,85	6,0	2,0	—
P18		18-0-1	0,8	18	1,0	—
P6M5K5		6-5-2-5	0,85	6,0	2,0	5,0
P6M5	JIS 4403-83 (Япония)	КН-9	0,75	6,0	2,0	—
P6M5Ф3		КН-52	1,0	6,0	2,5	—
P18		КН-2	0,8	18	1,0	—
P6M5K5		КН-55	0,86	6,0	2,0	5,0

Примечание. Во всех сталях содержание, %: Мо — 5 (за исключением сталей T1, S 6-5-3, 18-0-1 и КН-2); Cr — 4.

Твердые сплавы (ТС) представляют собой смесь зерен карбидов, нитридов и карбонитридов тугоплавких металлов, равномерно расположенных в связующем материале. Распространенные марки ТС изготовляют на основе карбидов вольфрама, титана, тантала. В качестве связующего используется кобальт.

В зависимости от обрабатываемого материала и характера образующейся стружки ТС подразделяются на 6 групп по областям применения: Р, М, К, N, S и H (табл. 2.7).

Группы ТС подразделяются в свою очередь на группы применения, которые обозначаются той же буквой, что и группа ТС, и числовым индексом (группа применения). Чем больше число индекса в обозначении группы применения, тем ниже износостойкость твердого сплава, допускаемые скорость резания и толщина среза (подача и глубина резания).

В зависимости от состава карбидной фазы и связки обозначение твердых сплавов включает в себя буквы, характеризующие карбидообразующие элементы (В – вольфрам, Т – титан, вторая буква Т – тантал) и связку (буква К – кобальт). Массовая доля карбидообразующих элементов в однокарбидных сплавах, содержащих только карбид вольфрама, определяется разностью между 100 % и массой долей связки (цифра после буквы К), например, сплав ВК4 содержит 4 % Со и 96 % WC. В двухкарбидных WC + TiC сплавах цифрой после буквы карбидообразующего элемента определяется его массовая доля, следующая цифра – массовая доля связки, остальное – массовая доля карбида вольфрама (например, сплав Т5К10 содержит 5 % TiC, 10 % Со и 85 % WC).

В трехкарбидных сплавах цифра после букв ТТ означает массовую долю карбидов титана и тантала. Цифра за буквой К – массовая доля связки, остальное – массовая доля карбида вольфрама (например, сплав ТТ8К6 содержит 6 % Со, 8 % карбидов титана и тантала, 86 % WC).

Инструменты, оснащенные ТС, широко применяются при точении и фрезеровании, а также при сверлении, зенкеровании, развертывании и протягивании чугунных деталей.

Применение твердосплавных инструментов эффективно при следующих условиях:

- достаточные уровень мощности, жесткости, виброустойчивости станков (этим условиям в основном отвечают станки токарной

2.7. Группы и области применения твердых сплавов

Группа (цвет маркировки)	Область применения
Р (синий)	Обработка материалов, дающих сливную стружку (в основном стали)
М (желтый)	Обработка материалов, дающих как сливную стружку, так и стружку вкалывания (коррозионно-стойкие стали и сплавы)
К (красный)	Обработка чугунов, дающих стружку скалывания
N (зеленый)	Обработка алюминиевых и медных сплавов
S (коричневый)	Обработка труднообрабатываемых материалов (жаропрочные стали и сплавы, титан и его сплавы)
Н (серый)	Обработка закаленных и литейных чугунов

и фрезерной групп и обрабатывающие центры на их базе);

- конфигурация детали и технологическое оснащение должны допускать обработку с уровнем скорости резания, характерным для ТС;

- наличие особых требований к производительности обработки.

Крупные производители создают два класса твердых сплавов:

- специализированные марки для определенного обрабатываемого материала и типа операции (черновая, чистовая), которые обеспечивают наивысшую производительность при максимальной скорости;

- универсальные марки для обработки различных материалов и типов операций, которые во всех допускаемых случаях обеспечивают необходимую производительность и стойкость.

Для массового или крупносерийного производства характерно применение специализированных марок ТС. Однако большая номенклатура специализированных марок приводит к увеличению затрат на хранение и обслуживание с приростом вероятности ошибок при замене.

При обработке часто сменяемых малых партий детали из различных материалов используют универсальные марки ТС. В этом случае сокращаются затраты на переналадку станков, на хранение и обслуживание инструмента. Однако, производительность и стойкость универсальных марок ниже на 10...25 %, чем специализированных.

С учетом вышесказанного, крупные производители стремятся создать сплавы, максимально сочетающие преимущества универсальных и специализированных марок.

Производство твердосплавного инструмента в России ограничено марками для узкой области применения. Основными изготовителями являются ОАО «Кировградский завод твердых сплавов» (КЗТС), ГУП «Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твердых сталей» и ОАО «Московский комбинат твердых сплавов» (Сандвик-МКТС) (табл. 2.8).

2.8. Российские марки ТС без покрытия

Основная группа применения	КЗТС	ВНИИТС	«Сандвик-МКТС»
P01	T30K4	BT100	MP1
P10	T15K6	BT110	MP1
P20	T14K8	BT120	MP2
P25	TT20K9	BT120	MP3
P30	T5K10, TT10K8-Б	BT130, BT141	MP3
P40	TT7K12	BT142	MP4
M10	TT8K6	BT310	TK15
M20	TT10K8-Б	BT220	TK20
M30	BK10-OM	BT332	TK25
M40	TT7K12	BT142	MP4
K01	BK3-M	BT301	TK10
K05	BK6-OM	BT210	TK10
K10	BK6M, TT8K6	BT310	TK15
K15	T8K7	BT315	TK20
K20	BK6	BT323	TK20
K30	BK8, BK10-OM	BT331	TK25

Рекомендации по применению марки ТС всегда являются ориентировочными и применительно к конкретным операциям требуют уточнений. Например, невысокая жесткость технологической системы может явиться причиной применения более прочных ТС. С другой стороны, если заданная производительность чистовой обработки обеспечивается применением ТС для черновой обработки, то это предпочтительно, так как обеспечивает повышенную надежность.

Ниже, на примере группы резания Р, даны основные рекомендации по применению марок твердых сплавов производства КЗТС.

Группа Р01 предназначена для тонкого точения стальных деталей. Основные марки – Т30К4 и МР1.

Группа Р10 предназначена для чистовой обработки (за исключением операций тонкого точения). Основные марки – Т15К6 и МР1.

Группа Р20 предназначена для полужирной обработки, рекомендуется также для черновой обработки при благоприятных условиях резания; применяется для чистого точения – в том случае, когда прочность сплава Т15К6 недостаточна. Основные марки – Т14К8 и МР2. Улучшение условий теплоотвода от режущих кромок за счет уменьшения угла в плане и эффективного применения СОЖ повышает уровень критического порога режима резания и позволяет использовать повышенную износостойкость.

Группа Р25 включает в себя твердые сплавы, обладающие повышенным сопротивлением циклическим, динамическим и тепловым нагрузкам при прерывистом резании, в частности при фрезеровании. Основные марки – ТТ20К9 и МР3.

Группа Р30 предназначена для черновой обработки стальных деталей. Основные марки твердого сплава – Т5К10 и МР3. Сплав ТТ10К8-Б обеспечивает большую стойкость и предназначен для резания высоколегированных и труднообрабатываемых материалов.

Группа Р40 включает в себя наиболее прочные твердые сплавы для обработки стальных деталей – ТТ7К12 и МР4, предназначенные для нагруженных черновых операций (обработка по загрязненной литейной корке, сварным швам при больших неравномерных припусках и т.п.).

В табл. 2.9 и 2.10 приведено сопоставление марок твердых сплавов с износостойкими покрытиями, выпускаемых российскими и зарубежными изготовителями для токарных и фрезерных работ.

2.9. Твердые сплавы с износостойкими покрытиями для токарных работ

Группа	ВНИ-ИТС (Россия)	“Сан-двик-МКТС” (Россия)	Sandvik Coromant (Швеция)	KOR-LOY (Корея)	Kenna- metal (США)	ISCAR (Изра- иль)
P01	—	—	CT5015	NC310	—	IC500N
P10	—	CT15	CT5015	NC310	KC5010	IC570
P15	BT2220	CT15	GS1525	NC320	KC5010	IC570
P20	BT2222	CT25	GS1525	NC320	KC8050	IC8048
P25	BT1320	CT25	GS4015	NC330	KC8050	IC9025
P30	BT2202	CT35	GS4025	NC330	KC8050	IC3028
P40	BT1420	CT35	GS4035	NC330	KC8050	IC3028
P50	—	CU45	—	—	—	IC635
M01	—	—	GS2015	—	—	IC907
M10	—	CT25	GC1025	NC3255	KC5010	IC907
M20	—	CT35	GC2025	NC3255	KC8050	IS3028
M30	—	CU45	GC2025	NC330	KC8050	IS3028
M40	—	CU45	GC20	—	KC735M	IS3028
K01	—	—	CC650	NC305K	—	IS9007
K05	—	CT15	CB7050	NC305K	KC5010	IC428
K10	—	CT15	CC6090	NC305K	KC5010	IC4028
K20	BT3222	CT20	GC3025	NC315K	KC8050	IC9015
K30	BT3210	CT20	GC3025	—	KC8050	IC9015
K50	—	—	—	—	—	IC9015

Окончание табл. 2.9

Группа	Mitsubishi Carbide (Япония)	SECO (Швейцария)	Pramet (Чехия)	WIDIA (Германия)	Кюосера (Япония)	Sumitomo (Япония)
P01	UE6005	—	—	—	CR7015	AC700G
P10	UE6005	TP100	320P	TN150	CR7015	AC900G
P15	UC6010	TP100	320P	TN150	CR7015	AC900G
P20	UC6010	TP200	320P	TN200	CR7025	AC2000
P25	UC6025	TP200	520P	TN250	CR7025	AC2000
P30	UC6025	TP300	525P	TN350	CR9025	AC2000
P40	UE6035	CP500	535P	TN7035	CR9025	AC3000
P50	—	—	535P	—	—	AC3000
M01	—	—	—	—	CR7015	—
M10	US7020	TP100	—	TN150	CR7015	—
M20	US7020	TP200	320P	TN8025	CR7015	—
M30	US735	TP300	—	TN8025	CR7025	—
M40	US735	CP500	—	—	PR660	—
K01	UC5005	TP100	—	HK150	CR7015	AC300G
K05	UC5005	TP100	—	HK150	CR7015	AC300G
K10	UE6005	TX150	—	HCK10	CR7015	AC700G
K20	UC6010	TX150	530P	HK35	CR7015	AC700G
K30	—	CP500	530P	HK35	CR7015	AC900G
K50	—	—	—	—	—	AC900G

2.10. Твердые сплавы с износостойкими покрытиями для фрезерных работ

Группа	ВНИИТС (Россия)	“СКИФ-М” (Россия)	“Сан- двик- МКТС” (Россия)	Sandvik Coro- mant (Шве- ция)	KORLOY (Корея)	Kenna- metal (США)
P01	—	—	—	—	—	—
P10	—	НСП20	—	GC4020	NCM325	KC
P15	BM2226	НСП20	CM25	CT530	NCM325	KC
P20	BM2226	НСП20	CM25	GC4030	NCM335	KC
P25	BM2226	НСП30	CM25	SM30	NCM335	KC525M
P30	BM1416	НСП30	CM25	GC4040	PC230	KC735M
P40	BM1416	НСП30C	СИ45	GC4040	PC130	RC930M
P50	—	—	СИ45	—	—	—
M01	—	—	—	GS1025	—	—
M10	—	НСП20	—	GS1025	—	KC510M
M20	—	НСП20	—	GS2030	NCM325	KC925M
M30	—	НСП30C	CU45	GS2040	NCM335	KC525M
M40	—	НСП30C	CU45	—	PC130	KC735M
K01	—	НСК05	—	CB50	NCM310K	—
K05	—	НСК05	CA20	CC6090	NCM310K	—
K10	BM3156	НСК20	CA20	GC3020	HC205K	KC510M
K20	BM3316	НСК20	CA20	GC3040	NCM320K	KC520M
K30	—	НСК30	CA30	GC3040	NCM320K	KC725M
K50	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 2.10

Группа	ISCAR (Израиль)	Mitsubishi Carbide (Япония)	SECO (Швей- цария)	Pramet (Чехия)	WIDIA (Германия)	Walter (Германия)
P01	—	F7010	—	—	—	—
P10	—	F7010	T20M	816	—	WTA21
P15	IC250	F620	T20M	816	TN25M	WTA21
P20	IC350	F7030	T20M	525P	TN25M	WTA61
P25	IC520M	UP20M	T25M	525P	TN25M	WAP25
P30	IC520M	AP20M	T25M	826	TPC35	WAP35
P40	IC3028	—	T25M	826	TN450	WTA51
P50	IC635	—	—	—	—	WTL71
M01	—	—	—	—	—	—
M10	IC220	F7010	—	816	TN5M	WXM15
M20	IC520M	F7030	T20M	816	TN25M	WAP25
M30	IC635	UP20V	T25M	836	TPC35	WAP25
M40	IC635	—	T25M	—	TN450	WAP35
K01	—	F5010	T150M	—	—	WTP35
K05	IC418	F5010	T150M	816	HK15M	—
K10	IC418	F5010	T150M	816	HK15M	—
K20	IC418	F5010	T150M	836	HK15M	WAK15
K30	IC450	—	T20M	836	—	WTA21
K50	IC450	—	T25M	—	—	WXM35

Минералокерамика подразделяется на несколько видов. Основные из них: нитридная, оксидная и оксидно-карбидная керамика.

Нитридная керамика на основе Si_3N_4 (силинит) предназначена для обработки чугунов и отожженных конструкционных и инструментальных сталей. Она уступает в скорости резания оксидной керамике на основе Al_2O_3 при обработке деформируемых

сплавов на основе алюминия и закаленной стали. При обработке серого чугуна силинит уступает нитриду бора.

Оксидная (белая) керамика предпочтительнее при точении заготовок из ферритных ковких чугунов и незакаленных конструкционных сталей при скоростях резания свыше 250 м/мин.

Оксидно-карбидная (смешанная, черная) керамика на основе Al_2O_3 с добавками предназначена для чистовой, получистовой и прерывистой обработки ковких, высокопрочных, отбеленных, модифицированных чугунов, сталей, закаленных до 30...55 HRC и 56...65 HRC; кроме того, оксидно-нитридная керамика ОНТ-20 (кортинит) рекомендуется для обработки сплавов на основе меди.

Основные марки минералокерамики и области их применения приведены в табл. 2.11.

2.11. Основные российские марки минералокерамики и их области применения

Марка	Состав	Область применения
ВО-100	Al_2O_3 + оксиды	Высокоскоростное чистовое точение чугуна и стали в состоянии поставки без СОЖ
ВОК-200	Al_2O_3 + TiC	Чистовая и получистовая обработка углеродистых и легированных сталей, серых ковких чугунов, графита без СОЖ или при обильном охлаждении
ВОКС-300	Слоистый керамический материал на твердосплавной подложке	Чистовая или получистовая токарная обработка углеродистых, легированных, закаленных сталей и различных чугунов, в том числе и при неравномерных припусках и ударах от абразивных включений
ТВИН-200	Si_3N_4 + оксиды	Черновое, получистовое и чистовое точение и фрезерование чугунов; обработка сплавов на основе кобальта и никеля

Окончание табл. 2.11

Марка	Состав	Область применения
ТВИН-400	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}_w$	Обработка никелевых сплавов, закаленных высоколегированных и быстрорежущих сталей и чугунов твердостью больше 250 НВ
ОНТ-20	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$	Обработка закаленной стали, отбеленных чугунов, цветных металлов на основе меди, сплавов на основе никеля

Минералокерамика применяется в основном на операциях чистового точения чугунных деталей, имеющих большие площади обрабатываемой поверхности (гильзы цилиндров, тормозные барабаны, маховики и др.), что позволяет значительно повысить производительность и уменьшить количество станков.

Высокие скорости резания и пониженная прочность инструментов из режущей керамики по сравнению с ТС требуют применения высокоскоростных, жестких и виброустойчивых станков. Повышенные требования предъявляются также к технологической оснастке: зажимным патронам, вспомогательным инструментам, а также к отводу стружки и ограждению рабочей зоны станка.

Обработка инструментами, оснащенными минералокерамикой, осуществляется без СОЖ для уменьшения опасности «тепловых ударов», отрицательно сказывающихся на надежности работы этих инструментов. При необходимости применения СОЖ (для смыва стружки, охлаждения детали) следует обеспечивать непрерывный обильный полив режущих кромок. Более благоприятно применение СОЖ при работе керамикой оксидно-карбидной группы.

Допустимый износ по задней поверхности режущих керамических пластин для проходных и расточных резцов составляет: при обработке сталей – 0,2...0,3 мм, чугунов – 0,3...0,5 мм.

Сверхтвердые материалы (СТМ), используемые в качестве инструментальных для лезвийного инструмента, являются плотными модификациями углерода и нитрида бора (BN). Углерод и нитрид бора могут существовать в виде нескольких полиморфных модификаций, отличающихся друг от друга строением кристалли-

ческой решетки. Основными кристаллическими формами углерода являются графит и алмаз, аналогами этих форм у нитрида бора являются графитоподобный нитрид бора и его плотные модификации: кубический (сBN) и вюрцитный (wBN) нитрид бора. Синтезируются они при высоких давлениях и температурах в области термодинамической стабильности этих фаз.

Поликристаллы сBN и алмаза, используемые в качестве режущего инструмента, изготавливаются в две стадии: синтез и спекание.

В результате синтеза при высоких давлениях и температурах получают кристаллы алмаза и сBN плотных модификаций с самыми различными физико-механическими свойствами.

Рассортированные по зернистости порошки алмаза и сBN используются для получения поликристаллов. В результате спекания образуется поликристаллическая структура.

Поликристаллы сверхтвердых материалов на основе синтетического алмаза и сBN изготавливаются цельными и двухслойными в виде цилиндров диаметром до 101,6 мм. Наиболее часто используются поликристаллы диаметрами приблизительно 13, 26 и 32 мм. Спекание двухслойных пластин осуществляется на подложке из ТС на основе карбидов вольфрама.

Поликристаллы алмаза (ПКА) и поликристаллы кубического нитрида бора (ПКНБ) разрезают на многогранные пластины стандартных размеров или фрагменты произвольной формы (электроэрозионным способом или лазером) и шлифуют. Фрагменты запаиваются в вершину стандартных сменных режущих пластин (СРП) или в напайной инструмент.

Основные марки сверхтвердых материалов и области их применения представлены в табл. 2.12.

Инструментальные материалы на основе ПКА и ПКНБ являются самыми твердыми, их твердость HV составляет 60...90 ГПа и 30...40 ГПа соответственно. Высокая твердость ПКА и ПКНБ обуславливает их чрезвычайную износостойкость при обработке труднообрабатываемых материалов. ПКНБ химически более инертен к железу и его соединениям с углеродом, чем алмаз, и значительно превосходит его по теплостойкости (устойчив на воздухе до 120 °С). Прочностные характеристики СТМ ниже, чем у ТС, однако они сохраняют свои значения при высоких температурах. Практическая деформация у СТМ отсутствует.

2.12. Основные марки сверхтвердых материалов

Марка	Состав	Размер зерна, мкм	Примечание	Область применения
На основе ПКНБ				
Композит 01	98 % cBN	—	$\rho = 3,4; 37 \text{ HV};$ $K_{Ic} = 4,2; E = 840;$ $\sigma_{сж} = 2700; \sigma_{раст} = 440;$ цельный	Чистовая обработка закаленных сталей и чугунов
Петбор (композит 03)	cBN + керамическая связка	5...7	$\rho = 3,48; 40 \text{ HV};$ $\lambda = 100;$ цельный; двухслойный	Обработка (непрерывная и прерывистая) закаленных сталей, отбеленных и серых перлитных чугунов, высокотвердых наплавленных материалов
КПЗ	cBN + керамическая связка	Среднее	Цельный, двухслойный	Точение, в том числе с ударом, закаленных сталей, отбеленных и серых перлитных чугунов, наплавов твердым сплавом
СКИМ-ПК	cBN	—	35...38 HV; $\sigma_{и} = 800...1000;$ впаянный угол	Токарная и фрезерная обработка закаленных сталей (45...65 HRC); обработка серого, высокопрочного, ковкого чугуна, силумина, стеклопластика

Продолжение табл. 2.12

Марка	Состав	Размер зерна, мкм	Примечание	Область применения
Киборит	84 % cBN + AlN	2...4	$\rho = 3,35...3,38;$ 28...30 НК; $K_{Ic} = 10,5; E = 712;$ $\sigma_{сж} = 2900; \sigma_{раст} = 320;$ $\lambda = 70;$ двухслойный; цельный	Непрерывное и прерывистое резание труднообрабатываемых термообработанных сталей и сплавов, чугунов любой твердости, высокотвердых наплавленных материалов
Композит 10	40...60 % cBN + wBN	0,04...0,06 (wBN)	$\rho = 3,4; 30,5 \text{ HV};$ $K_{Ic} = 15; E = 712;$ $\sigma_{сж} = 2600;$ $\sigma_{раст} = 320;$ двухслойный	Непрерывное и прерывистое резание термообработанных сталей, чугунов, твердых сплавов с содержанием Со более 15 %, наплавленных и напыленных покрытий
На основе ПКА				
АТП	Поликристаллический алмаз	40	$\rho = 3,74...3,77;$ 50 HV; $K_{Ic} = 10...13;$ $\sigma_{раст} = 300...400;$ $\sigma_{и} = 800...850$	Обработка гетинакса, текстолита, стеклопластиков, углеродосодержащих материалов, асбеста, полимерных и композиционных материалов

Марка	Состав	Размер зерна, мкм	Примечание	Область применения
АТП	Поликристаллический алмаз	25	$\rho = 3,74 \dots 3,77$; 50 HV ; $K_{Ic} = 10 \dots 13$; $\sigma_{\text{раст}} = 300 \dots 400$; $\sigma_{\text{и}} = 800 \dots 850$	Получистовая и чистовая обработка алюминия и алюминиевых сплавов, содержащих 12...22% Si; обработка меди, медных сплавов и других цветных металлов и сплавов
		10		Чистовая обработка алюминия и алюминиевых сплавов, содержащих 12...22 % Si; обработка меди, медных сплавов и других цветных металлов и сплавов

Условные обозначения: ρ – плотность, г/см³; E – модуль Юнга, ГПа; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); HV – твердость по Виккерсу, ГПа; НК – твердость по Кнуппу (НК $\approx 0,8 \text{ HV}$) ГПа; $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности на сжатие, Н/мм²; $\sigma_{\text{раст}}$ – предел прочности на растяжении, Н/мм²; $\sigma_{\text{и}}$ – предел прочности на изгиб, Н/мм²; K_{Ic} – коэффициент трещиностойкости, МПа · м^{1/2}.

2.4. Подсистема технологических решений

В подсистему технологических решений входит совокупность правил обработки отдельных элементарных поверхностей, которые принадлежат заготовкам.

На основе анализа большого количества данных устанавливают последовательность переходов и состав комплектов инструмента, выбирают траектории перемещения инструмента и режимы резания с условием обеспечения обработки всего многообразия деталей, запланированного для данного производства с надлежащим качеством, производительностью и надежностью в автоматическом цикле.

Каждую элементарную поверхность представляют состоящей из основных и дополнительных поверхностей (ОП и ДП).

При токарной обработке к ОП относятся цилиндрические и конические поверхности с радиусными и криволинейными образующими, неглубокие канавки для выхода шлифовального круга и т.п. К ДП относятся торцовые и угловые канавки для выхода шлифовального круга, канавки на наружной, внутренней и торцовой поверхностях, резьбовые поверхности (рис. 2.14).

Для заготовок диаметром 50...400 мм при образовании ОП удаляется до 85...90 % припуска, остальной припуск снимают при обработке ДП.

Для автоматизированной обработки в подавляющем большинстве поступают заготовки из проката, поковки, штамповки. Если диаметр заготовки из прутка меньше 50 мм, то ее можно использовать для изготовления нескольких деталей, если диаметр больше 50 мм, то для одной детали. При обработке в центрах заготовки из проката должны иметь обработанные торцы и центровые отверстия с обеих сторон, допуск на длину не должен превышать +0,6 мм. При обработке в патроне заготовки из проката используют без предварительной обработки и лишь при необходимости

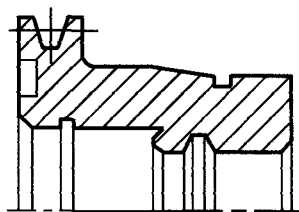


Рис. 2.14. Основные (толстые линии) и дополнительные (тонкие линии) поверхности заготовки

получения отверстия большого диаметра желательно подготовить его, предварительно оставив соответствующий допуск.

Заготовки из поковок, выполненные свободной ковкой, как правило, предварительно обрабатывают на станках с ручным управлением с целью получения баз для последующего закрепления на автоматизированных станках. Штамповки, выполненные способом горячего прессования, отличаются стабильностью форм и размеров, небольшими припусками.

Анализ форм и размеров обрабатываемых деталей, требований к производительности и качеству, технологических возможностей станков и оснастки других элементов технологического процесса позволяет установить основную номенклатуру применяемого инструмента. На токарных станках наружные ОП формируют проходными резцами с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ и вспомогательным углом $\varphi_1 = 5^\circ$ (черновая обработка) и контурными резцами при $\varphi = 93^\circ$, $\varphi_1 = 32^\circ$ (чистовая обработка). При обработке внутренних ОП применяют сверла, расточные резцы с $\varphi = 95^\circ$ и $\varphi_1 = 5^\circ$ (чистовая обработка) и расточные контурные резцы $\varphi = 93^\circ$, $\varphi_1 = 32^\circ$ (чистовая обработка) левого и правого исполнения.

Дополнительные поверхности получают при обработке прорезными, канавочными и резьбовыми резцами. В конкретных условиях производства при ограниченной номенклатуре деталей требуется меньшая номенклатура инструмента.

Конструкция резцов и резцедержателей должна обеспечивать быструю и точную установку инструмента в рабочую позицию на суппорте или в револьверной головке станка и формирование и отвод стружки в условиях автоматической работы.

На последовательность выполнения переходов токарной операции влияет вид закрепления заготовки: а) в кулачковом самоцентрирующем патроне; б) в центрах с поводком (инерционным, торцовым); в) в кулачковом самоцентрирующем патроне с поджимом центра.

Операции, осуществляемые в кулачковом самоцентрирующем патроне, разделяют на группы, отличающиеся размерами и видом предварительной обработки отверстия, числом дополнительных поверхностей, для обработки которых требуются отдельные инструменты. Переходы при обработке деталей с закреплением в ку-

лачковом самоцентрирующем патроне выполняют в следующей последовательности [56]:

1) центрование (если сверлят отверстие диаметром меньше 20 мм);

2) сверление;

3) черновая обработка основных поверхностей: подрезание внешнего торца (для поковки, штамповки срезание припуска на всех торцах), обтачивание наружных поверхностей, растачивание внутренних поверхностей;

4) черновая и чистовая обработка дополнительных поверхностей. Если черновую и чистовую обработку основных поверхностей выполняют одним резцом, то все дополнительные поверхности формируют после чистовой обработки;

5) чистовая обработка внутренних и наружных основных поверхностей;

6) обработка внутренних и наружных, в том числе торцовых дополнительных поверхностей, не требующих черновой обработки (включает отрезку).

Пример последовательности переходов 1–7 операции токарной обработки детали в кулачковом самоцентрирующем патроне показан на рис. 2.15.

В зависимости от конкретных значений припусков выбирают нужное число ходов обработки наружных, торцовых и внутренних поверхностей. Дополнительные поверхности заготовки, расположенные внутри ее основного контура, обрабатывают после образования основных поверхностей. В табл. 2.13 показаны траектории перемещения токарного инструмента при обработке стандартных наружных и угловых канавок для выхода шлифовального круга.

На станках сверлильно-расточной и фрезерной групп в машиностроительном производстве обрабатывают корпусные детали

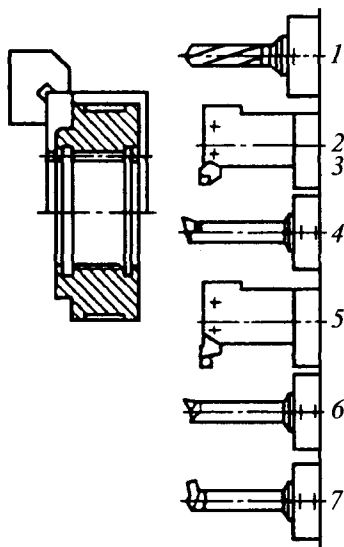
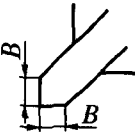
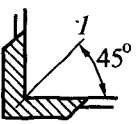
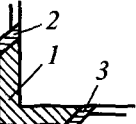
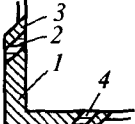
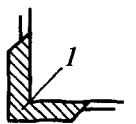
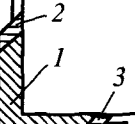
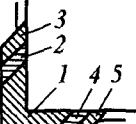
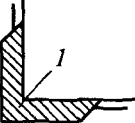
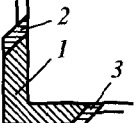
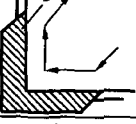


Рис. 2.15. Последовательность выполнения переходов

2.13. Траектории перемещения токарного инструмента при обработке наружных угловых канавок для выхода шлифовального круга

Инструмент			Траектория перемещения			
Форма рабочей части	Размер, мм	Материал режущей части	Размер B , мм			
			2	2	5	8
	2	Быстрорежущая сталь Р6М5				—
	3	Твердый сплав МРЗ	—			
	5		—	—		
	8		—	—	—	

Примечания: 1. Цифрами на эскизах обозначена последовательность съема припуска. 2. Марку твердых сплавов — см. табл. 2.8.

машин и механизмов широкой номенклатуры. Типовыми деталями являются станины, рамы, корпуса, коробки, крышки, плиты и т.п. Эти детали изготавливают в основном из черных металлов.

По данным [18] 23 % корпусных деталей изготавливают из стали (литье и прокат), до 60 % – чугуна. С ростом требований к снижению массы изделий для корпусных деталей все больше применяют алюминиевые сплавы и другие материалы.

По габаритным размерам корпусные детали ориентировочно можно распределить следующим образом: детали размером от 500×500 до 1000×1000 мм – до 10 %; детали с одним из размеров более 1000 мм – 5 %.

В корпусных деталях обрабатывают преимущественно отверстия к плоскости. Отверстия в корпусных деталях имеют различное назначение. Их можно разделить на два вида: основные, в которых монтируют детали механизмов и машин (валы, шестерни, шкивы и т.д.), и крепежные (с резьбой и без резьбы), служащие для установки деталей крепления (болтов, винтов и т.п.). Число основных отверстий в зависимости от вида и назначения корпусных деталей сильно колеблется, но в среднем три–пять отверстий, а крепежных пять–семь. Из общего числа основных отверстий по 7–9-му качеству точности изготавливают около 75 %, причем из них с допуском расположения отверстий от 0,01 до 0,03 мм – 10 %, от 0,03 до 0,1 мм – 40 %, а более 0,1 мм – 50 %. Диаметры основных отверстий в корпусных деталях преимущественно (до 80 %) находятся в пределах 120 мм.

Трудоемкость обработки корпусных деталей оставляет в среднем: сверление – 25 %, зенкерование и растачивание – 25 %, фрезерование – 30 %, другие виды обработки – 20 %.

Типовыми технологическими переходами при обработке корпусных деталей являются:

- а) фрезерование плоскостей черновое с глубиной резания до 10...12 мм;
- б) фрезерование плоскостей получистовое и чистовое;
- в) сверление крепежных и основных отверстий;
- г) зенкерование отверстий окончательное или под развертывание;
- д) зенкерование под элементы крепежных деталей;
- е) развертывание отверстий по 7–10-му качествам (после зенкерования или после растачивания);

ж) растачивание основных отверстий черновое (припуск до 15 мм на диаметр);

з) растачивание получистовое основных отверстий (припуск 3...5 мм на диаметр);

и) растачивание чистовое основных отверстий (припуск 1...20 мм на диаметр);

к) обработка фасок и торцов;

л) нарезание резьбы в отверстиях;

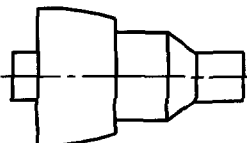
м) фрезерование пазов и уступов.

Типовые технологические процессы, включая режимы обработки, режущий и вспомогательный инструмент для точения, фрезерования, сверления и необходимую экономическую информацию для указанных видов обработки преобразуются в программно-математическое обеспечение процесса.

При запуске программы на определенный вид обработки, на дисплее вначале появляется перечень пунктов основного меню, которое позволяет выбирать нужный раздел или переходить от одного раздела к другому. В каждом выбранном разделе возникает ряд вопросов, на которые необходимо ответить вводом имеющейся информации. Ответы сохраняются в памяти компьютера и могут быть вызваны в любой момент для сравнения, если выполняется проработка вариантов.

В качестве примера ниже приводится процесс выбора инструмента для чистового точения детали и определения необходимых режимов обработки на данном переходе (продольное точение). На первом этапе работ выбирается станок, определяется технология и некоторые ее параметры, в том числе глубина резания для чистового прохода.

Для выбора инструмента необходимо обратиться в главное меню (рис. 2.16) и вызвать последовательно разделы: «Токарные операции» и «Наружное точение». После этого в режиме диалога определяется материал режущей части, скорость резания, максимальная подача, тип, форма и геометрия СРП, ее размеры и стыковка резца с вспомогательным инструментом, который подбирается по заданному станку. При необходимости графическое изображение получившегося инструментального блока с основными размерами можно вызвать на экран дисплея для окончательной визуальной оценки возможности применения. Фрагмент диалога показан на рис. 2.17.



Токарный станок с ЧПУ Материал: сталь 45

Мощность: 30 кВт Твердость: 170 НВ

Сечение резца: 25×25 Параметр шероховатости поверхности: Ra 1,6

Токарные операции	Главное меню
(A) Наружное точение (B) Внутреннее точение Обработка отверстий (C) Центрование (D) Сверление (E) Контурное растачивание (F)	Фрезерные операции (M) Фасонное фрезерование (N) Концевые фрезы (P) Размеры и профиль фрез (R) Обработка плоских поверхностей (S)

(A) Наружное точение - меню

1. Материал режущей части/скорость резания/радиус при вершине?

2. Параметр шероховатости поверхности/максимальная подача?

3. Эффективная мощность?

4. Тип/геометрия СРП?

Рис. 2.16. Меню для определения параметров обработки при точении

После получения всех необходимых данных по рассматриваемому переходу таким же образом прорабатываются другие переходы операции по обработке данной детали. В общем случае по каждой операции могут быть получены следующие данные: перечень инструментов и их технические данные в стандартном формате, чертежи инструментов в сборе, показывающие конфигурацию инструмента и данные для предварительной наладки; параметры резания для каждого инструмента и другие данные для программирования обработки на оборудовании с ЧПУ; анализ времени и стоимости работ для каждой операции и для заданной партии деталей.

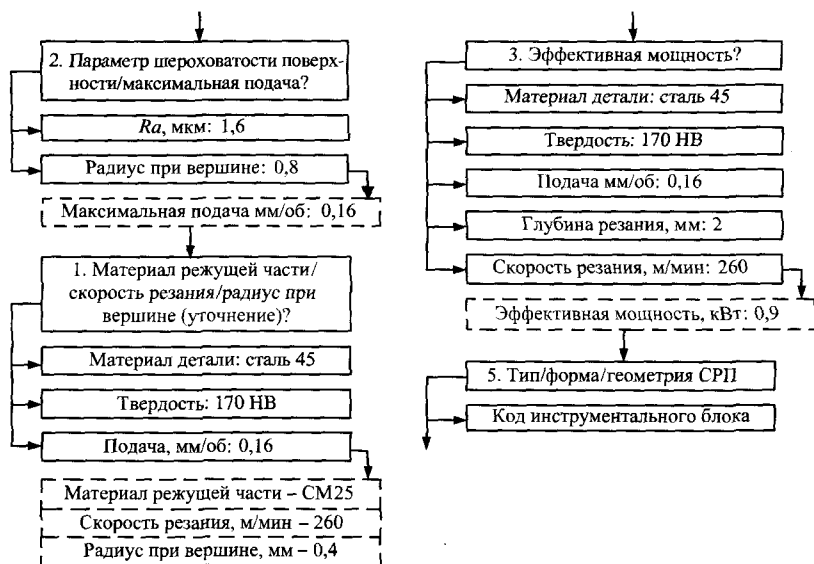


Рис. 2.17. Фрагмент диалога для установление параметров обработки

После ввода всех данных полученные рекомендации в виде таблиц комплексно вызываются на экран дисплея для окончательного анализа и проверки перевода на любой программноноситель и распечатки. Все полученные данные могут быть введены в память центральной ЭВМ для дальнейшего использования (например, для подготовки инструмента планирования производственного процесса, налаживания производства отдельными партиями, заказа нового инструмента, программирования обработки на оборудовании с ЧПУ и т.п.).

Применение инструментальных систем накладывает дополнительные связи на выбор технологических решений. Оптимизация технологических операций требует совершенствования инструмента. Одним из критериев оценки необходимости применения усовершенствованной инструментальной системы является минимальность себестоимости операции. Как известно [42], себестоимость операции выражает в денежной форме часть издержек производства, включающую затраты на средства труда и заработную плату:

$$Q = t_p E + t_v E + t_{пр} E + Q_{ин} + Q_{пр}, \quad (2.3)$$

где Q – полная себестоимость операции механической обработки детали, руб;

t_p – продолжительность рабочего хода и дополнительных движений, зависящих от режима резания, мин;

t_v – продолжительность вспомогательной работы, включающая время вспомогательного хода и не зависящая от режима резания, мин;

$t_{пр}$ – продолжительность внеплановых простоев, вызванных случайным выходом инструмента из строя или по другим причинам, зависящим от инструментальной оснастки, мин;

E – себестоимость станко-минуты, руб (в себестоимость станко-минуты включены затраты на средства труда и заработную плату, которые остаются постоянными во времени и не зависят от темпа операции);

$Q_{ин}$ – плановые затраты, связанные с изнашиванием инструмента и отнесенные к одной детали, руб;

$Q_{пр}$ – прочие постоянные затраты на деталь, не зависящие от темпа операции, руб.

В формуле (2.3) переменная доля себестоимости $Q_{пер}$, зависящая от инструмента:

$$Q_{пер} = t_p E + Q_{ин} = t_p E + t_p \left(\frac{\Pi_1 E + \Pi_2 E_{н}}{T_{п}} \right) + S_{и}, \quad (2.4)$$

где Π_1 – плановые потери времени работы станка на установку и замену инструмента, мин;

Π_2 – плановые потери времени работы станка на наладку, подналадку или размерное регулирование инструмента, мин;

$S_{и}$ – затраты на амортизацию и заточку инструмента за период его работы без замены, т.е. за период стойкости, руб;

$E_{н}$ – заработная плата наладчика за 1 мин, руб;

$T_{п}$ – продолжительность работы инструмента без замены в течение рабочего хода, мин; ($T_{п} = T/\lambda$, T – нормативное значение стойкости инструмента по принятому критерию затупления, мин; λ – отношение длительности резания к длительности рабочего хода).

Доля себестоимости, связанная с простоями оборудования: $Q_{пр} = t_{пр} E$, частично зависит от инструментальной оснастки и связана со случайным (преждевременным) выходом инструмента из строя или из-за неудовлетворительного формирования стружки.

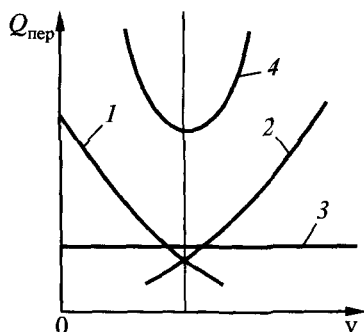


Рис. 2.18. Зависимость составляющих переменной доли себестоимости операций от скорости резания:

1 — стоимость машинного времени обработки; 2 — затраты на инструмент, его замену и наладку; 3 — непроизводительные затраты, учитывающие постоянную долю себестоимости; 4 — суммарная кривая

Как следует из формулы (2.4), переменная доля себестоимости операции зависит от режима резания, потерь времени на установку и замену инструмента, потерь времени на наладку инструмента на размер обрабатываемой детали, стоимости инструмента за период его стойкости.

Зависимость составляющих переменной доли себестоимости операции от скорости резания качественно можно представить в виде кривых, приведенных на рис. 2.18. Кривая 4 характеризует зависимость переменной доли себестоимости операции от скорости резания и качества инструмента. Она имеет минимум при скорости резания, называемой *экономической скоростью резания*, обеспечивающей минимальную себестоимость операции. Экономическая скорость резания $v_{\text{эк}} = v(T/T_{\text{эк}})_m$, где v и T — нормативные значения скорости резания и стойкости; $v = C_v T^m$; m — показатель степени.

Величина экономической стойкости

$$T_{\text{эк}} = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \frac{\Pi_1 E + \Pi_2 E + S_{\text{и}}}{E}, \quad (2.5)$$

определяется из формулы (1.2) при условии, когда величина $Q_{\text{пер}}$ стремится к минимуму.

Таким образом, формулы (2.3) и (2.4) показывают, что оптимизация технологической операции может быть осуществлена при следующих условиях (рис. 2.19): а) повышением экономической скорости резания, то есть путем снижения переменной доли себестоимости, б) применением устройств, реагирующих на случайный выход инструмента из строя и на неудовлетворительное формирование стружки; в) унификацией и агрегатированием.



Рис. 2.19. Условия оптимизации технологической операции, связанные с инструментом

Глава 3

СТРУКТУРА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Инструментальные системы, как и любые другие материальные системы, представляют множество элементов, находящихся в связях друг с другом, образующих определенную структуру. Системный подход позволяет свести многообразие сведений о входящих в эту структуру элементах и о связях между ними в единую картину. В качестве средства, используемого для принятия решений по выбору структуры инструментальной системы, необходим анализ существующих конструкций и, как результат, процедура построения обобщенной модели, отражающей взаимосвязи параметров вспомогательного и режущего инструмента, станка и детали в реальных технологических условиях.

С точки зрения системного подхода, в качестве оценочного критерия принимают, что оптимальным является вариант инструментальной системы, которая имеет минимальное число элементов и минимум связей между ними. С точки зрения внешних условий необходимыми элементами такой системы являются присоединительные поверхности, предназначенные для базирования и закрепления инструментальных блоков в технологическом оборудовании.

3.1. Существующие системы

С целью повышения уровня унификации инструмента используют модульный принцип конструирования систем для разнотипных станков. Инструмент из унифицированных модулей переналаживается в связи с изменением номенклатуры обрабатываемых деталей путем перекомпоновки. Традиционный инструмент заменяется комплектом унифицированных модулей, предназначенных для обработки партии деталей и допускающих частичную или полную разборку инструмента для последующей сборки в другом сочетании.

Унифицированные модули после сборки в инструментальный блок образуют взаимосвязанный механизм и обладают достаточной результирующей жесткостью и точностью. Такой инструмент сохраняет расчетные размеры в требуемых допусках, хотя и имеет меньшую жесткость по сравнению с жесткостью цельного инструмента. Динамическая устойчивость составных инструментов обычно выше аналогичного параметра цельных инструментов с теми же размерами, особенно на черновых режимах. Это важно при работе удлиненным инструментом при обработке ступенчатых отверстий в корпусных деталях и фрезеровании глубоких штампов и пресс-форм.

Составной инструмент позволяет варьировать величины длин и диаметров обработки в соответствии с конкретной задачей, так как включает следующие элементы: резцовые головки; удлинитель; переходники, предназначенные для перехода с большего на меньший диаметр оправки; базисные агрегаты, устанавливаемые в шпинделях станка.

Инструмент составляется различными способами: рабочую часть инструмента крепят непосредственно в базисном агрегате, через промежуточные элементы (при установке меньшего по размерам инструмента) или через удлинитель (например, при обработке отверстий во второй или третьей стенке корпусной детали).

Основной и наиболее важной проблемой в создании модульного инструмента является разработка конструкции соединения модулей, которая должна обеспечивать не только жесткое соединение отдельных частей инструмента, но и высокую точность повторяемости размеров инструмента.

В инструментальную систему для обработки корпусных деталей (рис. 3.1) входят: базисные агрегаты 1 различных исполнений для крепления инструмента на станках фрезерной и сверлильно-расточной групп с разными конструкциями шпинделей и устройств АСИ; переходники 2 для установки планок 6 двузубых расточных инструментов из головок 10 для обработки отверстий большого диаметра; универсальные переходники 3 и удлинители 4; переходники 5 для регулируемого в радиальном направлении крепления расточных однозубых головок 9–11.

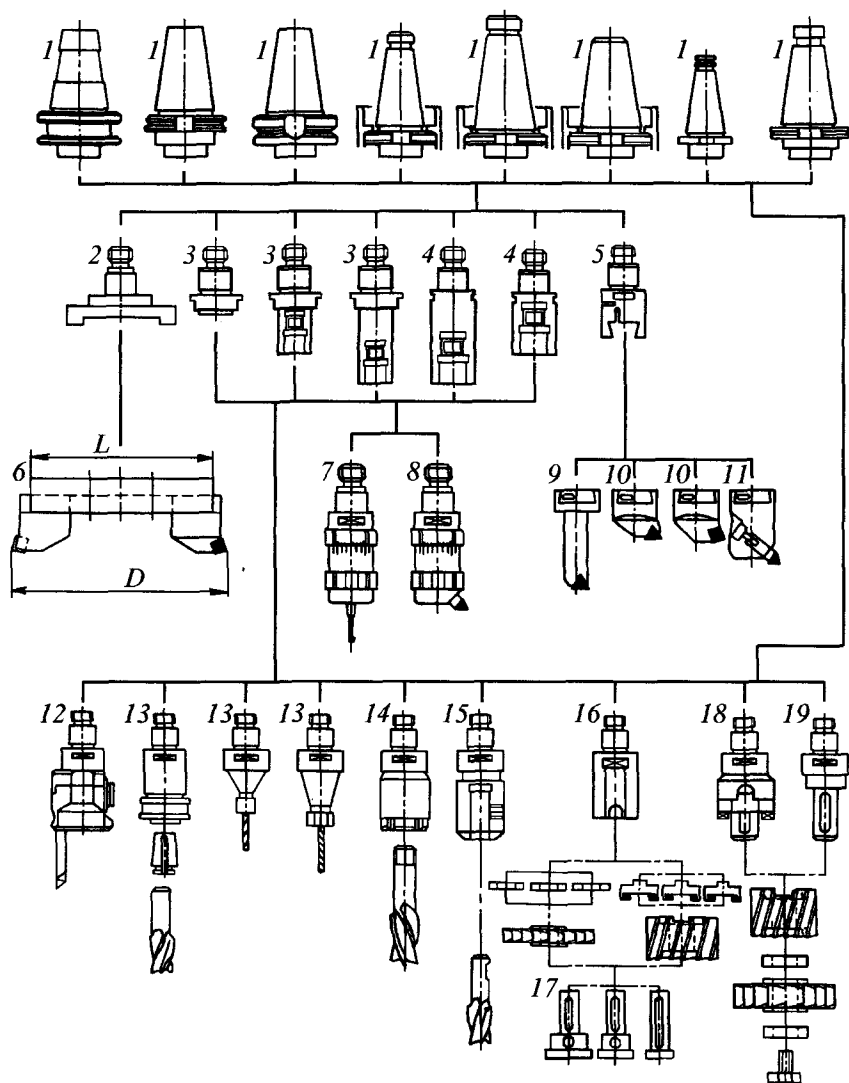


Рис. 3.1. Типичная инструментальная система

Непосредственно в базисные агрегаты или через переходники и удлинители с помощью унифицированного соединения могут устанавливаться: расточные головки 7 и 8 с микрометрическим регулированием; расточные патроны 12; цанговые патроны с разными цангами 13; патроны для концевых фрез 14 и 15; модульные оправки 16 для насадных фрез со сменными цапфами 17; оправки для насадных фрез торцовых 18 и дисковых 19 с продольной шпонкой.

Удлинители имеют одинаковый диаметр с передней частью державки и бывают короткими или длинными.

Переходники являются промежуточными элементами, которые могут изменять диаметр хвостовика резцедержавки от большего к меньшему.

Головки 9 и 10 с трехгранными СРП имеют главный угол в плане 90° с тем, чтобы толщина стружки была равна подаче на оборот. Это приводит к снижению радиальной составляющей силы резания. Однако вершины трехгранных поворотных режущих пластин ломаются быстрее, чем вершины четырехгранных поворотных режущих пластин, и, кроме того, у них на одну режущую кромку меньше, что экономически менее выгодно. Трехгранные СРП применяют, если нужно выполнить перпендикулярные торцы или при обработке есть опасность деформирования тонких стенок. Такие головки в системе служат для обработки отверстий диаметром от 8 до 142 мм.

Головки 10 с четырехгранными СРП имеют главный угол в плане 75° . Радиальная составляющая силы резания в этом случае больше, чем при обработке с главным углом в плане 90° , а толщина стружки меньше. Четырехгранные СРП имеют большую износостойкость по вершинам. Их применяют при сквозной обработке отверстий в деталях с достаточной толщиной стенок. Головки с четырехгранными пластинами позволяют обрабатывать отверстия диаметром 16...142 мм.

Головки 11 с регулируемой резцовой вставкой для окончательной обработки имеют призматическую направляющую и микрометрический винт, а также квадратное отверстие, которое наклонено к оси симметрии головки под углом $53^\circ 8'$. Внутри этого

отверстия (после допуска Н7) размещается хвостовик вставки, на которой механически укреплен трехгранная поворотная режущая пластина. В хвостовике вставки имеется микрометрический винт, связанный с резцовым блоком. Вставка после регулирования фиксируется боковыми винтами.

Головку 11 можно регулировать двумя способами: перемещением ее относительно держателя по направляющим типа «ласточкин хвост» и смещением резцовой вставки относительно головки. Эти головки имеют увеличенный диапазон диаметров растачивания (от 8 мм для головки диаметром 16 мм и до 42 мм для головки диаметром 80 мм), так как микрометрический винт вставки имеет маленький шаг. Регулирование по лимбу обеспечивается с точностью до 0,01 мм.

Однозубые головки 10 могут быть использованы для создания двузубых расточных головок с помощью модулей 2 и планок 6.

Планка 6 имеет такие же направляющие, что и переходник, к ним прикрепляются головки 10 с диаметром корпуса 80 мм и диапазоном растачивания 100...142 мм. Настройка двузубой головки может быть произведена с точностью до 0,05 мм.

Для окончательного растачивания отверстий с точностью по 6-му качеству в систему включены головки 7 с микрометрической подачей резцов.

Головки 8 оснащаются специально разработанными резцовыми вставками с хвостовиком круглого сечения, с трехгранными и ромбическими неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, закрепляемыми винтами. Инструментальные системы для обработки деталей типа тел вращения имеют меньше элементов, так как размер обработки определяется перемещением узлов станков. С другой стороны, резцовые головки этих систем более сложные, так как участвуют в процессе АСИ.

Для автоматической смены инструмента применяются различные способы (рис. 3.2): использование незанятых позиций револьверной головки для установки дублеров лимитирующих инструментов; замена револьверных головок; замена режущих пластин; замена режущего инструмента совместно с вспомогательным; замена режущих головок.

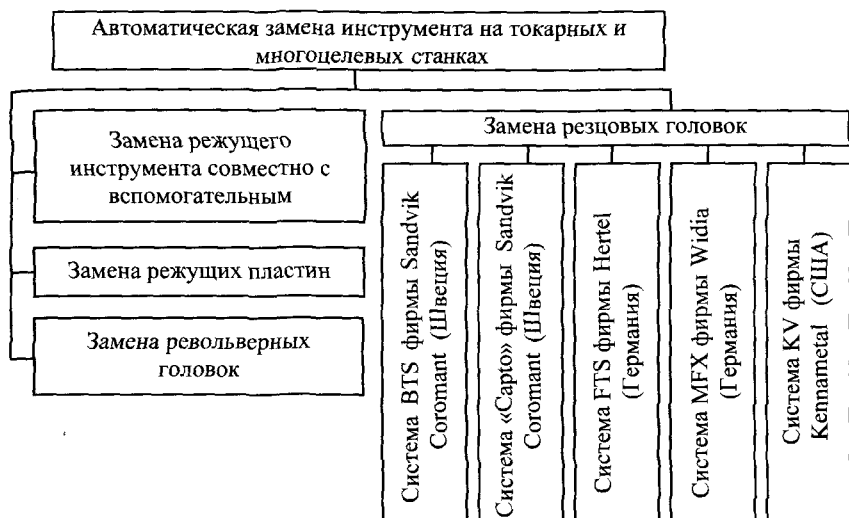


Рис. 3.2. Способы автоматической замены инструмента на токарных и многоцелевых станках

Использование незанятых позиций revolverной головки для установки инструментов-дублеров для лимитирующих переходов является простейшим способом автоматической замены затупленного инструмента. Такое решение возможно при условии, когда для обработки требуются не все рабочие позиции revolverной головки, что имеет место только при изготовлении относительно простых по конфигурации деталей.

Замена revolverных головок достаточно трудоемка. Большие сложности возникают при транспортировании, креплении и хранении крупногабаритных элементов. Кроме того, установленные в одной головке инструменты могут в значительной мере различаться по стойкости, что вызывает недоиспользование ресурса инструмента. Поэтому указанный способ практически не находит применения.

В настоящее время в большинстве инструментов, применяемых в токарных станках, используют многогранные механически закрепленные твердосплавные режущие пластины. Режущая пластина представляет собой малогабаритный и легкий элемент, за-

мена которого вручную производится достаточно быстро и легко. Однако при автоматической замене режущих пластин возникают трудности из-за разнообразия форм пластин и систем их базирования, а также сложности закрепления пластин малых габаритов.

Фирмой Sandvik Coromant разработан механизм автоматической замены параллелограммных пластин для резцов, предназначенных для контурной обработки. Однако промышленного распространения этот механизм не получил из-за громоздкости, сложности наладки и частых отказов.

В мировой практике используются как замена режущего инструмента совместно с державками, в которых он закрепляется, так и замена режущих специальных головок.

Для реализации автоматической замены инструмента в составе системы инструмента для токарного станка необходимы подсистемы:

- резцовых головок и сменных наладок для сверлильно-фрезерной обработки;
- закрепления сменных наладок в револьверной головке или в шпинделе станка;
- захватов, перегружателей и инструментальных магазинов;
- автоматического измерения положения режущего инструмента;
- автоматического измерения размеров обрабатываемых деталей;
- управления процессом резания (сигнализация о коллизиях, поломке и износе инструмента);
- ЧПУ, имеющие блоки управления заменой инструмента, автоматическими измерениями, сбором и анализом информации об износе инструмента и учетом длительности работы каждого инструмента.

Внедрение автоматической замены инструмента затрагивает такие основные элементы токарного станка, как револьверная головка станка, робот, накопители инструмента и система ЧПУ. Необходимо специальный привод для закрепления сменных наладок и отдельный привод вращения инструментов для сверлильно-фрезерной обработки.

Непосредственно к инструментальным системам относятся только первые четыре подсистемы.

Для замены резцовых головок совместно с державками используют стандартные и посадочные поверхности, которые устанавливают непосредственно в револьверную головку или в специальный шпиндель.

В инструментальной системе «Traub» (Германия) для закрепления стандартных токарных резцов в револьверной головке применяют державки с цилиндрическим хвостовиком и рифлениями (см. рис. 2.11), а для закрепления сверл, фрез и другого вращающегося инструмента – специальные державки с такими же хвостовиками. Угловая державка с цанговым патроном представлена на рис. 3.3. В корпусе 1 размещена коническая передача (передаточное отношение равно 1), состоящая из ведущего вала-шестерни 2 и ведомой шестерни 3, закрепленной на валу-шпинделе 4 гайками 5. Вал-шестерня устанавливается в корпусе в подшипниках 6–8, натяг которых обеспечивается пружинящей гайкой 9, а шпиндель – в подшипниках 10, 11, которые стягиваются гайкой 12. От внешних воздействий шпиндельный узел защищен крышками 13–15, причем в крышке 15 размещена уплотнительная манжета 16. Регулирование осевого положения муфты 17, передающей крутящий момент, производится с помощью гайки 9. Подача СОЖ осуществляется с помощью сопла 18.

Рассмотренная вращающаяся державка предназначена для работ с частотой вращения до 2500 мин^{-1} ; максимальный крутящий момент $50 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Режущий инструмент в системе «Traub» заменяется совместно с державкой, в которой он закреплен. Для захвата державок при их замене и транспортировании используются привертные элементы, имеющие толщину, кратную шагу рифлений.

Все инструментальные блоки могут быть установлены в любую из 12 позиций револьверной головки, ось которой расположена под углом 85° к оси шпинделя станка. Максимальный вылет инструмента относительно оси револьверной головки составляет 385 мм, максимальный вылет вращающегося инструмента из цангового патрона угловой державки – 40 мм.

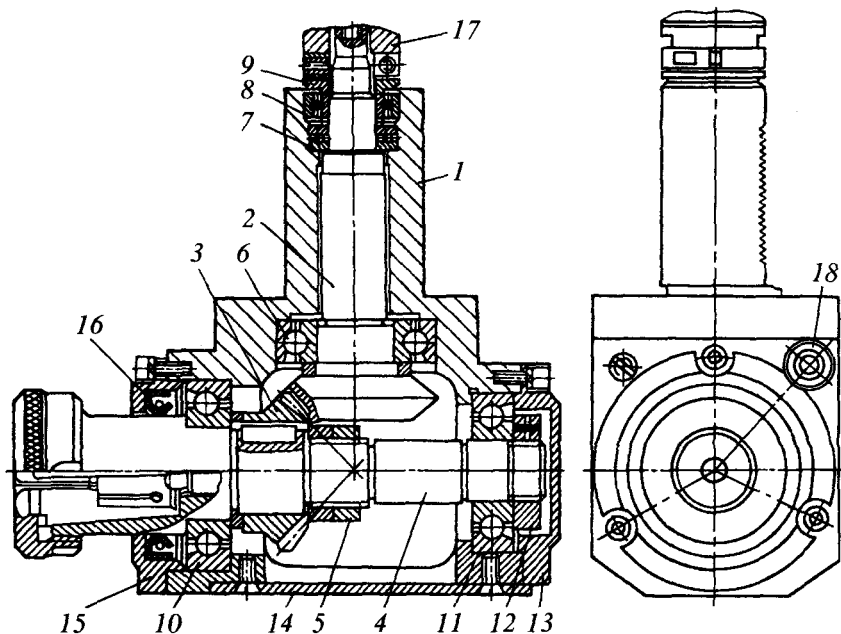


Рис. 3.3. Державка для вращающегося инструмента с цанговым патроном

Автоматическая смена инструмента осуществляется порталным загрузочным манипулятором, который для этого оснащен простым дополнительным устройством и имеет возможность перемещения по пяти осям. В устройство встроен малогабаритный винтоверт, с помощью которого перемещается клин, зажимающий цилиндрические рифленные хвостовики державок в револьверной головке. Для облегчения установки державок посадочные отверстия револьверной головки имеют специальную форму. Инструментальный магазин цепного типа на 20 позиций расположен между станком и магазином заготовок.

В державках закрепляется инструмент для токарной обработки (см. главу 6).

Достоинства системы «Тгауб»:

- возможность применения стандартного инструмента;
- использование унифицированных державок;
- технологичность базовых поверхностей заменяемых элементов;
- надежность закрепления режущего инструмента;
- возможность установки державки для вращающегося инструмента в любом гнезде револьверной головки;
- автоматическая переналадка для обработки другой детали.

Недостатки системы:

- большая масса заменяемых державок (до 10 кг);
- малая вместимость инструментального магазина;
- сложность конструкций державок для вращающихся инструментов;
- ограниченные возможности сверлильной и фрезерной обработки из-за малых диаметров подшипников.

Токарные многооперационные станки «Voest-Alpine» (Австрия) имеют две шестипозиционные револьверные головки для токарной обработки (наружной и внутренней) и фрезерный шпиндель, который может автоматически поворачиваться для обработки в плоскости $X-Z$ и $X-Y$, а также перемещаться по вертикали (вдоль оси Y) на 160 мм (рис. 3.4).

В револьверные головки устанавливаются блоки с цилиндрическим хвостовиком и рифлениями (см. рис. 2.10) с закрепленным в них стандартным режущим инструментом. Автоматическая замена токарного инструмента из вынесенного магазина производится порталным роботом, предназначенным также и для загрузки заготовок. Робот имеет пневматический привод сменных захватов для инструмента.

Вращающийся инструмент для сверлильно-фрезерной обработки закрепляется в шпинделе с помощью вспомогательного инструмента с конусом 40. В станок встроен магазин на 15 позиций для вращающегося инструмента. Автоматическая смена вращающегося инструмента производится двухзахватным автооператором.

Отдельный фрезерный шпиндель позволяет в значительной мере расширить технологические возможности станка и упростить его инструментальную систему.

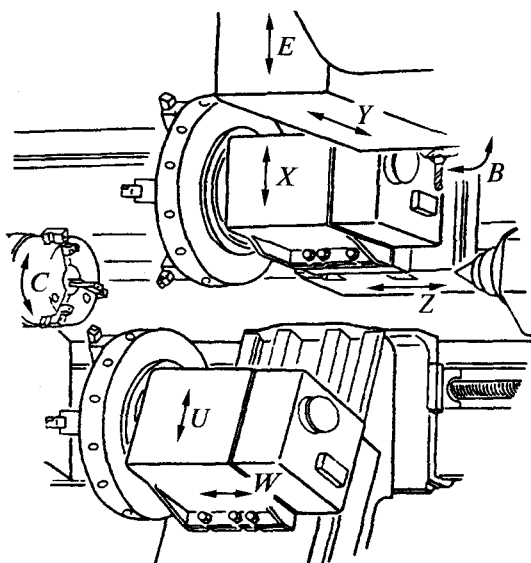


Рис. 3.4. Компоновка рабочего пространства обрабатывающего центра «Voest-Alpine»

Достоинство инструментальной системы «Voest-Alpine» является отсутствие сложных державок для вращающегося инструмента, что расширяет область выполняемых сверлильных и фрезерных операций. К недостаткам системы следует отнести наличие двух инструментальных магазинов — для сверлильно-фрезерного и токарного инструментов. В инструментальных системах с автоматической сменой резцовых головок сменный блок представляет собой часть обычного резца, а хвостовая (крепежная) часть условно может быть отнесена к вспомогательному инструменту. Такие блоки меньше обычных резцов, но больше по размеру, чем сменные режущие пластины, что позволяет создавать на блоках базовые поверхности, обеспечивающие стабильное и надежное закрепление СРП.

В таких системах используется специальный режущий инструмент, который, как правило, более сложен в изготовлении по сравнению со стандартным.

Системы с автоматической сменой резцовых головок наиболее рациональны для токарной обработки.

Резцовая головка системы *BTS* фирмы *Sandvik Coromant* представляет собой 1/3 обычного резца с двумя парами взаимно перпендикулярных базовых поверхностей 1, 2 и 5, 4, между которыми расположен паз 7 Ω -образной формы (рис. 3.5).

При затягивании цилиндрического штока 3 боковые базовые поверхности головки распруживают и надежно поджимают головку к четырем плоскостям (1, 2, 4 и 5) державки. Снизу головка опирается на упор 8. Две V-образные канавки 6 на боковых поверхностях головки служат для ее закрепления при автоматической замене инструмента. При смене одной и той же инструментальной головки погрешность установки ± 2 мкм по радиусу и ± 5 мкм по длине и высоте. При замене различных инструментальных головок с одной и той же режущей пластиной погрешность увеличивается до $\pm 0,15$ мм.

В суммарную погрешность, обусловленную заменой инструментальных головок, добавляются погрешности сменных твердосплавных пластин.

Для токарной обработки предназначены три типоразмера инструментальной системы ВТ 25, ВТ 32 и ВТ 40, соответствующих сечениям резцов 25×25 мм, 32×32 мм и 40×40 мм. Каждый типоразмер системы включает в себя резцовые головки с механическим креплением около 30 типов непоретищаемых многогранных твердосплавных пластин для наружной обработки, в том числе для нарезания резьб и протачивания канавок.

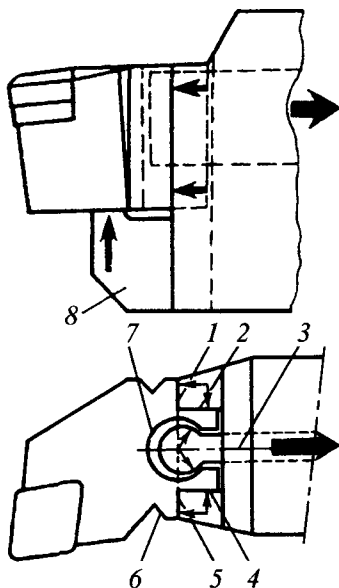


Рис. 3.5. Конструкция узла крепления инструментальной системы *BTS*

В системе ВТ 32 десять типов резцовых головок выполняются с двумя и более размерами режущих пластин, кроме того, в систему дополнительно входят шесть типов резцовых головок с механическим креплением пластин из режущей керамики.

Для внутренней обработки предусмотрены расточные резцовые головки 10 типов в системе ВТ 25 и 12 типов – в системе ВТ 32 диаметром 20, 25 и 32 мм, а также укороченные расточные головки 10 типов, закрепленные на блоках-борштангах диаметром 32 и 40 мм (соответственно для систем ВТ 25 и ВТ 32).

Для системы ВТ 40 используются только укороченные расточные головки семи типов, закрепляемые на блоках-борштангах диаметром 50 мм. Кроме того, для растачивания применяются виброгасящие борштанги диаметром 20 и 25 мм для ВТ 25, диаметром 25 и 32 для ВТ 32; диаметром 32, 40 мм для ВТ 40 с шестью типами расточных головок, предназначенных только для этих борштанг.

Для автоматического закрепления резцовых головок для наружной и внутренней обработки предусмотрено по одному типу блоков правого и левого исполнений; для внутренней обработки предназначена блок-борштанга правого и левого исполнений.

Закрепление резцовых головок в блоке осуществляется за счет усиления разжима пакета тарельчатых пружин 2 (рис. 3.6), которые базируются на втулке 4. При высвобождении резцовой головки серьги 5 поворачиваются относительно неподвижной оси 7. Вместе с серьгами поворачивается ось 6, перемещающая тягу 8, которая зажимает резцовую головку. Поскольку плечо рычага, на которое передается усилие пружин, в 2 раза длиннее, чем плечо, воздействующее на тягу, то сила зажима вдове больше усилия пружин. Для раскрепления резцовых головок при их замене гидроцилиндр специального механизма воздействует на шайбу 3 и шток 1.

Блоки для закрепления резцовых головок для наружной и внутренней обработки отличаются только положением упора 9, что обусловлено различной высотой расположения режущей вершины относительно базовых поверхностей корпуса обточных и расточных резцовых головок.

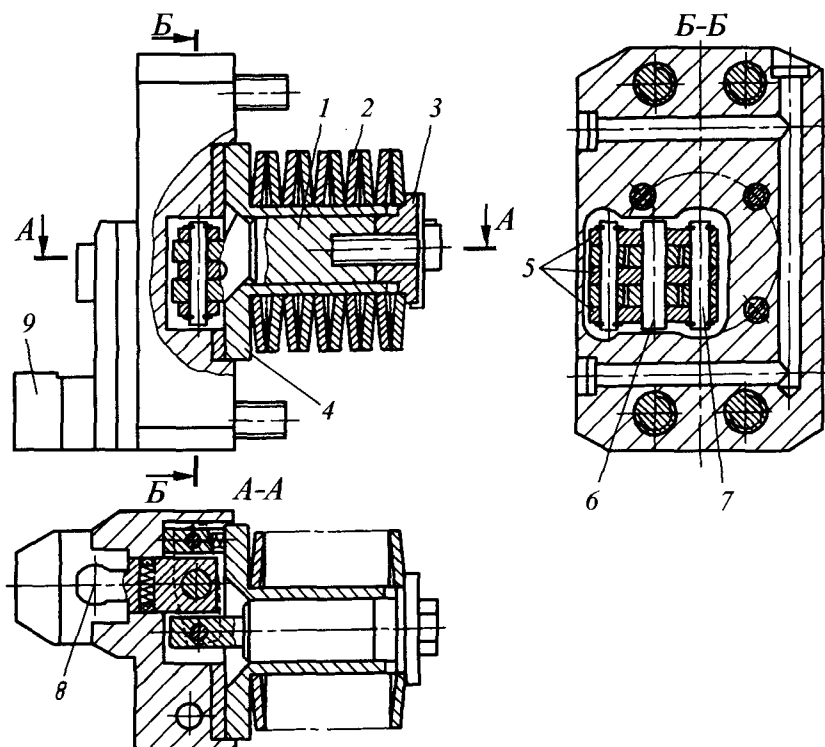


Рис. 3.6. Сменная наладка для закрепления резцовых головок системы BTS

Для базирования вращающегося инструмента фирма использует двухступенчатую цилиндрическую поверхность, сохранив форму Ω -образного паза под тягу и V-образные канавки под захваты (рис. 3.7). Для системы типоразмера ВТ 32 диаметр посадочного цилиндра составляет 40 мм, диаметр опорного фланца – 60 мм. На фланце выполняются два отверстия диаметром 6 мм для передачи крутящего момента. С целью использования для вращающегося и невращающегося инструмента одних и тех же захватов для автоматической смены на посадочном цилиндре сняты лыски.

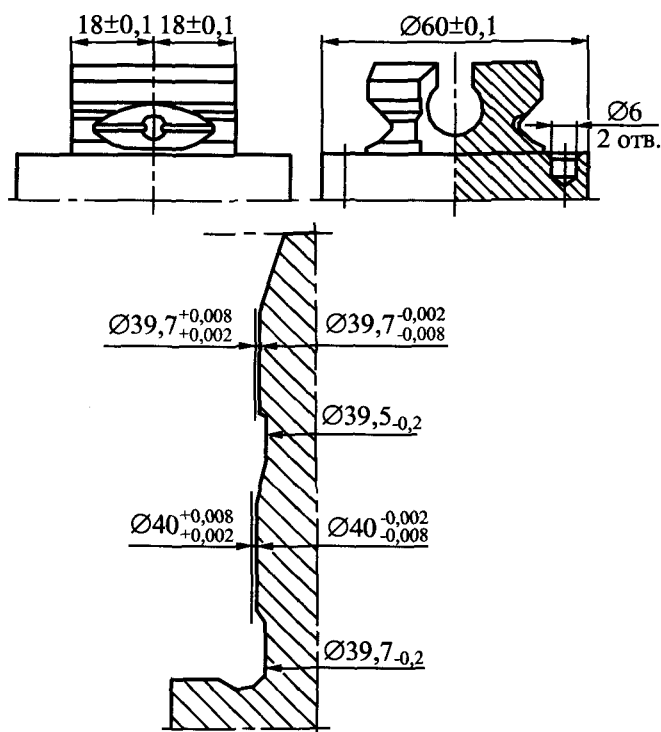


Рис. 3.7. Базирование вращающегося инструмента в системе BTS

Цилиндрическая посадочная поверхность сменных элементов вызывает необходимость увеличения хода тяги при зажиме до 21,5 мм, что трудно обеспечить тарельчатыми пружинами. Поэтому зажим осуществляется винтовой парой. Сила тяги составляет 30 кН. Подвод СОЖ производится через два отверстия на опорном торце сменного элемента.

Державки для вращающегося инструмента устанавливаются и закрепляются винтами в револьверной головке со стандартными посадочными отверстиями. Вылет прямой державки от торца револьверного диска составляет 130 мм, угловой державки – 135 мм, вылет угловой державки в радиальном направлении – 100 мм.

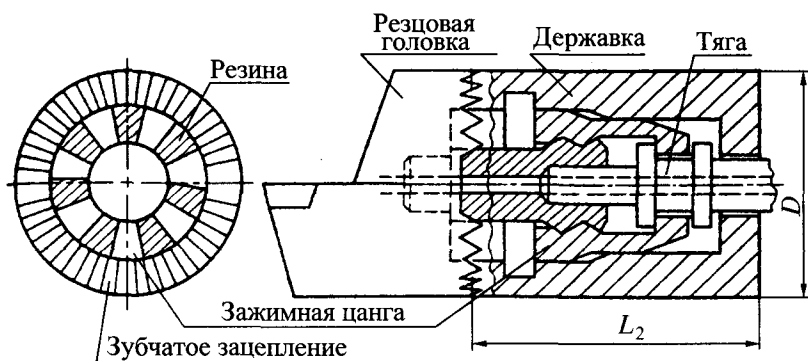


Рис. 3.8. Конструкция узла крепления инструментальной системы FTS

Вращающийся и невращающийся инструмент устанавливается в одном и том же инструментальном магазине.

Достоинства инструментальной системы BTS:

- малые габариты и масса автоматически заменяемых элементов (масса резцовой головки до 0,7 кг);
- простота очистки базовых поверхностей;
- осуществление смены головок, установленных на торце и периферии револьверной головки, при движении захватов в одном направлении.

Недостатки системы:

- применение специальных резцовых головок;
- ограниченность вылета расточного инструмента;
- необходимость привязки державок для резцовых головок и вращающихся инструментов к определенным позициям револьверной головки;
- невозможность автоматической переналадки станка на обработку другой детали.

Основой системы FTS фирмы Hertel (Германия) является самоцентрирующее торцовое зубчатое зацепление типа муфты Хирта со специальной цангой (рис. 3.8). Оно обеспечивает плотное соединение между резцовой головкой и державкой. Этим достигается высокая точность фиксации и повторяемости ($\pm 0,002$ мм в радиальном и осевом направлениях). Зажимная цанга, состоящая

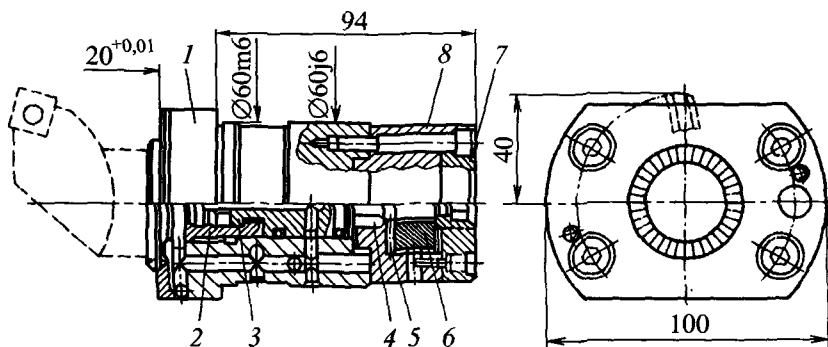


Рис. 3.9. Инструментальный блок с резцовой головкой системы FTS

из металлических лепестков с резиновыми прокладками, может достаточно широко раскрываться в радиальном направлении, что облегчает установку резцовых головок.

Для автоматического закрепления резцовых головок на торце и периферии револьверной головки разработаны специальные блоки державки.

В державке для закрепления инструмента на торце револьверной головки (рис. 3.9) на передней части корпуса 1 выполнена зубчатая полумуфта. Зажимная цанга 2 перемещается тягой 3, которая имеет участок квадратного сечения 4 перед резьбой, нарезанной на конце тяги. В задней части корпуса державки 8 выполнено квадратное отверстие под тягу. При вращении гайки 6, которая от осевого смещения предохраняется втулкой 7, происходят зажим и разжим цанги. Упорные игольчатые подшипники 5 уменьшают трение при вращении гайки 6.

На корпусе державки зубчатая полумуфта расположена симметрично, поэтому в одном блоке могут быть закреплены нормальные и перевернутые, правые и левые резцовые головки. Система имеет три типоразмера для различных нагрузок. Резцовые головки с диаметром 40 мм пригодны для сил резания до 12 кН, с диаметром 63 мм – до 25 кН, с диаметром 80 мм – до 50 кН.

Для охлаждения режущей кромки предусмотрены внутренние каналы для подвода СОЖ, а также независимые каналы для возду-

ха или воды, которые служат для очистки торцовых зубьев муфты. В зависимости от степени загрязнения очистка зубьев муфты производится либо постоянно, либо только при смене инструмента.

На цилиндрической поверхности резцовых головок имеются V-образные канавки под захваты для автоматической смены инструмента.

Вращающиеся инструменты устанавливаются через державки в револьверной головке и закрепляются винтами. Основные характеристики головок приведены в табл. 3.1.

Достоинства системы FTS:

- небольшие габариты и масса автоматически заменяемых элементов (масса резцовой головки – не более 1,3 кг);
- большая вместимость инструментальных магазинов;
- унифицированный блок для закрепления обточных и расточных резцовых головок;
- одинаковые базовые поверхности для резцовых головок и переходников для вращающегося инструмента.

Недостатки системы FTS:

- сложные базовые поверхности;
- ограниченная длина расточных резцовых головок;

3.1. Основные характеристики державок системы FTS для вращающегося инструмента

Вид державки	Типо-размер	Вылет, мм		Мощность привода, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	
		осевой	радиальный		на входе	на выходе
Прямая	FTS 40	75	–	4	6000	6000
Угловая		65	45			3000
Прямая	FTS 63	120	–	8	5000	5000
Угловая		90	60			2500

- увеличенные вылеты режущей вершины резцовых головок относительно оси;
- жесткое закрепление вращающихся головок и блоков на определенных позициях револьверной головки;
- невозможность автоматической переналадки для обработки других деталей;
- трудность очистки базовых поверхностей от мелкой стружки;
- необходимость в специальном материале для прокладок между лепестками зажимной цанги;
- осуществление смены резцовых головок, расположенных по торцу и периферии револьверной головки, движением захватов в двух взаимно перпендикулярных направлениях;
- сложность автоматического закрепления сменных элементов во вращающихся головках.

В инструментальной системе KV фирмы Kennametal (США) базовой поверхностью резцовых головок является укороченный конус 7:24 (рис. 3.10). Внутри конуса 12 выполнена полость 11 с конической поверхностью 10. Стержень 8 с шариками 4 входит в полость 11. При смещении назад тяги 6 шарiki 4, упираясь в коническую поверхность, затягивают конус 7:24 и подвижную в осевом

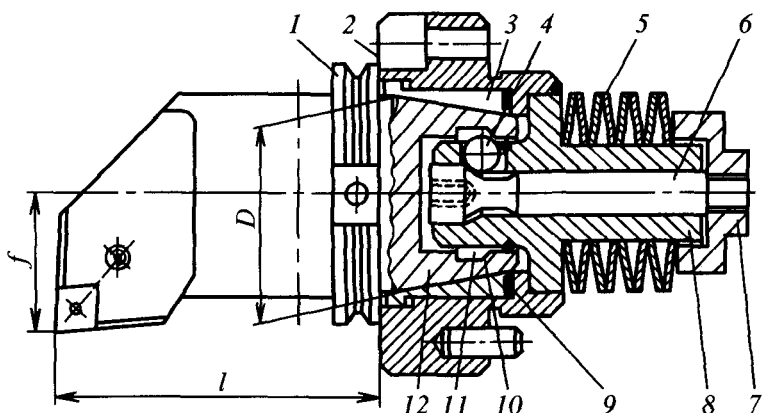


Рис. 3.10. Инструментальный блок с резцовой головкой системы KV

направлении разрезную втулку 3 до тех пор, пока фланец 1 резцовой головки не достигнет поверхности 2. При смещении втулки 3 сжимается резиновое кольцо 9, которое при обратном ходе тяги 6 возвращает втулку 3 в первоначальное положение. Контакт по конической поверхности и по торцу одновременно обеспечивает высокую жесткость закрепления резцовых головок. Базовые поверхности защищены от попадания стружки.

Система имеет четыре исполнения с четырьмя размерами конуса 7:24. Основные размеры конусов, допускаемые значения сил резания и вылетов инструмента приведены в табл. 3.2. При повторных установках одной и той же резцовой головки обеспечивается погрешность $\pm 0,003$ мм в осевом и $\pm 0,005$ мм в радиальном направлениях, при смене различных головок точность установки составляет $\pm 0,38$ мм.

3.2. Основные характеристики системы KV

Типоразмер системы	Основные размеры, мм			Соответствующие сечения резцов, мм	Сила зажима, кН	Ход тяги, мм	Обтачивание		Растачивание	
	<i>D</i>	<i>l</i>	<i>t</i>				Допускаемая сила резания, кН	Максимальный вылет, мм	Допускаемая сила резания, кН	Максимальный вылет, мм
KV 30	31,75	50	27	20×20 25×25	10,0	2,0	15,0	40	7,0	140
KV 40	44,45	65	38	25×25 32×25 32×32	11,0	2,5	20,0	60	9,0	150
KV 45	57,15	70	48	32×25 32×32 40×32	20,5	3,0	30,0	65	12,0	

Для закрепления резцовых головок KV (см. рис. 3.10) в диске револьверной головки используется пакет тарельчатых пружин 5, которые через гайку 7, установленную на тяге 6, перемещают последнюю. Для раскрепления головки необходимо приложить осевое усилие к гайке 7 и сжать тарельчатые пружины, что, как правило, выполняется гидроцилиндром.

Под захваты при автоматической смене головок предназначены фланцы с V-образной канавкой с углом 60° , унифицированные с фланцами конусов 7:24, применяемыми на сверлильно-расточных и фрезерных станках.

Для осуществления сверлильных и фрезерных операций на токарных станках разработаны прямая и угловая державки с цилиндрическими хвостовиками диаметром 50 мм, закрепляемые в револьверной головке. Осовой вылет прямой головки составляет 140 мм, угловой – 95 мм, радиальный вылет угловой головки – 15 мм.

Достоинства системы KV:

- унификация с инструментальными системами для сверлильно-фрезерных станков с ЧПУ;
- унифицированный блок для закрепления инструмента для наружной и внутренней обработки;
- одинаковые базовые поверхности для резцовых головок и переходников, крепящих вращающийся инструмент;
- защищенность базовых поверхностей от стружки.

Недостатки системы KV:

- сложность изготовления конусов высокой точности;
- относительно большие по сравнению с другими инструментальными системами габариты и масса резцовых головок и соответственно меньшая вместимость магазинов;
- невозможность автоматической переналадки на обработку другой детали.

В инструментальной системе МТХ фирмы Widia (Германия) базирование резцовых головок осуществляется по цилиндрической поверхности и торцу.

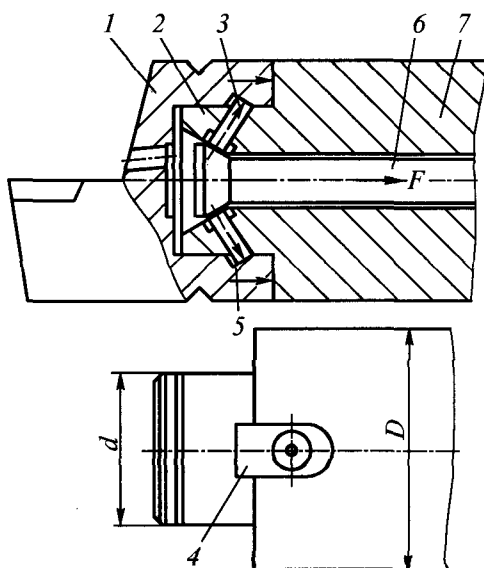


Рис. 3.11. Основные элементы инструментальной системы МТХ

Резцовая головка 1 (рис. 3.11) с хвостовиком цилиндрической формы имеет соосное с корпусом посадочное отверстие. Пальцы 3 при перемещении по стрелке F тяги 6 упираются в коническую поверхность канавки 5 и поджимают головку к базовому торцу. Для фиксирования резцовой головки служит торцовая шпонка 4. Цилиндрическая поверхность 2 блока 7 имеет переднюю часть меньшего диаметра для облегчения установки резцовых головок.

Резцовые головки в системах МТХ имеют симметричную форму, режущая кромка расположена на оси симметрии для головок, предназначенных как для наружной, так и для внутренней обработки. Поэтому для их закрепления возможно использование унифицированного блока.

На наружной цилиндрической поверхности головок нанесены V-образные канавки с углом 60° под захваты АСИ. Резцовые головки имеют внутренний подвод СОЖ, совмещенный с системой закрепления.

Разработаны два типоразмера системы “МТХ-2540” и “МТХ-4063” (табл. 3.3).

3.3. Основные параметры системы МТХ (см. рис. 3.11 и 3.12)

Параметр	Типоразмер	
	2540	4063
Диаметр, мм:		
наружный D	40	63
посадочный d	25	40
Допускаемая сила резания, кН	12	24
Вылет режущей кромки, мм:		
осевой l_o	50	70
радиальный l_p	27	43
Точность, мм:		
в осевом направлении	0,003	0,004
в радиальном направлении	0,006	0,008
Сила зажима, кН	18	25
Ход тяги, мм	2,5	3,5
Диаметр отверстий для охлаждения, мм	4	6
Масса, кг	0,3...0,6	0,7...1,5

В систему входят прямые блоки (рис. 3.12, *а*) для закрепления инструмента для внутренней обработки и угловые блоки (рис. 3.12, *б*) для наружной обработки.

Прямые и угловые блоки выполнены с цилиндрическим хвостовиком для установки в револьверных головках с посадочными

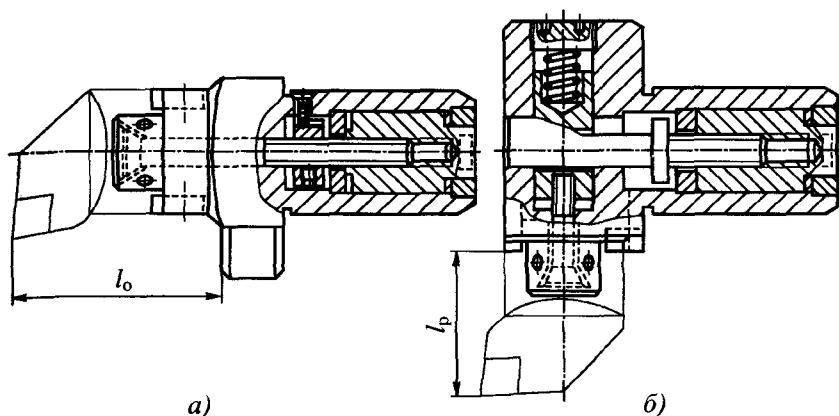


Рис. 3.12. Блоки системы МТХ:

а – прямой; б – угловой

диаметрами 40, 50 и 60 мм (см. главу 2). Прямые блоки одного посадочного диаметра имеют две длины, а угловые – две разные величины смещения от оси хвостовика.

Для автоматической замены инструмента в системе МТХ используются два типа захватов, которые позволяют менять инструмент, перемещаясь параллельно или перпендикулярно к его оси. Под действием гидравлического привода губки захватов перемещаются параллельно друг другу.

Небольшие габариты резцовых головок позволяют размещать их в магазинах с шагом 70...80 мм; вместимость магазинов – до 120 шт. Могут использоваться магазины палетного, барабанного, карусельного и дискового типов.

Рассмотренные системы инструмента практически не влияют на длительность цикла обработки, так как инструментальные магазины находятся вне рабочей зоны станка, а скорость перемещения манипулятора во всех системах примерно одинакова.

Наиболее перспективны инструментальные системы токарных станков унифицированные с системами для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп.

Инструментальная система «Widaflex» фирмы Widia (Германия). В качестве базовой поверхности элементов в этой системе

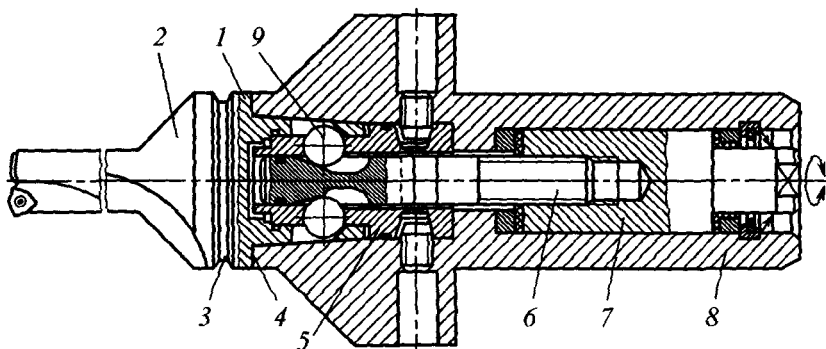


Рис. 3.13. Основные элементы инструментальной системы «Widaflex»

применяется конус конусностью 1:5. Резцовая головка 2 (рис. 3.13) имеет канавку 3 для захвата манипулятором устройства АСИ. После размещения конуса 1 резцовой головки 2 в коническом отверстии блока 8 по программе включается вращение гайки 7, в результате чего происходит ввинчивание резьбового конца тяги 6. Тяга 6, перемещаясь, своими скосами выталкивает из обоймы 5 шарики 9, которые входят в наклонные отверстия конуса 1. Конус 1 перемещается в коническом отверстии блока 8 до замыкания по торцу 4 с силой 2,5 кН. В результате затяжки конуса 1 обеспечивается передача крутящего момента 16 Н·м.

На рис. 3.14 общая схема системы «Widaflex», включающая базовые державки с цилиндрическими хвостовиками для токарных станков и с конусами 7:24 для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп. В базовых державках напрямую или через удлинители могут быть закреплены головки в номенклатуре, аналогичной номенклатуре системы резцов (см. главу 6), или расточные головки, оправки и патроны для обработки вращающимся инструментом. Концевые фрезы и сверла с СРП выполняются непосредственно с базовыми конусами конусностью 1:5. По данным фирмы, использование универсальной системы позволяет сократить число применяемого инструмента на ГПС на 25 %. В настоящее время системы KV и «Widaflex»

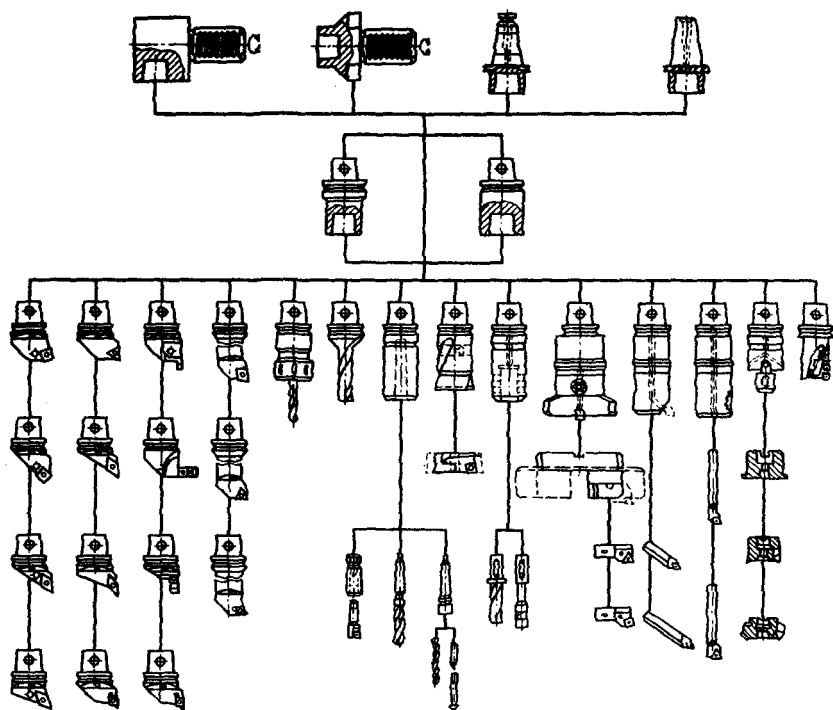


Рис. 3.14. Инструментальная система «Widaflex»

Инструментальная система «Coromant Capto» включает режущие головки с конусным хвостовиком, имеющим в сечении трехгранную форму с радиусными скруглениями (так называемый РК-профиль). Этими хвостовиками головки 1 (рис. 3.15, а) базируются в державках 2 и закрепляются тягой 3 с цангой 4. При перемещении тяги 3 цанга 4 взаимодействует с фигурной расточкой в хвостовике головки 1. Конусная часть тяги 3 разворачивает захваты цанги 4, которые упираются в расточку отверстия хвостовика головки 1. При дальнейшем перемещении тяги конус головки еще больше смещает захваты в радиальном направлении, головка подтягивается до упора своим торцом в торец втулки, хвостовик головки упруго деформируется. В результате обеспечивается же-

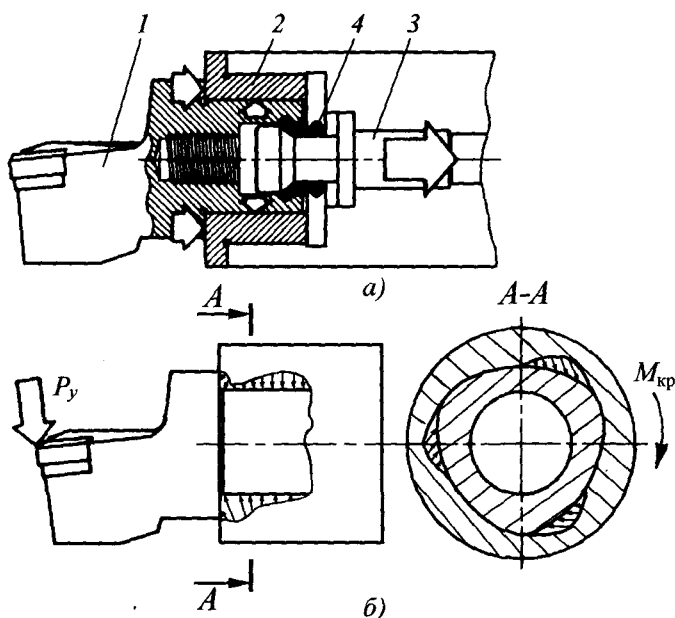


Рис. 3.15. Схема инструментальной системы «Coromant Capto»

сткое крепление головки и ее беззазорное центрирование с определенным натягом по поверхности базирования.

Принятая форма базовых поверхностей и схема крепления обеспечивает равномерное распределение напряжений при передаче крутящего момента $M_{кр}$ (рис. 3.15, б), повышенную жесткость при нагружении силой резания P_y .

В системе принят ряд базовых размеров хвостовиков для головок различных размеров: 32 мм (код С3), 40 мм (С4), 50 мм (С5), 63 мм (С6) и 80 мм (С8). Переходные элементы системы «Coromant Capto» позволяют стыковать ее с другими средствами крепления инструмента, ранее применяемыми в производстве.

В систему «Coromant Capto» входят также переходники с осевым и радиальным расположением базовых отверстий, в которых непосредственно или через переходники крепятся режущие головки, измерительные устройства и т.п. В условиях автоматизированного

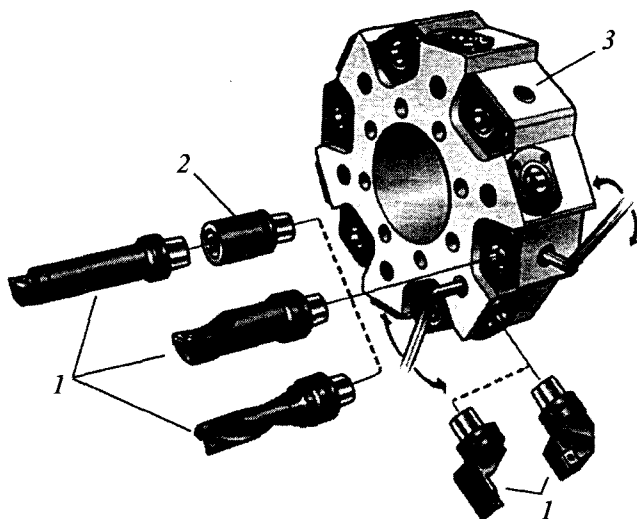


Рис. 3.16. Установка инструмента «Coromant Capto» в револьверную головку

производства все инструментальные блоки снабжают специальными кодирующими элементами для поиска в специальных автоматических магазинах с помощью единой системы идентификации CIS (Coromant Identification System) и программно-математического обеспечения «AutoTas». Все это обеспечивает управление процессом эффективного использования инструмента.

Режущие головки 1 могут устанавливаться в револьверную головку 3 непосредственно или через переходную втулку 2 (рис. 3.16). Возможна установка головок 1 в державках 2 с ручным закреплением (рис. 3.17), которые, так же, как и другие головки 1, устанавливаются в револьверных головках 3. При использовании инструмента «Coromant Capto» на станках сверлильно-расточной и фрезерной групп хвостовики державок 2 изготавливаются с конусами 7:24 или HSK (рис. 3.18). В них закрепляются головки 1, переходники 4 и оправки 5 для стандартного инструмента 6. Для автоматической смены головок 1 и переходников 2 предназначены специальные захватные поверхности на хвостовиках системы «Coromant Capto» (рис. 3.19).

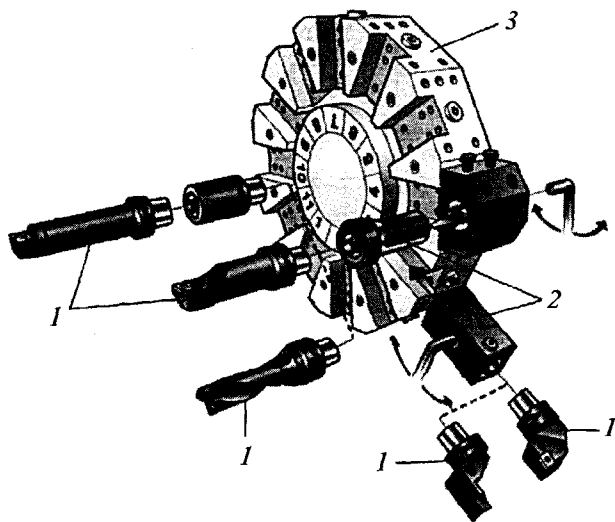


Рис. 3.17. Установка инструмента «Coromant Capto» в специальную револьверную головку

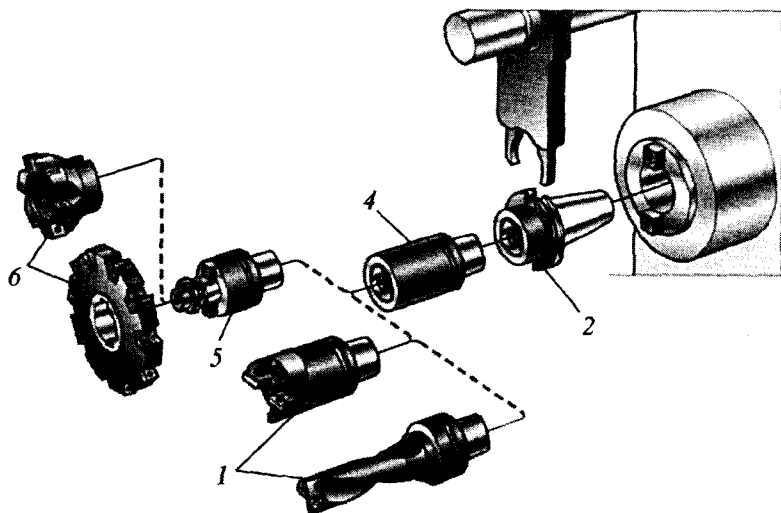


Рис. 3.18. Применение инструмента «Coromant Capto» на обрабатывающих центрах

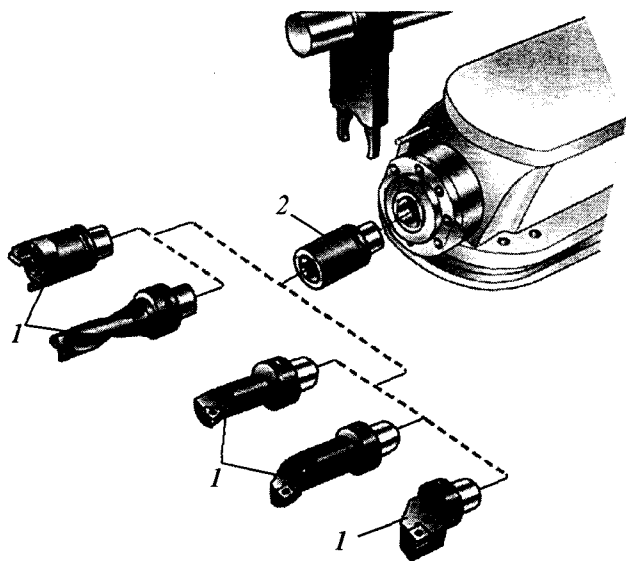


Рис. 3.19. Автоматическая смена инструмента «Coromant Capto»

Разработанные конструкции систем инструмента для станков с ЧПУ определяются его основными элементами – присоединительными поверхностями для крепления на станке и креплением режущего инструмента. Устройства, осуществляющие автоматическую смену инструмента и его крепление на станках, определяют конструкцию хвостовика. Основные требования к базированию и закреплению сменных наладок: надежность и точность крепления; экономичность изготовления хвостовика; простота конструкции и изготовления; широкая номенклатура оснащаемых станков и закрепляемого режущего инструмента.

На расточных станках ранее были распространены системы инструмента, основным элементом которой являлись конусы Морзе. В настоящее время они применяются только на тяжелых расточных станках с ручной заменой инструмента. Из-за больших затрат времени и усилий на раскрепление инструмента такие системы применяются все реже.

В ОАО «ВНИИинструмент» разработана инструментальная система (рис. 3.20) с базированием сменных наладок 7–14 и специ-

ального режущего инструмента по цилиндрической посадке в цанговых патронах 5 и 6. Сменные детали наладок: цанги 17, вставки 16 для крепления метчиков, а также сверлильные патроны 15 – служат для крепления стандартного инструмента с цилиндрическим хвостовиком. Оправки 2 и 3 предназначены для насадного инструмента, а втулки 4 – для стандартного инструмента с коническим хвостовиком.

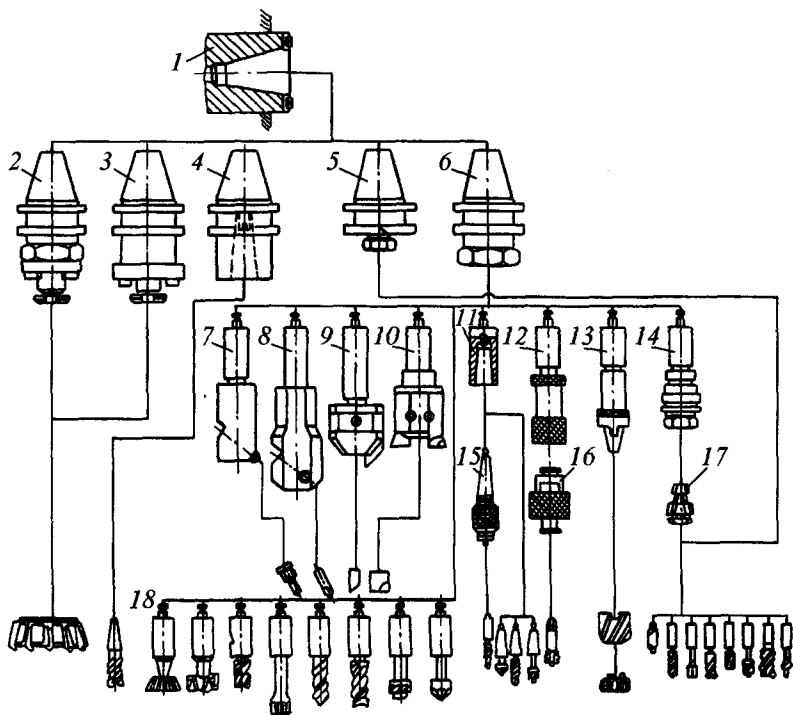


Рис. 3.20. Инструментальная система «ВНИИинструмент»:

- 1 – шпиндель станка с ЧПУ; цельный вспомогательный инструмент;
 2 и 3 – оправки для насадных фрез; 4 – втулки для насадных фрез;
 5 – патрон для осевого инструмента; базисный агрегат (цанговый патрон)
 6 и сменные наладки к нему: 7 – оправка с микрорегулировкой резца;
 8 – расточная оправка; 9 – оправка для снятия фасок; 10 – оправка двухлезвийная; 11 – втулка переходная; 12 – патрон для метчиков; 13 – оправка для насадных разверток; 14 – цанговый патрон; 15 – сверлильный патрон;
 16 – быстросменная вставка; 17 – цанга; 18 – режущий инструмент

Достоинством системы является высокая точность крепления специального режущего инструмента, что особенно важно для точного контурного фрезирования.

К недостаткам следует отнести необходимость применения большого количества специальных конструкций, что значительно удорожает стоимость системы.

В другой инструментальной системе (рис. 3.21), разработанной совместно ОАО «ЭНИМС» и ОАО «ВНИИинструмент», наоборот, сделана ставка на стандартный режущий инструмент.

В систему включены универсальные оправки 2 для насадных фрез и цанговые патроны 3 для крепления концевых фрез диаметром 20...40 мм. Переходные втулки обозначены для крепления инструмента с конусами Морзе 2–5.

Для чернового и чистового растачивания отверстий 50...180 мм служат однолезвийные оправки 6 для крепления стандартных державочных резцов и оправки 7 с гнездами под расточные вставки с микрометрическим регулированием.

В качестве базисного агрегата, закрепляемого в шпинделе 1, применены державки 5 с цилиндрическими посадочными отверстиями 36 и 48 мм, в которых винтами закрепляются цилиндрические хвостовики сменных наладок. В числе стандартных сменных наладок: цанговые патроны 8 для стандартного режущего инструмента диаметром 3...20 мм; переходные втулки 9 и 10; оправки 11 для насадных зенкеров и разверток; патроны 12 для метчиков; расточные оправки 13 для растачивания отверстий диаметром 22...80 мм; оправки 14 перовых сверл; оправки 15 для дисковых и прорезных фрез и расточные патроны 16 для точного растачивания отверстий диаметром 2...50 мм резцами с цилиндрическими хвостовиками.

Недостатком этой системы является большое количество промежуточных элементов, что снижает

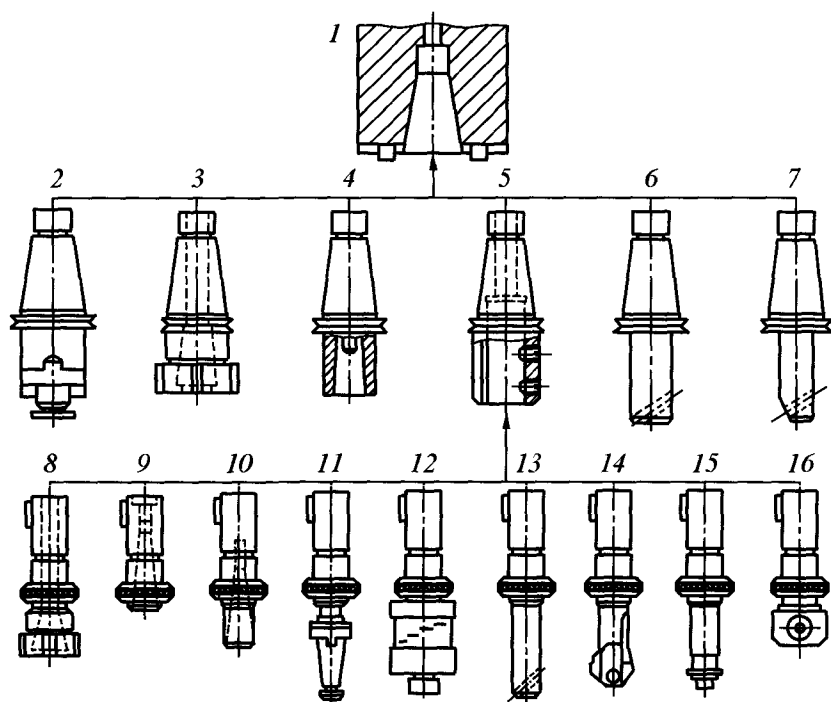


Рис. 3.21. Система инструмента со сменными наладками для базирования и закрепления в базисном агрегате по цилиндрическому соединению с односторонним натягом: 1 – шпиндель станка; цельный вспомогательный инструмент; 2 – оправка для торцовых фрез; 3 – цанговый патрон; 4 – втулка с конусом Морзе; 6 и 7 – расточные оправки; базисный агрегат 5 и сменные наладки к нему: 8 – цанговый патрон; 9 и 10 – короткая и длинная втулки с конусом Морзе; 11 – оправка для насадных разверток; 12 – патрон для метчиков; 13 – расточная оправка; 14 – оправка первого сверла; 15 – оправка для расточных блоков; 16 – расточный патрон

Ивановским заводом тяжелого станкостроения разработана инструментальная система (рис. 3.22) с насадными сменными наладками, присоединительные поверхности которых стандартизованы и унифицированы с креплением насадных торцовых и фрез 11.

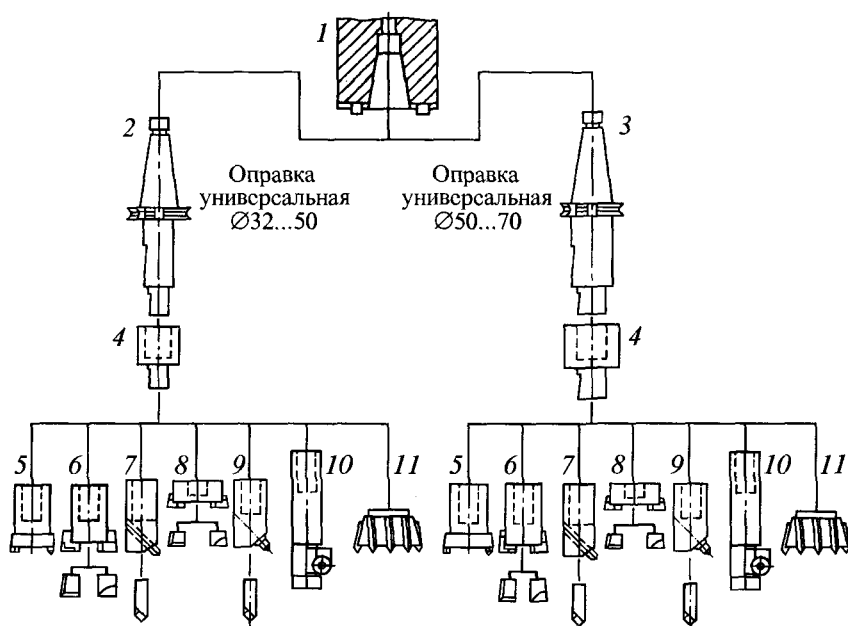


Рис. 3.22. Система инструмента с базированием сменных наладок на внутреннюю цилиндрическую поверхность

Универсальные оправки 2 и 3 с удлинителями 4 служат для закрепления в шпинделе 1 расточных двузубых головок 6 и 8, головок 7 для чернового растачивания и «микробов» 9. Для высверливания в литье больших отверстий применяют кольцевые сверла 5; обратные торцы отверстий обрабатывают подрезным инструментом 10.

Недостатками этой системы являются большие габариты сменных наладок и переходников, а также низкий уровень унификации с инструментом для других типов оборудования.

Приведенный анализ

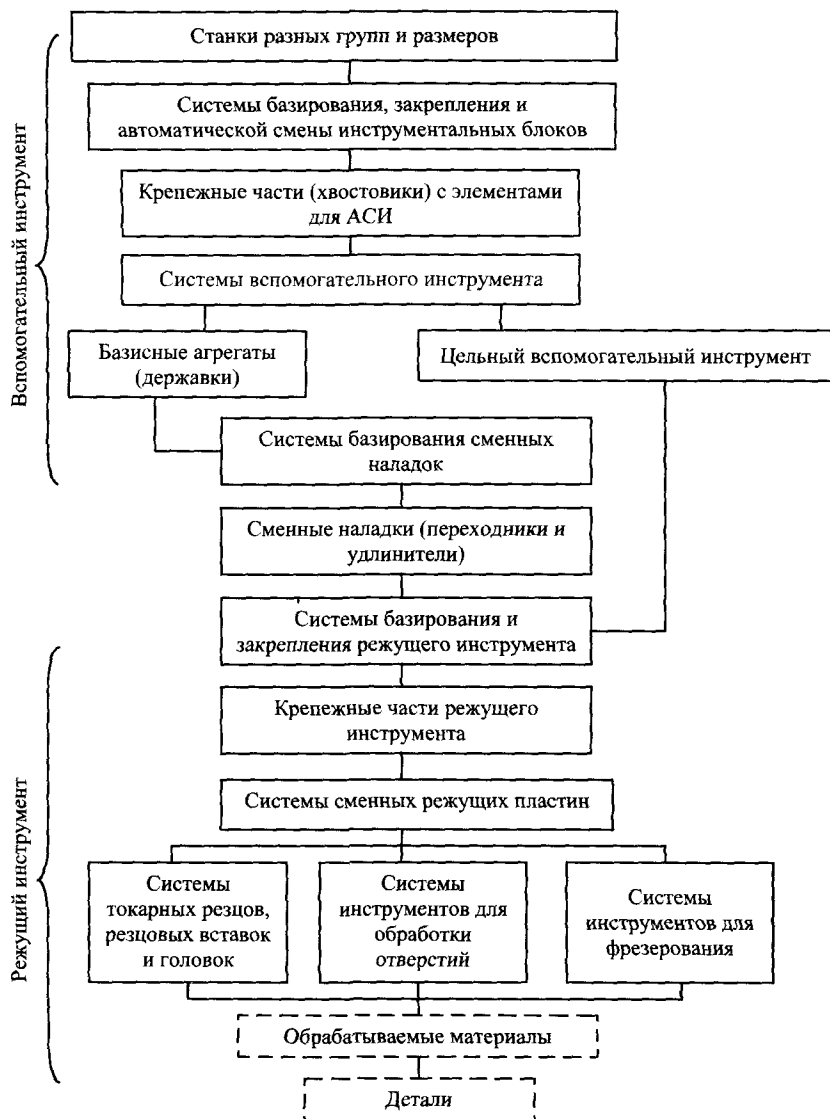


Рис. 3.23. Обобщенная схема инструментальной системы

3.2. Морфологический анализ систем

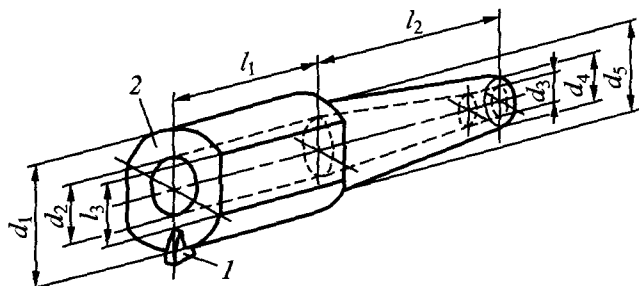
Как следует из анализа существующих инструментальных систем, у одних видов инструментов крепежная часть явно выражена и отделена от рабочей части, у других – крепежная часть объединена с рабочей частью.

Для неподвижного инструмента крепежную часть делают в виде стержня круглого или фасонного сечения. При вращательном главном движении инструмента крепежную часть выполняют в виде посадочного отверстия у насадных цилиндрических инструментов или в виде хвостовика у хвостовых режущих инструментов. Хвостовые инструменты имеют крепежную часть в виде цилиндрического или конического хвостовика.

Перечисленные элементы могут быть представлены на обобщенной модели режущего инструмента, учитывающей все возможные системы базирования и закрепления.

Этот инструмент может производить как вращательные, так и прямолинейные движения и состоит из элементарных резцов.

Обобщенный режущий инструмент имеет пять типов поверхностей базирования: плоскую, наружную цилиндрическую, внутреннюю цилиндрическую, наружную коническую и внутреннюю коническую (рис. 3.24), что обеспечивает любые варианты закрепления режущего инструмента во вспомогательном инструменте или непосредственно на станке.



3.4. Поверхности базирования инструмента

№ типа	Тип режущего инструмента	Характеристика поверхности базирования
1	Инструменты с плоскими наружными поверхностями базирования (резцы и др.)	$l_2 = 0; d_1 = 0$
2	Инструменты с наружными цилиндрическими поверхностями базирования (сверла, фрезы и др.)	$l_2 = l_3 = 0; d_2 = 0$
3	Инструменты с внутренними цилиндрическими поверхностями базирования (фрезы, головки и др.)	$l_2 = 0; d_3 = 0$
4	Инструменты с наружными коническими поверхностями базирования (сверла, фрезы и др.)	$l_1 = 0; d_1 = d_3 = 0$
5	Инструменты с коническими внутренними поверхностями базирования (развертки, зенкеры и др.)	$l_1 = 0; d_2 = d_4 = d_5 = 0$
6	Инструменты с наружными цилиндрическими поверхностями базирования с плоской поверхностью (фрезы и др.)	$l_2 = 0; d_2 = 0$

Переход от обобщенного инструмента к конкретным конструкциям через определение принятой поверхности базирования осуществляется по табл. 3.4.

Обобщенный режущий инструмент можно установить на станке с помощью соответствующей системы базирования и закрепления.

На рис. 3.25 представлены реальные системы базирования и закрепления инструмента. На рис. 3.2

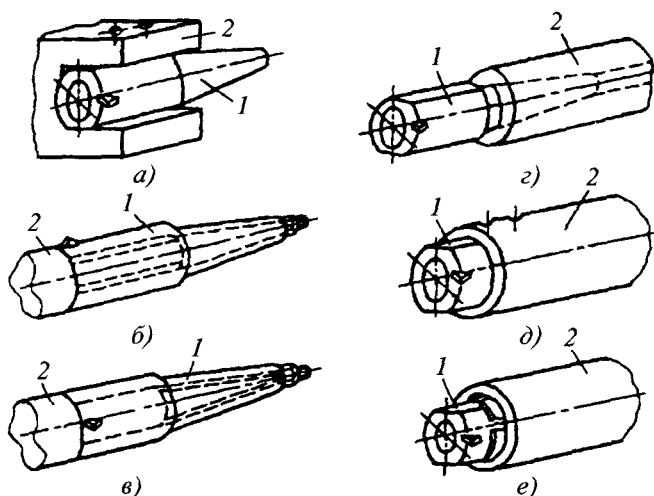


Рис. 3.25. Системы базирования и закрепления инструмента:

1 – обобщенный режущий инструмент;

2 – обобщенный вспомогательный инструмент

отверстии; на рис. 3.25, д – установка концевой инструмента с цилиндрическим хвостовиком и плоской лыской в цилиндрическом отверстии с односторонним расположением крепежных элементов; на рис. 3.25, е – установка хвостового инструмента с цилиндрическим хвостовиком с помощью самоцентрирующих элементов.

