

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Москва, 2018

Оглавление

| | |
|--|----|
| 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГПС..... | 3 |
| 2. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ | 11 |
| 3. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ..... | 17 |
| 4. СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИБКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ | 24 |
| 5. НАДЕЖНОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ | 32 |
| РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ И ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МАТЕРИАЛА Ы НА ПРОИЗВОДСТВЕ..... | 44 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 44 |

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГПС

Использование высокопроизводительного оборудования ГПС является одним из основных направлений совершенствования механической обработки резанием в машиностроении. Под ГПС понимается совокупность оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных модулей (ГПМ) и систем их обеспечения и функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

Основой ГПС является гибкий производственный модуль ГПМ. Он представляет собой автономно функционирующую единицу технологического оборудования с программным управлением, автоматически осуществляющую производство изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах изменения их параметров. Конструкция ГПМ обязательно должна иметь возможность встраивания в ГПС.

ГПМ состоит из:

- **станка** — системы приводов, обеспечивающей заданную на операцию кинематическую схему обработки;
- **приспособлений** — устройств, включающих манипуляторы и роботы, служащие для подачи, установки и закрепления деталей;
- **инструментальной системы** — элемента обрабатывающей системы, обеспечивающей рабочий процесс резания изготавливаемой детали в заданной операционной последовательности установленным набором инструментов;
- **устройства подачи технологической среды**, в том числе включает гидросистему, обеспечивающую подвод смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания; системы контрольных, измерительных и регулирующих устройств, управляющих работой всей обрабатывающей системы и обеспечивающей единое целенаправленное функционирование всего ГПМ.

Технология машиностроения применяет разнообразные рабочие процессы — литье, сварку, отработку давлением и др. Среди них одним из основных является процесс резания. Он представляет собой метод получения детали заданной формы, размеров, точности, качества поверхности посредством снятия с заготовки заданного слоя металла. Таким образом обработка резанием обеспечивает формообразование деталей, основанное на отделении части материала от заготовки; для этого могут использоваться все возможные виды воздействия — механическое, тепловое, электромагнитное, химическое.

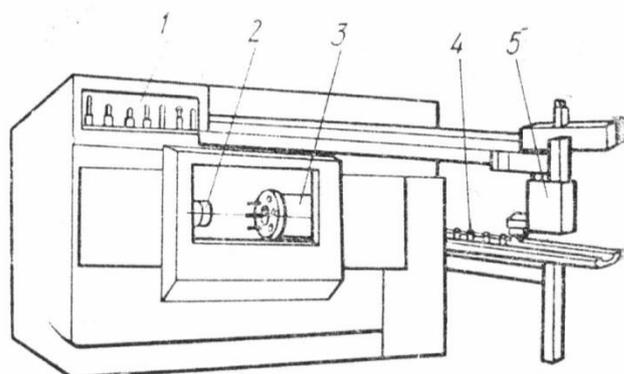
Особо эффективными становятся комбинированные методы обработки, совмещающие виды воздействия, например лазерно-механическая обработка. Единым элементом любого метода резания является организованное разрушение поверхности обрабатываемого материала. Методической основой рационального осуществления данного метода обработки является такая схема «нагружения», при которой процесс протекает с наименьшими энергозатратами при обеспечении заданных на выполняемую операцию технических ограничений по качеству изготавливаемой детали.

Инструмент является элементом обрабатывающей системы, взаимодействие которого с заготовкой обеспечивает снятие припуска. Инструмент непосредственно взаимодействует с заготовкой так, что изменяются ее размеры, форма и физико-химические свойства поверхностного слоя. Он должен обрабатывать одну или несколько поверхностей заготовки с максимальной производительностью или экономической эффективностью. При этом должны соблюдаться заданные на операцию технологические ограничения, прежде всего по точности обработки и качеству поверхности. Методы проектирования инструмента должны разрабатываться в соответствии с методами проектирования всей обрабатывающей системы и операции в целом.

В настоящее время при формировании ГПС чаще всего используются в качестве ГПМ многоцелевые станки с программным управлением, а также РТК. Они представляют собой единую систему технологического оборудования и промышленного робота, автономно функционирующую и осуществляющую многократные циклы, необходимые для изготовления установленной номенклатуры изделий. При создании ГПМ и РТК, кроме типового инструмента; широко используют инструментальные системы, их основными узлами являются:

- 1) собственно инструменты, необходимые для выполнения заданной операции;
- 2) магазин для их размещения на станке;
- 3) устройства для подачи инструмента на рабочую позицию станка и замены износившегося.

При выполнении операции технологического процесса на многоцелевом станке установка необходимого инструмента осуществляется по команде системы ЧПУ из инструментального магазина; магазин имеет до 50—100 типоразмеров инструментов.



ГПМ на базе токарного станка (рис. 1) осуществляет обработку заготовок резанием. Заготовки в патрон 2 подаются из лотка 4 роботом 5. Револьверный барабан 3 заполняется инструментами тем же роботом из магазина 1. Система обеспечения функционирования ГПС разделяется на ряд систем, среди них основными являются: автоматизированная система

Рис. 1. Гибкий производственный модуль на основе токарного станка

инструментального обеспечения (АСИО); автоматизированная транспортно-складская система (АТСС); система автоматизированного контроля (САК); автоматизированная система удаления отходов (АСУО); автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) является составным элементом автоматизированной системы управления (АСУ) машиностроительным производством (рис. 2) и представляет собой комплекс [4], состоящий из центральной ЭВМ, ЭВМ, управляющих работой ГПС, а также мини-компьютеров и связанных с ними микропроцессоров.

Управляющие программы и математическое программное обеспечение согласовывает все действия перечисленных выше систем.

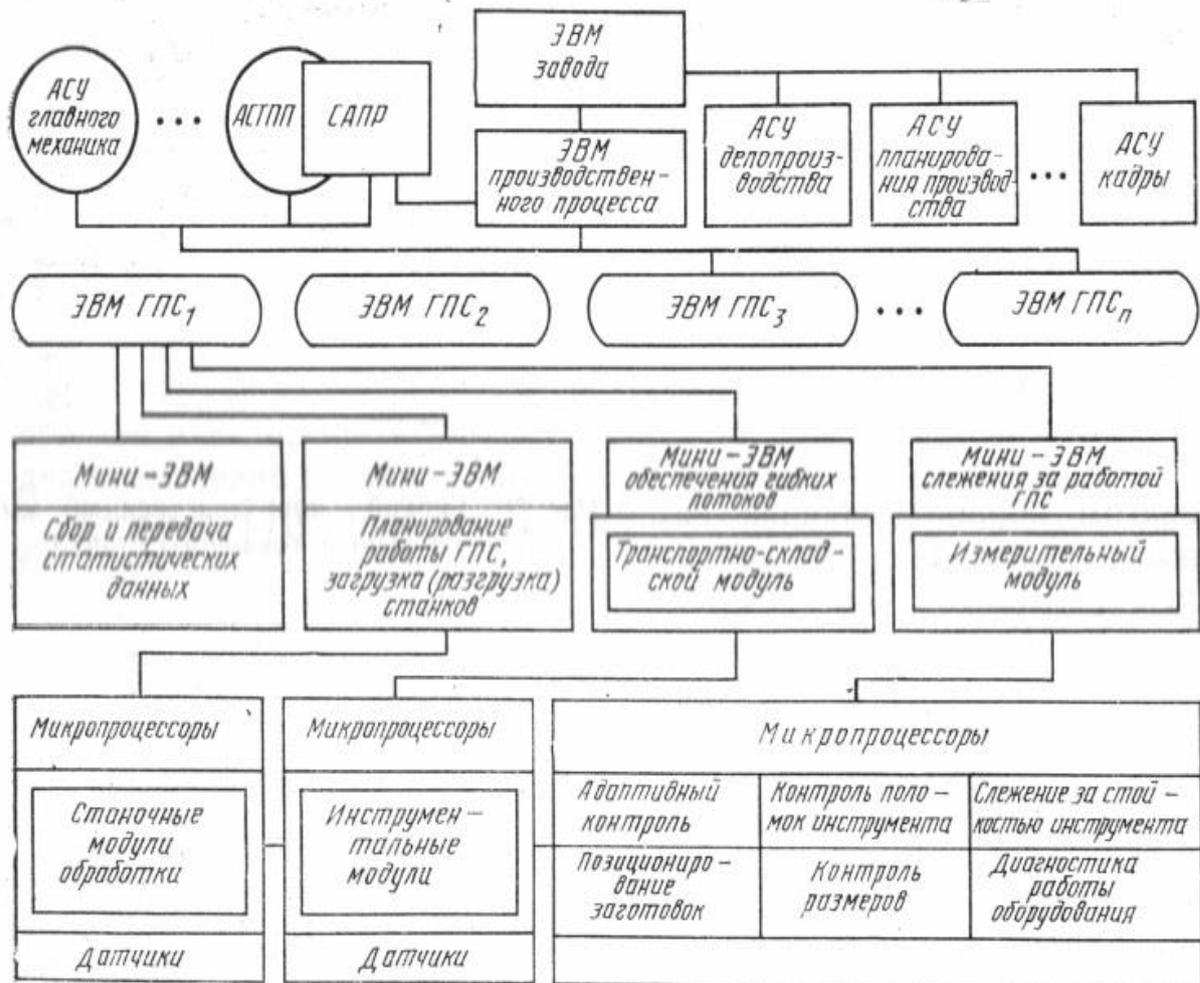


Рис. 2. Автоматизированная система управления (АСУ)

Типовая ГПС (рис. 3) включает следующие элементы: многоцелевой станок 1, инструментальный магазин с устройством автоматической подачи инструмента в шпиндель станка 2; устройство, считывающее код инструмента 3; устройство рециркуляции охлаждающей эмульсии и конвейер для удаления стружки 4; устройство, определяющее состояние инструмента 5; автоматически управляемую тележку-робот 6; считывающее устройство кода паллеты 7; конвейер с паллетами 8; код паллеты 9; станцию загрузки-разгрузки паллет с заготовкой 10; паллету, несущую приспособление с закрепленной в нем заготовкой (деталью) 11; машину для смены многошпиндельных агрегатных головок 12; числовое программное управление 13; электроаппаратуру и панель управления электродвигателя станков 14; микропроцессор 15 для автоматического измерения размеров детали.

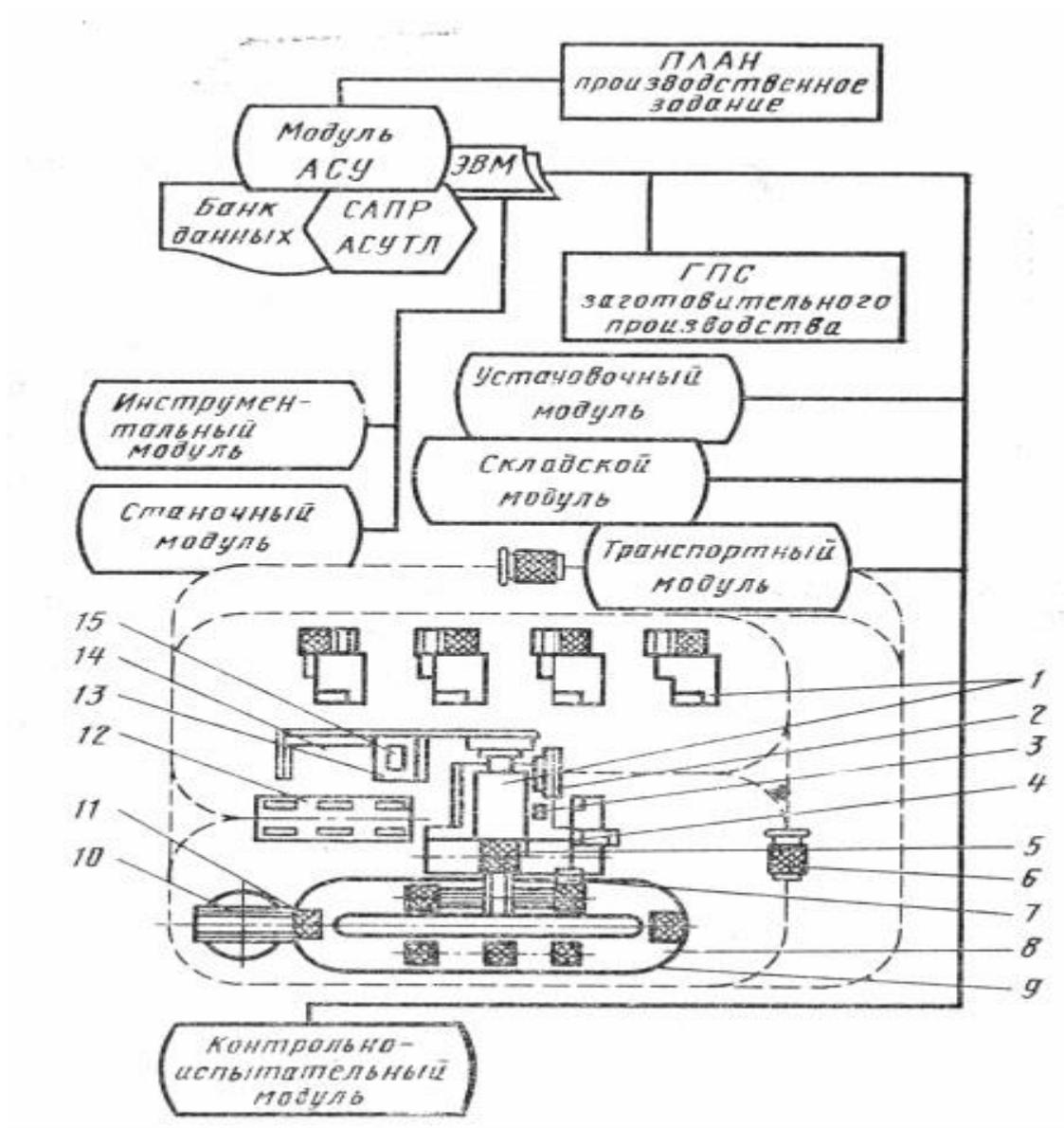


Рис. 3. Структурная схема ГПС на базе многоцелевого станка типа обрабатывающий центр (ОЦ)

Автоматизированная система инструментального обеспечения, охватывающая все инструментальное хозяйство (АСИО), является обязательным элементом ГПС.

Инструментальный модуль представляет собой самостоятельный агрегат, включающий:

- режущий и контрольно-измерительный инструмент необходимой номенклатуры и типоразмеров;
- специальные инструментальные наладки (многоинструментные блоки), а также сменные инструментальные магазины; приборы или приспособления для предварительной наладки типового инструмента и многоинструментных блоков вне станка;
- транспортные системы доставки инструмента к рабочим позициям и обратно — к магазинам (обычно для этой цели применяют манипуляторы и роботы).

Инструментальное обеспечение ГПС включает также центральный инструментальный склад, обеспечивающий инструментом технологическое оборудование путем его автоматического складирования, систематического учета и подачи.

Контрольно-измерительный модуль ГПС выполняет три основные задачи:

- контроль качества заготовки, установление фактических величин припусков под обработку и равномерности их распределения, твердости материала, а также точности установки заготовки в приспособлении;
- определение качества поверхности обработанных деталей, их соответствия заданной точности изготовления;
- текущий контроль за состоянием инструмента (величиной его износа, степенью разрушения); учет ресурса применяемого инструмента и его замену дублером.

Наибольшее распространение для этих целей получили контрольно-измерительные машины с системой щупов для измерения первой обработанной детали. Более совершенными являются измерительные системы, обеспечивающие автоматическую поднастройку инструмента на размер непосредственно на станке. Для этой цели используют, например, автоматические устройства, имеющие один или несколько щупов-сенсоров. Перемещение щупа осуществляется по программе, обеспечивающей 'периодический контроль положения режущей кромки и размеров обрабатываемых поверхностей. Точность размеров готовых деталей обеспечивается в пределах 6... 10 мкм.

На современных ГПС используют в первую очередь простые устройства самодиагностики, состоящие из счетчиков циклов, приборов отсчета времени, панели-табло адресатов команд на срабатывание устройств в соответствии с запрограммированной очередностью смены инструмента. Результаты диагностики состояния инструмента выводятся на дисплей. Система самодиагностики повышает надежность эксплуатации инструмента благодаря определению отказов, причин их возникновения, устранению неисправностей обрабатываемой системы.

Автоматическая технологическая диагностика обеспечивает полный комплекс измерений, необходимых для обеспечения заданного качества деталей и наиболее эффективной эксплуатации ГПС. Система диагностики выполняет: автоматическую регистрацию и сбор данных; диагностику состояния станка, инструмента и детали в процессе ее обработки; коррекцию и ввод их в управляющую программу и своевременную остановку процесса. Анализ накопленных данных (причин, методов устранения сбоев, отказов) дает возможность выработать рекомендации и принять решения о необходимости последующих действий для выполнения заданных для ГПС задач.

Типовой конструкцией инструментального магазина является магазин типа «корона» (рис. 4). В процессе обработки захватное устройство поворачивается и подает необходимый инструмент на позицию свободной ячейки, где он перемещается в горизонтальное положение. Одновременно шпиндель станка, несущий для обработки инструмент, поднимается вверх (рис. 4, а).

Затем автооператор поворачивается на 90°, берет уже использованный инструмент и, выдвигаясь на своей оси вперед, вынимает его из гнезда (рис. 4, б). После этого автооператор совершает повторный поворот, но уже на 180°; при этом меняет инструмент местами и, возвращаясь назад к месту обработки, подает инструмент в гнездо шпинделя и магазина (рис. 4,

в). Многоцелевой станок, используя магазин подобного типа, позволяет осуществить заданную операционным технологическим процессом обработку заготовки, установленной на рабочем столе. Применение такого технологического оборудования при высокой степени концентрации операции, ее автоматизации обеспечивает резкое сокращение вспомогательного времени; при этом производительность обработки повышается в 3—4 раза.

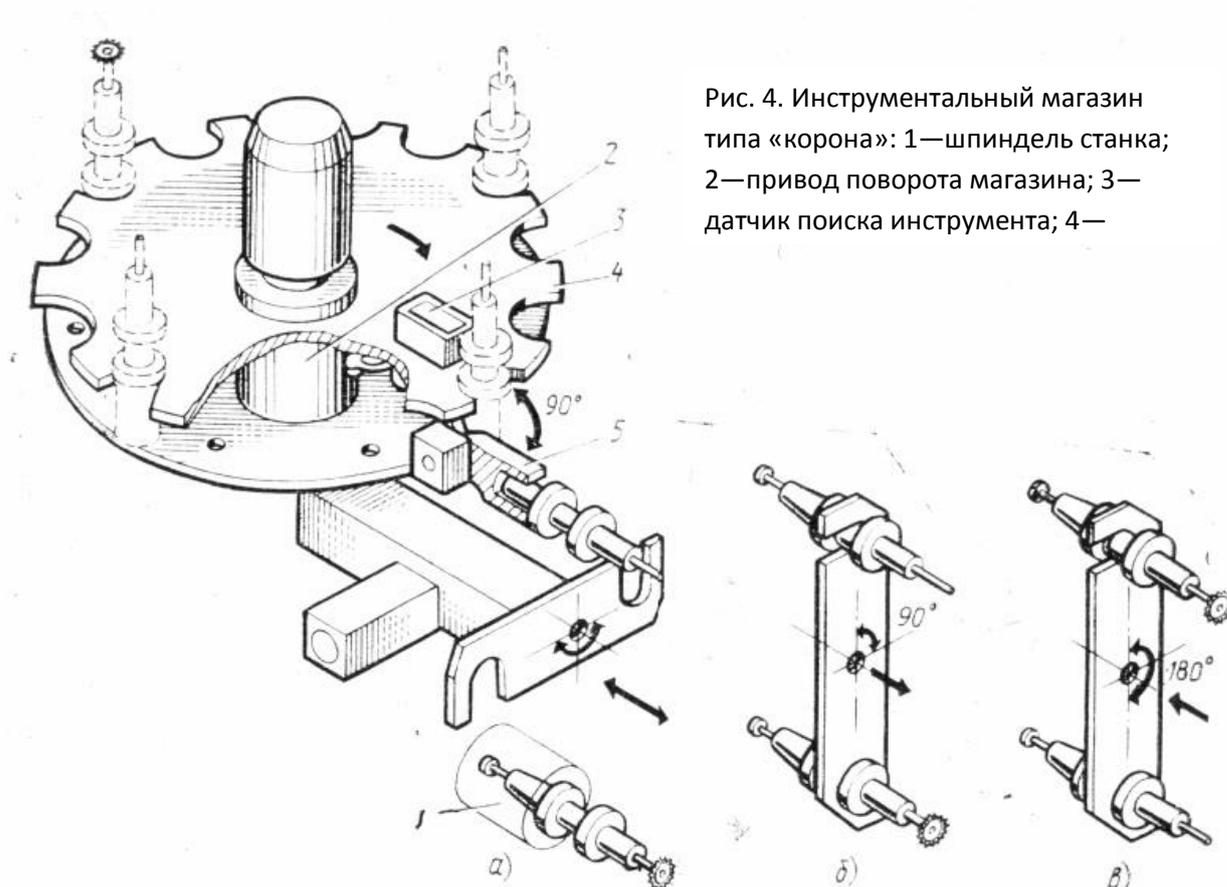


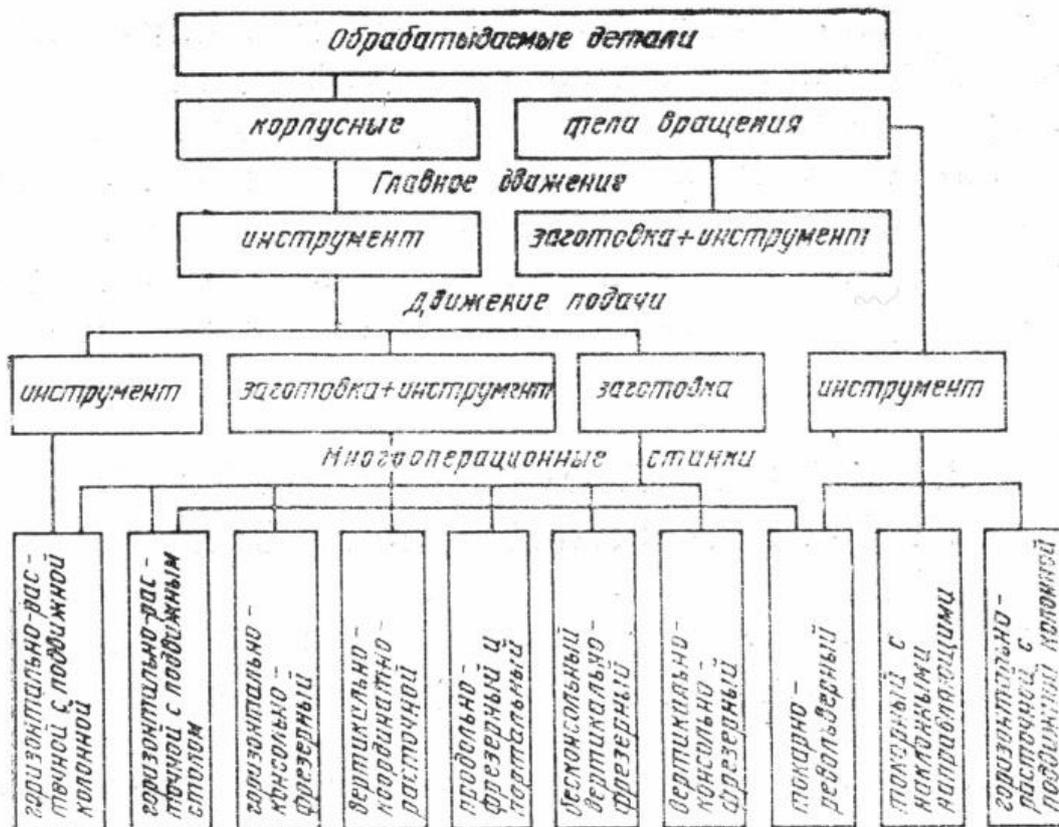
Рис. 4. Инструментальный магазин типа «корона»: 1—шпиндель станка; 2—привод поворота магазина; 3—датчик поиска инструмента; 4—

Многоцелевые станки с программным управлением обычно используют для изготовления корпусных деталей и деталей типа тел вращения. Внедрение таких станков позволяет перейти на малооперационные технологические процессы. Основной объем обработки осуществляется на одном рабочем месте при одном закреплении детали.

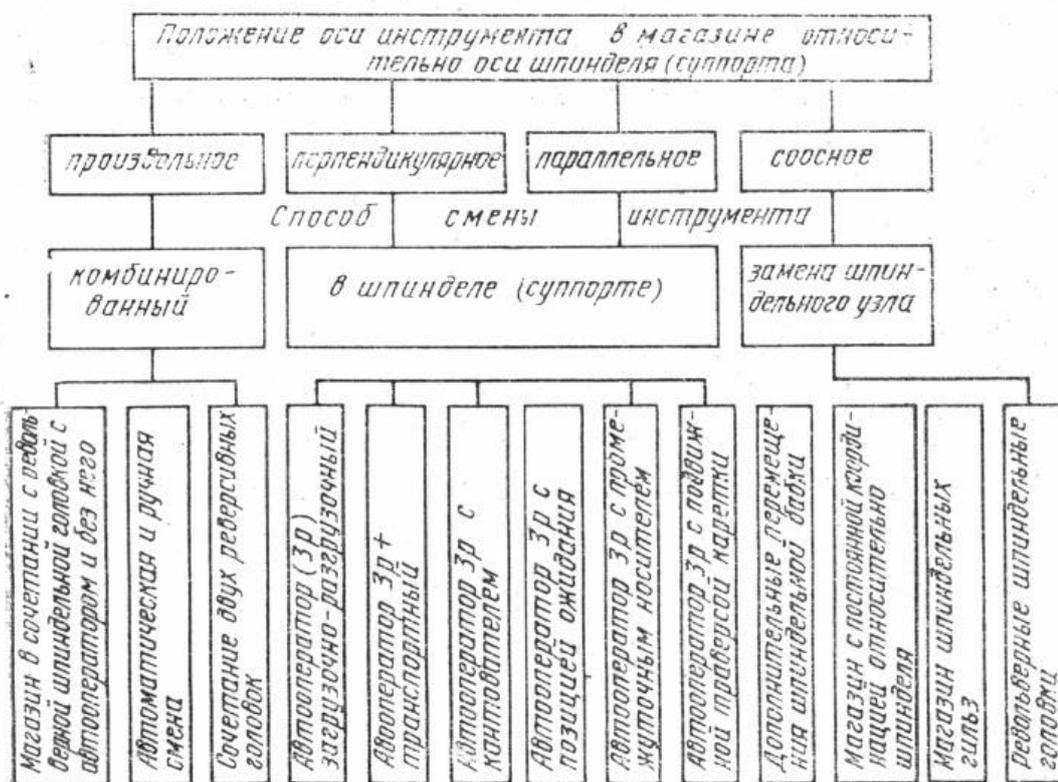
Технологической основой рационального проектирования ГПС является применение групповых технологических процессов.

Инструментальную систему конструируют в тесном соответствии со всей обрабатываемой системой многоцелевого станка. Основными исходными данными для проектирования инструментальной системы являются: положение оси инструмента в магазине относительно оси шпинделя, тип механизма смены и положение шпиндельной бабки (суппорта) при смене инструмента. При этом учитывают конструкцию инструментального магазина и его расположение на станке. Инструментальные системы многоцелевых станков классифицируют по приведенным трем основным признакам. На первом этапе проектирования инструментальной системы в зависимости от типа обрабатываемой детали (корпусная или деталь типа тела вращения) выбирают виды главного и вспомогательного движений, осуществляющих необходимые скорость резания и движение подачи. В соответствии с этим находят тип многоинструментной наладки, т. е.

кинематическую схему обработки заготовки (рис. 5, а). Однорежимная наладка характеризуется работой всех инструментов при постоянных значениях минутной подачи и скорости резания.



а)



б)

При одновременной обработке в заготовке нескольких отверстий применяют одноподачную наладку; в этом случае инструменты работают при различных скоростях резания и одинаковой подаче. Напротив, на ряде операций, например при точении, используют односкоростные инструментальные наладки; в этом случае скорость резания всех инструментов неизменна, а значения их подач различны. На втором этапе проектирования инструментальной системы (рис. 5, б) определяют рациональную компоновку многоцелевого станка: положение оси инструмента в магазине относительно оси шпинделя или направления движения суппорта. Третий этап проектирования инструментальной системы определяет механизм смены инструмента, (рис. 5, в), в том числе способ фиксации шпинделя или суппорта в момент их смены, месторасположение и тип инструментального магазина.

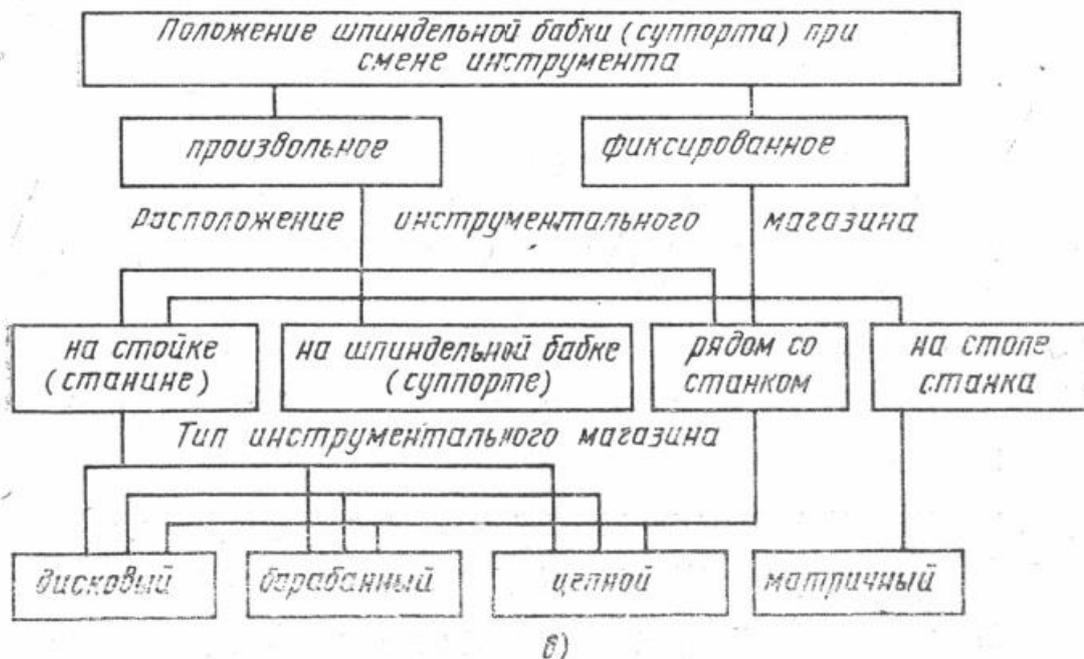


Рис. 5. Классификация инструментальных систем

Методика назначения оптимальных режимов резания определяет эффективность эксплуатации инструментальных систем ГПС. Наиболее распространенные виды обработки на ГПС — сверление, фрезерование и растачивание. Для их выполнения расчет технических характеристик оборудования производится на основе нормативов режимов резания. Так, значения максимальной эффективной мощности определяют из условий черновой обработки корпусных деталей твердосплавными фрезами, значение максимального крутящего момента — при обработке такими же фрезами корпусных деталей из чугуна. Минимальную частоту вращения шпинделя рассчитывают из условия развертывания отверстий быстрорежущей разверткой в деталях из чугуна и твердосплавной разверткой в деталях из стали, максимальную частоту вращения шпинделя — из условия чистового растачивания отверстий резцами из синтетических сверхтвердых материалов в корпусных деталях из алюминия. Предельные значения подач находят из условий чистовой обработки отверстий твердосплавным резцом в заготовках из жаропрочных сталей (минимальная величина подачи) и резцом из керамики в заготовках из чугуна (максимальная величина подачи).

2. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Инструментальная система ГПС состоит из трех агрегатов:

- 1) комплекта инструментов для выполнения конкретной операции;
- 2) устройств для подачи заготовки на рабочую позицию и удаления ее после окончания обработки;
- 3) магазина для размещения инструмента.

Современные конструкции ГПС все чаще оснащают средствами контроля износа инструментов, устройствами для автоматического регулирования их положения, а также системами активной диагностики состояния режущей кромки инструмента в процессе обработки. Наличие таких средств контроля позволяет перейти от обычных методов резания к наиболее перспективным — автоматически регулирующим и адаптивным обрабатывающим системам. Во всех случаях исходными для проектирования инструментальной системы являются структурные схемы технологической системы.

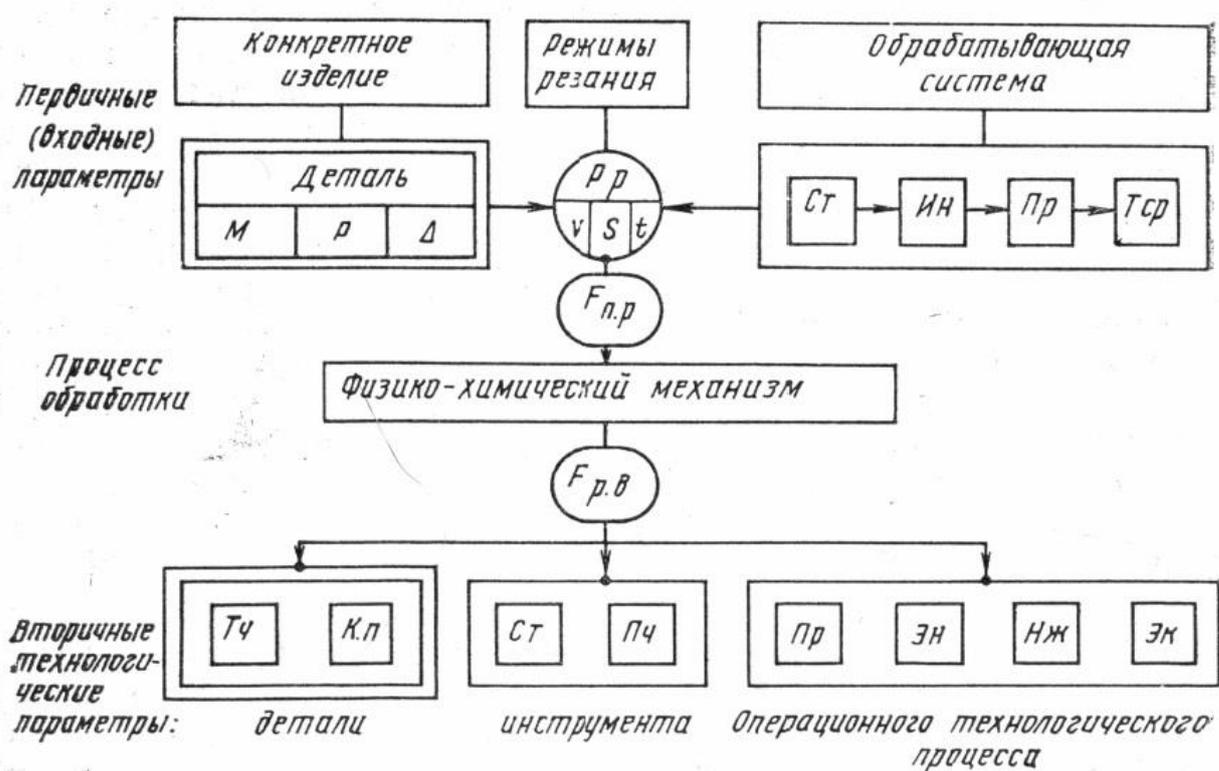


Рис. 6. Структурная схема технологической системы

Технологическая система операции (рис. 6) описывается в виде структурной схемы; она представляет совокупность регулируемых первичных параметров детали, режимов резания и обрабатывающей системы (станок — инструмент — приспособление — технологическая среда) и вторичных (технологических) параметров. Взаимосвязь между первичными и вторичными параметрами осуществляется физико-химическим механизмом резания. Функция $F_{п.р}$ определяет

взаимосвязь первичных параметров и процесса резания, функция $F_{p,v}$ — процесса резания и вторичных параметров.

Структурная схема технологической системы устанавливает взаимосвязь между исходными первичными параметрами, задаваемыми конструктором (материал **М** и размеры **р** обрабатываемой детали, снимаемый припуск **Δ**) и технологом (станок **Ст**, инструмент **Ин**, приспособление **Пр**, технологическая среда **ТСР**, а также режимами резания **Рр**), и вторичными (технологическими) параметрами, определяющими результаты механической обработки. К ним относятся:

- а) эксплуатационные характеристики изготовленной детали, в том числе точность обработки **Тч** и качество поверхности **Кп**;
- б) показатели работы инструментальной системы — стойкость **Ст** и прочность инструмента **Пч**;
- в) параметры операционного технологического процесса — производительность **Пр**, энергоёмкость **Эн**, надёжность **Нж**, экономичность **Эк**.

При проектировании операции параметры детали, ее материал **М**, размеры **р**, припуск **Δ**, а также необходимая точность **Тч** и качество поверхности **Кп** заранее заданы. Поэтому на их значения накладываются ограничения; они показаны на структурной схеме в двойной раме. Все остальные параметры технологической системы оптимизируются.

Обычные технологические системы обработки используют разомкнутые структурные схемы; они описывают последовательность первичные параметры → процесс резания → вторичные технологические параметры; системы обратных связей не имеют. Наиболее часто системы представляют собой совокупность управляемого объекта — процесса резания и управляющего устройства, изменяющего режимы резания. В этом случае входные параметры представляют собой совокупность обрабатываемой системы и детали, связанную (см. рис. 6) между собой режимами резания **Рр**: скоростью v , подачей S и глубиной t резания. Процесс резания можно рассматривать как механизм системы регулирования, связывающий первичные (входные) параметры и получающиеся в результате обработки вторичные (технологические) параметры. Технологическая система представляет общепринятую схему проектирования инструмента. Исходными данными для создания инструмента являются уже заданные технологом параметры системы: модель станка, тип приспособления, вид технологической среды и параметры обрабатываемой заготовки.

На ряде этапов развития машиностроения конструкция режущего инструмента оказывала решающее влияние на конструкцию металлорежущих станков и технологию механической обработки. Более полная методика проектирования инструмента строится с учетом взаимного влияния всех элементов обрабатываемой системы. Так, создание инструментов новых типов, например твердосплавных или инструментов, оснащенных синтетическими сверхтвердыми материалами, потребовало проектирования новых типов станков и приспособлений, обеспечивающих форсированные режимы резания и значительное сокращение времени замены инструмента. Разработка станков новых типов, осуществление механической обработки на автоматах и автоматических линиях потребовали создания новых конструкций инструментов, отвечающих требованиям автоматизированного производства — быстроты, взаимозаменяемости и возможности его предварительной настройки.

Совершенствование конструкций машин оказывает непосредственное влияние на создание качественно новых методов обработки и конструкций инструментальной оснастки. Так, например, создание высокоэнергетических реактивных двигателей поставило технологические проблемы — создание средств резания труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов и изготовление принципиально новых деталей. Первая проблема привела, например, к разработке конструкций инструментов для вибрационной и ротационной обработки, вторая — к созданию электромеханических методов обработки лопаток двигателей сложной аэродинамической формы. В свою очередь создание инструментов новых типов оказывает влияние на конструкцию деталей машин. Так, появление и широкое распространение в машиностроении шлицевых соединений стало возможным благодаря созданию инструмента, для обработки протягиванием.

В мировой практике в последние годы взят курс на широкое применение специализированного инструмента для изготовления типовых деталей машин. Это приводит к усложнению конструкций инструментов и значительному их удорожанию. Это вызывает необходимость проведения научно-инженерных разработок по освоению типовой специализированной инструментальной оснастки для деталей, изготавливаемых из наиболее применяемых конструкционных материалов. К этой же категории технических разработок следует отнести создание машиностроительных материалов, обладающих существенно лучшей обрабатываемостью резанием. Так, например, в СССР и за рубежом разработаны стали с крайне малыми добавками свинца и серы, что позволяет, не изменяя их эксплуатационных свойств, резко повысить производительность обработки.

Разомкнутые схемы обработки резанием работают как системы одностороннего действия, так как управляющее воздействие на процесс резания и вторичные параметры поступают только от первичных параметров. Обратная связь информирует оператора о протекании процесса, например о состоянии износа режущей кромки инструмента или отдельных физических параметрах процесса резания (силы резания и температуры). Объектами регулирования являются все первичные параметры, каждый из которых может быть использован для оптимизации процесса резания. Однако в первую очередь в качестве регулятора процесса резания используют режимы резания.

Обработка на оптимальных режимах резания обеспечивает наиболее производительное и экономичное формообразование с выполнением заданных ограничений как первичных параметров, так и вторичных (точность, качество поверхности). Увеличение скоростей резания приводит не только к повышению производительности, но и к улучшению энергетических показателей обработки. Так, например, производительность процесса резания из расчета на 1 кВт расходуемой мощности при фрезеровании заготовок из алюминия в обычном диапазоне скоростей резания $v = 130 \dots 150$ м/мин составляет $20 \dots 60$ см³/мин, а в диапазоне более высоких скоростей $130 \dots 160 >$ см³/мин. Регулирование обычного процесса резания путем изменения физико-химического механизма может привести не только к количественному, но и качественному изменению технических показателей. Например, канд. техн. наук И. С. Штейнбергом установлено, что применение резцов с большими отрицательными передними углами $-40 \dots -45^\circ$ приводит к упрочнению обрабатываемой поверхности. Например, долговечность торсиона из стали 45ХНМВА 45—50 HRC₃ возрастает в 15 раз.

Автоматические системы регулирования процесса резания построены на использовании замкнутой структурной технологической системы, она предусматривает применение

обрабатывающих систем с обратными связями, принудительно связывающих, например, получение заданной точности обработки путем регулирования скорости подачи (рис. 7). Таким образом, структурная схема представляет собой совокупность управляемого объекта — процесса резания и автоматического управляющего устройства. Любой процесс резания протекает нестабильно вследствие изменения припуска и физико-химических свойств материала обрабатываемой заготовки, изнашивания инструмента и других факторов. Поэтому применение систем автоматического регулирования обеспечивает оптимальные условия обработки в течение всего периода времени.

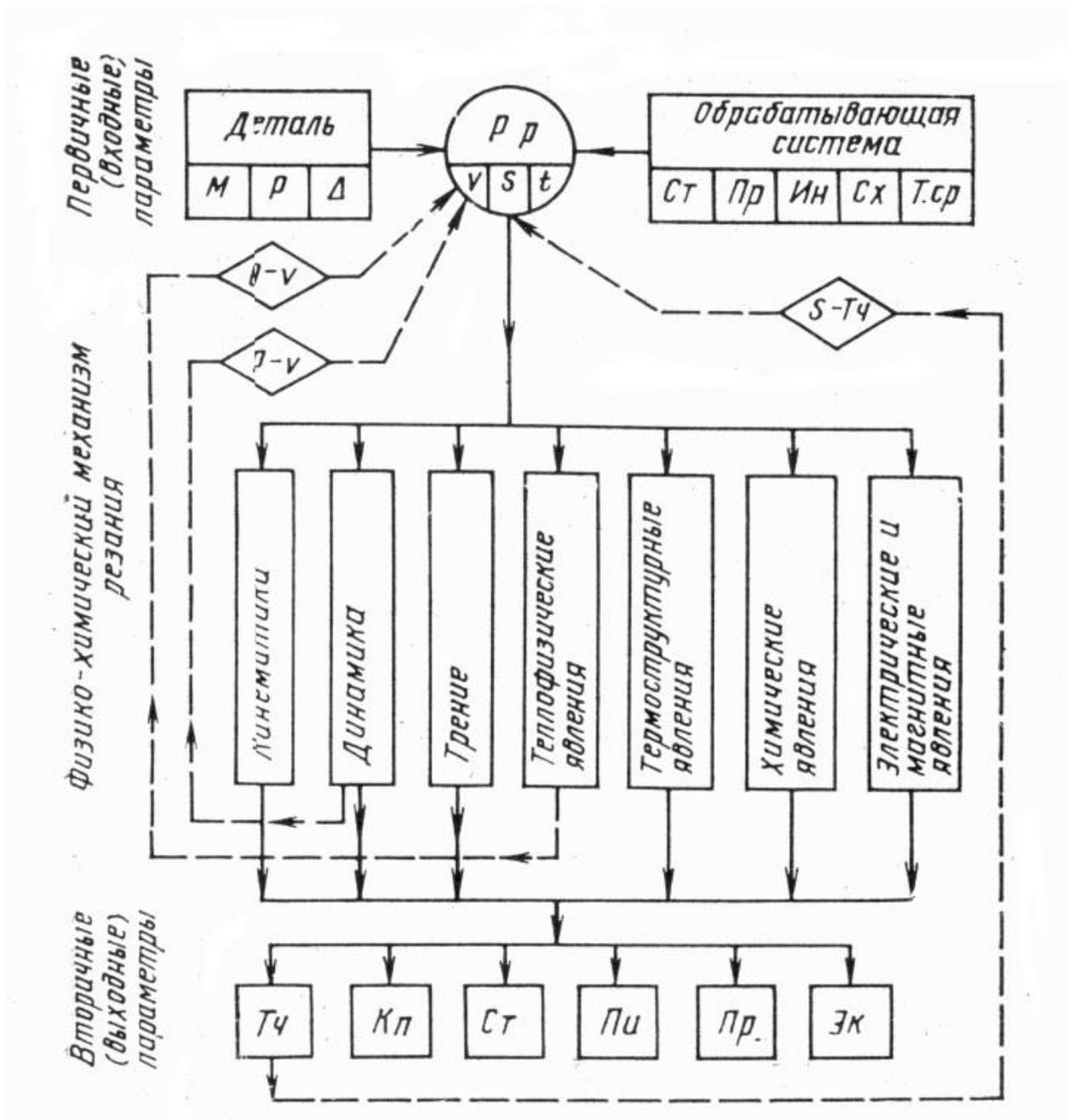


Рис. 7. Автоматически регулируемая технологическая система

Промышленное освоение ГПС приводит к коренному изменению методов проектирования и организации производства — от обрабатывающих систем с отдельным формированием необходимого процесса резания, станка, инструмента, приспособлений — к первоначальному проектированию обрабатывающих систем — типовых технологических модулей. Они

представляют собой единую систему, включающую станок, инструмент, загрузочные, контрольные и регулирующие устройства, в том числе электронно-вычислительную технику. Надо отметить, к сожалению, что единство такой системы в настоящее время не учитывается: при этом незаслуженно малое внимание уделяется совершенствованию собственно рабочих процессов резания. Они должны быть исходными для проектирования обрабатывающей системы и всех составляющих ее элементов. Проектирование малолюдной, трудно- и энергосберегающей технологии, внедрение комплексной механизации, роботизации, автоматизации машиностроительного процесса следует производить на базе применения современных рабочих процессов, в том числе перехода на качественно новые методы обработки, обеспечивающие коренное повышение производительности и качества производства.

Традиционная методика, применяемая в большинстве случаев, заключается в следующем: вначале исходя из конструкции детали проектируется технологический процесс ее производства, затем для реализации процесса подбираются необходимые обрабатывающие системы (станки, инструмент, технологическая оснастка) и после этого проектируется схема организации и управления производством. Это приводит к тому, что на заводах создается неоправданно большая номенклатура станочного оборудования, приспособлений и инструментальной оснастки.

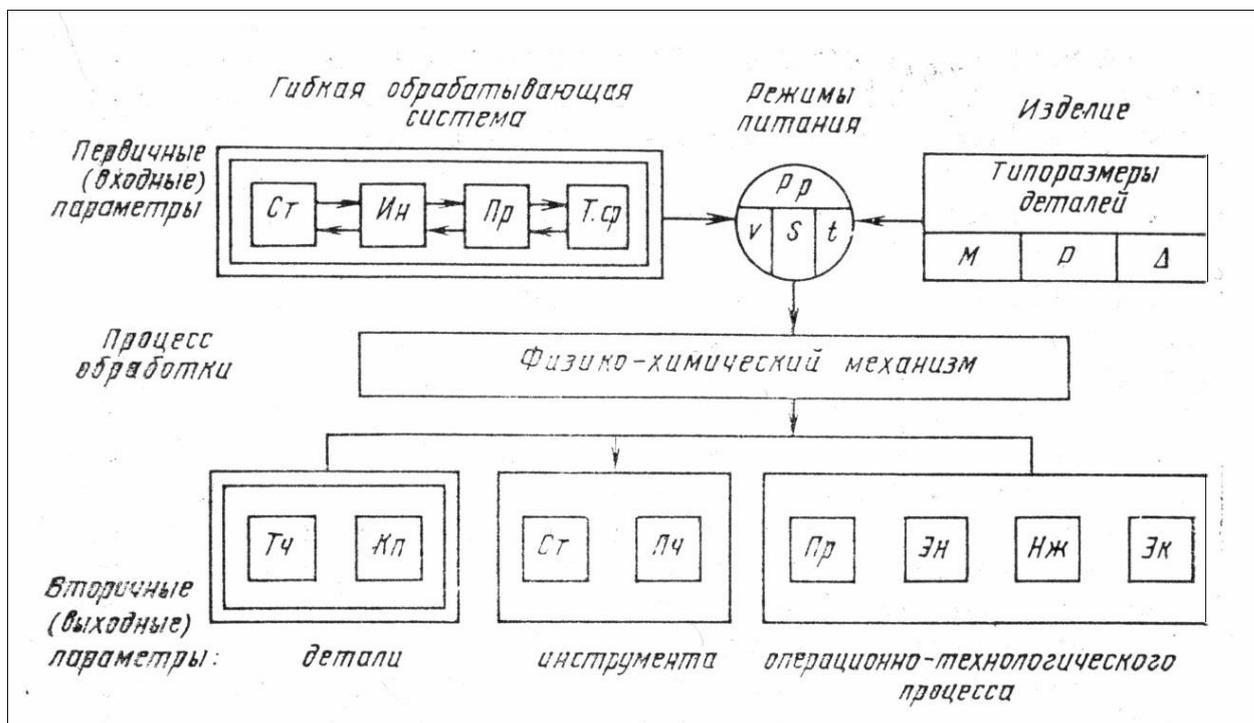


Рис. 8. Технологическая система ГПС

Принципы и методика проектирования производственных процессов для ГПС коренным образом меняются. Прежде всего, по-иному решается проблема соотношения средств производства и проектных разработок. Необходимо использовать принципиально новые методы организации производства, в этом случае исходным является применение конструкций ГПС обрабатывающих систем.

Только для этих систем проектируются и технологические процессы изготовления изделий определенного типоразмера. Схема гибкой технологической системы показана на рис. 8. В этих условиях конструкция деталей машины становится в возможной степени функцией обрабатывающих систем, на которых предполагается организовать их производство. Так,

например, форма деталей должна конструироваться в зависимости от имеющегося набора инструментальной оснастки, используемых ГПС. При проектировании машин следует учитывать два принципа:

1) разрабатывать технологические процессы и методы обработки, технически возможные на данной производственной системе;

2) содержание и структура технологических процессов должны быть удобны для формализации, т. е. для разработки алгоритмов и применения ЭВМ.

Инженерные разработки технологических процессов для ГПС и методы обработки существенно изменяются по сравнению с обычными методами производства. В этих новых условиях решение задач анализа, например данной конструкции инструмента или станка, все чаще заменяется решением инженерных задач синтеза необходимой обрабатывающей системы. Ее проектирование осуществляется исходя из заданных типоразмеров деталей. Изменяется и постановка задач выбора рациональных условий обработки; до последнего времени выбора условий обработки определялся путем оптимизации операции только по одному из критериев (стойкости инструмента), максимизации или минимизации других критериев (производительности и экономичности).

При решении этой задачи накладываются ограничения по заданным на операцию технологическим показателям — точности обработки и качеству поверхности. Для эффективного использования обрабатывающих систем новых типов необходимы многокритериальные средства оптимизации — инженерные методы совокупного рассмотрения этих показателей для оптимизации с помощью ЭВМ операционного технологического процесса в целом.

Важнейшим направлением совершенствования физико-химических методов обработки является использование САПР и ЭВМ; они позволяют улучшить качество и сократить сроки подготовки производства новых машин и, учитывая много-вариантность решаемых в теории резания задач, обеспечивают их оптимизацию по одному или нескольким технологическим критериям. Вместе с тем необходимо отметить, что исходным для разработки этих прогрессивных методов проектирования должен быть собственно рабочий процесс, его физико-химический механизм.

К сожалению, иногда происходит излишняя переоценка возможностей САПР и ЭВМ, возможностей формализации проектирования операционного технологического процесса, например инструмента, вне рассмотрения его физико-химического содержания и тех функций, для осуществления которых он создается. Успешное применение ЭВМ для решения технологических задач требует развития физико-химической обработки, т. е. создания математической модели рабочего процесса. В настоящее время подготовка программ, математическое обеспечение вызывают при освоении САПР наибольшие затруднения.

3. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

При проектировании инструментальной оснастки исходным является операционный технологический процесс, который разрабатывают в следующем порядке:

1. Выбор метода обработки. В современном производстве не существует универсального метода обработки, в равной мере эффективного как для материалов всех видов, так и деталей различных типов. Каждый метод резания (например, обычное механическое резание или резание с применением электрических или химических воздействий) имеет свою конкретную область рационального применения. Выбор того или иного метода обработки обусловлен, с одной стороны, требованиями, предъявляемыми к форме, точности обработки и качеству поверхности детали, с другой — экономической эффективностью обработки, которая в первую очередь определяется производительностью. Среди других методов обработка резанием обладает рядом преимуществ — технологической маневренностью, простотой, малой энергоемкостью.

2. Проектирование структуры операции, т. е. последовательность выполнения переходов, включая схемы базирования заготовок и инструментальных наладок.

3. Разработка эскизного проекта обрабатывающей системы, в том числе инструментальной системы, степени ее механизации и автоматизации; определение систем управления и регулирования.

4. Создание технического проекта основных элементов обрабатывающей системы (инструментальных наладок, установочных приспособлений, в том числе роботизированных, регулирующих и контрольных устройств).

5. Разработка технического проекта агрегатного и информационного обеспечения системы.

6. Проектирование рабочих чертежей обрабатывающей и инструментальной систем.

7. Назначение условий обработки — режимов резания и составов технологической среды и, как следствие, расчет производительности обработки и стойкости инструмента.

8. Проведение обычной или автоматической коррекции структуры операции, рабочих чертежей узлов обрабатывающей системы и системы управления на основе лабораторных испытаний.

Операционный технологический процесс разрабатывают на основе операционного эскиза, заданного маршрутным технологическим процессом изготовления конкретной детали. Определяют порядок обработки поверхностей, а для станка с ЧПУ рассчитывают траекторию инструмента и заготовки, при этом используют нормативы режимов резания, каталоги технических характеристик оборудования и инструмента. Технолог, составляя программу обработки, исходные данные фиксирует с помощью того или иного программносителя, что обеспечивает возможность многократного воспроизведения заданной программы.

Состав переходов в операции зависит от формы и относительного расположения обрабатываемых поверхностей детали. Траекторию инструмента выбирают с учетом условий ее работы (при рабочем ходе), минимизируя время на вспомогательные движения.

Основной особенностью инструментальной системы для ГПС является многоинструментальная обработка. Типовые операционные технологические схемы многоинструментальной обработки деталей показаны в таблице. Они представлены в виде многоуровневой градации, отражающей взаимосвязанную систему определенных признаков и условий ограничения. Данные таблицы характеризуют общие тенденции развития структурных схем от самых простых — элементарных, одноинструментных — до многоинструментных, многопозиционных, многостаночных. Каждый уровень структурных схем по форме реализации делится на три класса: параллельный, последовательный и параллельно-последовательный. Кроме того, по числу одновременно обрабатываемых деталей все процессы подразделяют на однопоточные (однодетальные) и многопоточные (многодетальные).

Основой при разработке инструментальной наладки является схема формообразования, которая определяется: кинематикой процесса, числом и характером относительных движений инструментов и заготовки; степенью совмещения движений инструментов и заготовки; характером установочных движений инструмента и заготовки.

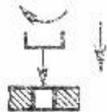
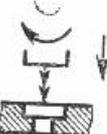
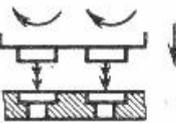
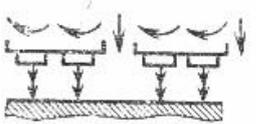
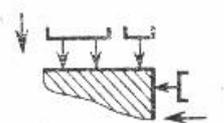
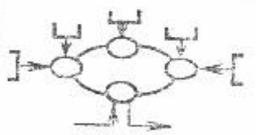
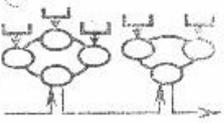
Операционный технологический процесс разрабатывается в три этапа. На первом этапе определяются элементарные обрабатываемые поверхности (ЭОП) детали и элементарные технологические переходы (ЭТП), обеспечивающие их обработку. На втором этапе рассматриваются возможность и целесообразность укрупнения операций путем объединения однотипных элементарных переходов, формирования для них многоинструментных наладок, сочетающих обработку отдельных обрабатываемых поверхностей. Третий этап характеризуется формированием структуры операции, предусматривающей дальнейшее ее укрупнение за счет совмещения обработки нескольких поверхностей за одну операцию. Оптимальный операционный технологический процесс строится на основе рассмотрения взаимосвязи систематизированных по уровням сложности принципиальных схем обрабатываемой системы с учетом конструктивно-технологических особенностей деталей.

Многоинструментальная наладка строится исходя из анализа возможных способов совмещения технологических переходов и осуществляется с помощью информационно-поисковой модели [7], отражающей для конкретной детали взаимосвязь технологических переходов в структуре технологического процесса. Для формирования рациональной обрабатываемой системы информационная модель дает возможность, используя первые три уровня, определить инструментальную наладку. Технологический алгоритм формирования укрупненных структур операции представлен в виде графа. Вершинами графа служат те условия и ограничения, в зависимости от наличия и значения которых определяют пути следования и направления поиска возможных вариантов структур операции.

Такой алгоритм позволяет, во-первых, в наглядной форме представить сущность метода решения поставленной задачи и, во-вторых, проследить логическую взаимосвязь всех звеньев, обуславливающих формирование (синтез) того или иного варианта технологического решения. Проверка каждого условия и ограничения, несущих в себе определенную информацию об имеющихся на детали конструктивно-технологических особенностях, позволяет принимать первоначально частные решения и на их основе формировать необходимую для этих условий общую структуру операции. Именно такой системный подход положен в основу разработанных алгоритмов формирования структур операции для реализации их на ЭВМ. Формируемые структуры операции, являясь по существу схемным решением обрабатываемой системы и отражая ее функционально-технологическую подоснову, могут быть реализованы как в

общепринятых видах компоновки оборудования, так и являться схемной основой разработки специальных обрабатывающих систем (см. таблицу), т. е. служить техническим предложением на их проектирование.

Типовые схемы многоинструментной обработки

| Уровень | Схема | Способ совмещения обработки | Условные ограничения |
|---------|---|--------------------------------------|---------------------------|
| 1 |  | Несколько режущих кромок | Один инструмент |
| 2 |  | Несколько инструментов | Инструментальный шпиндель |
| 3 |  | Несколько инструментальных шпинделей | Один объект управления |
| 4 |  | Несколько обрабатывающих палладок | Обработка одной стороны |
| 5 |  | Обработка нескольких сторон | Одна позиция |
| 6 |  | Несколько рабочих позиций | Один станок |
| 7 |  | Несколько станков | Одна автоматическая линия |

Для обоснованного принятия решений в выборе схем совмещения обработки необходимо учитывать систему ограничений по техническим, технологическим и экономическим параметрам. Многоинструментная обработка строится на основе двух основных принципов — концентрации и дифференциации операций. Основа принципа концентрации операции позволяет перейти от

сложного многооперационного технологического процесса, построенного на основе последовательного снятия заданного припуска на различных переходах, к операциям, построенным на основе комплекса кинематических и физико-химических связей. Особого внимания в связи с этим заслуживают методы построения комбинированных операционных технологических процессов, которые могут быть построены по двум основным схемам — кинематического или физикохимического совмещения отдельных структурных элементов в операции.

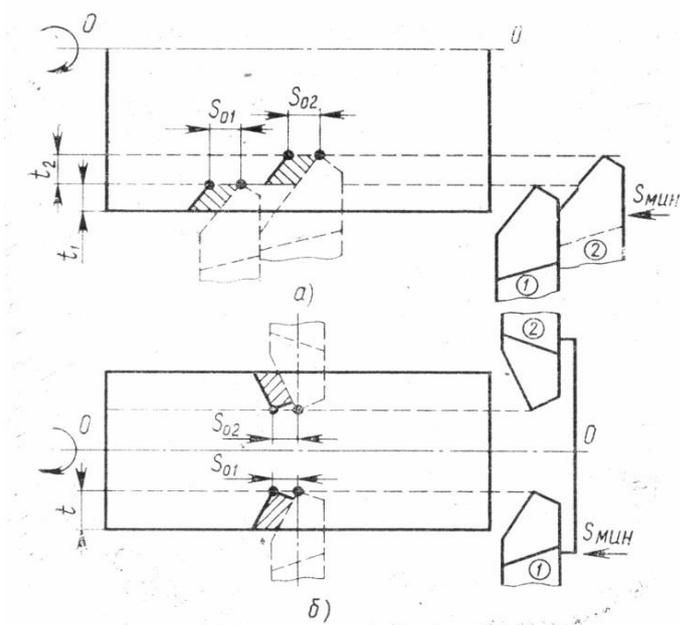


Рис. 9. Типовые наладки для многоинструментальной обработки валов, использующие схему деления глубины резания (а), подачи (б)

Обрабатывающая система, построенная на схеме кинематического совмещения в операции методов обработки одного класса (например, различных методов механической обработки), обеспечивает одновременную обработку нескольких заготовок с использованием большого числа инструментов. Инструменты могут быть однотипными (например, многолезцовая головка) и разнотипными (например, сверло, зенкер, метчик). Наиболее распространенной многоинструментальной обработкой деталей одного технологического назначения является многолезцовое обтачивание длинных валов. Обработка

проектируется по двум схемам резания: делению глубины (t_1 , t_2) и делению ширины (S_{01} , S_{02}) срезаемого слоя (рис. 9). Обточка валов

многолезцовыми блоками, работающими по принципу деления подачи, повышает производительность обработки, однако требует трудоемкой настройки положения режущей кромки резцов в одной плоскости и обеспечения постоянства (по времени) износа всех режущих кромок резцов.

Многолезцовая самоцентрирующаяся головка (рис 10), работающая по схеме деления подачи, имеет четыре кулачка-резцедержателя с резцами 2. Корпус 1 и кронштейн 3 размещены на поперечных салазках 4 суппорта. Резцедержатели имеют общий привод от вала 5; он связан с рукояткой для ручных перемещений или с приводом программного перемещения головки, что позволяет обрабатывать не только гладкие цилиндрические, но и ступенчатые и фасонные детали. Головка позволяет уравнивать действующие на обрабатываемую заготовку радиальные составляющие силы резания и повышает точность обработки в 2...5,5 раза (рис. 11) и производительность обработки в 4 раза [6].

Инструмент для комбинированной обработки заготовок различной геометрической формы показан на рис. 12, подобный токарный инструмент применяют для наружной обработки деталей типа тел вращения.

Комбинированный осевой инструмент совмещает сверление отверстия по всей длине и развертывание его определенной части; в этом случае форма обрабатываемой поверхности (цилиндрическая) остается для совмещаемых методов неизменной, однако обеспечиваются различные точность и шероховатость поверхности.

В МВТУ им. Н. Э. Баумана разработаны схемы кинематического совмещения обычного метода механической обработки с наложением низкочастотных колебаний — вибрационное сверление в среде активных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Помимо изменения схемы инструментальной оснастки, система предусматривает изменение конструкции инструмента. Вместо обычных стандартных спиральных сверл из стали P18 применяют сверла из твердого сплава особой конструкции. Применение метода вибрационного резания инструментом

из твердого сплава и подачи СОЖ под высоким давлением непосредственно в зону резания позволяет повысить производительность сверления отверстий диаметром 4,5 мм в заготовках из сплава ХН75ВМЮ на глубину 35 мм в 4—5 раз и резко снижает расход инструмента. Типовыми режимами резания и вибрации являются: $n = 1500$ мин⁻¹; $v = 20$ м/мин; $S_0 = 0,028$ мм/об; $S_{\text{Мин}} = 40$ мм/мин; $f = 94$ Гц; $A_x = 0,03 \dots 0,04$ мм. Охлаждение производят сульфозфреолом с подачей под давлением 150 МПа. Сочетание таких условий обработки обеспечивает высокую точность отверстия (6—7-й квалитет) и параметр шероховатости обработки $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм, что позволяет исключить операцию развертывания отверстия. Во всех приведенных видах комбинированной обработки используется один класс — механическое резание.

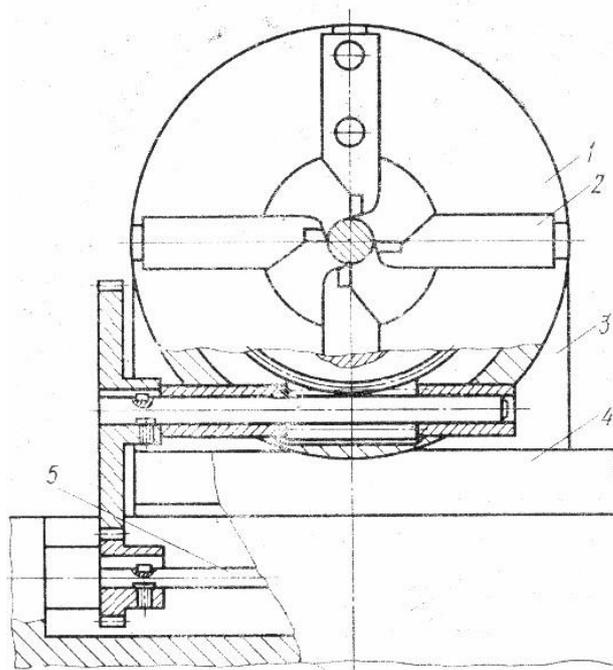


Рис. 10. Многорезцовая самоцентрирующая головка

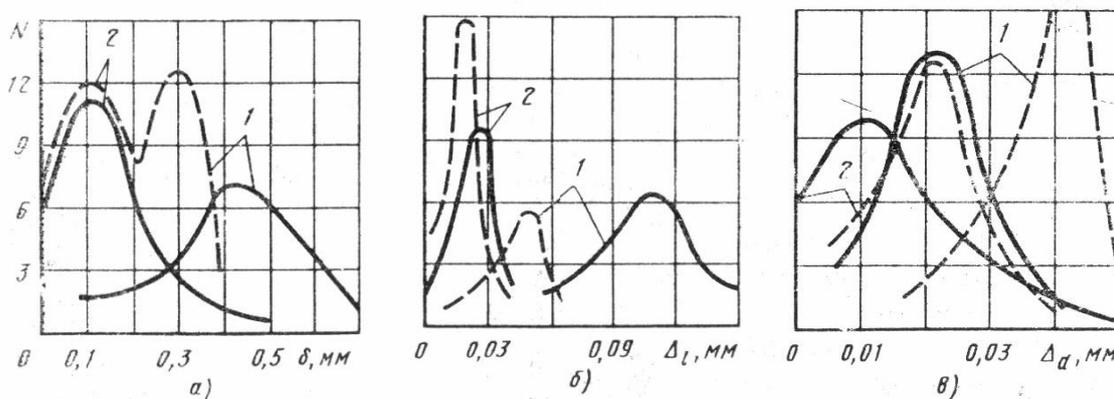


Рис.11. Распределение погрешностей формы при обработке алюминиевых (сплошные линии) и стальных (штриховые линии) деталей: а—биение б; б—погрешность формы ΔL в продольном направлении; в—погрешность формы Δd в поперечном направлении: при однорезцовой (1) и многорезцовой (2) обработках; N — число деталей

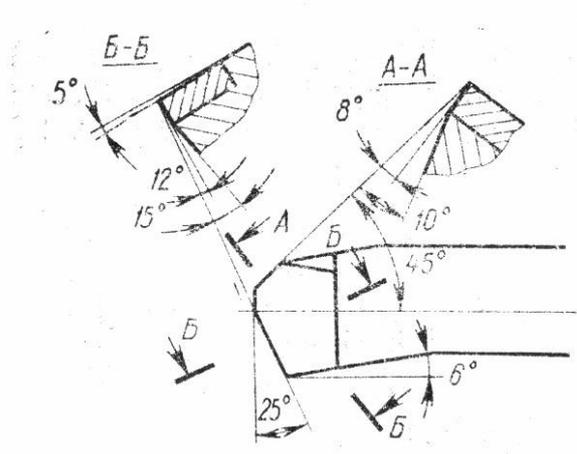


Рис. 12. Токарный резец (правый проходной, подрезной, торцовый, расточной и фасочный) для комбинированной обработки

Обрабатывающие системы, построенные по схеме кинематического совмещения методов обработки нескольких классов, в настоящее время используют редко, но эффективность их исключительно высока. Например, известна обрабатывающая система, использующая одновременно механические и лазерные методы обработки. Такая система представляет собой сверло или концевую фрезу со сквозным отверстием, через которое пропускается сфокусированный луч лазера, который снимает материал в наиболее затрудненной для механической обработки зоне. Применение газового лазера с длиной волны 10,6 мкм и диаметром луча 8 мм позволяет повысить стойкость твердосплавного сверла в 500 раз при обработке отверстий в деталях из чугуна, стойкость концевой фрезы в 150 раз при обработке инструментальной стали.

Инструментальные системы для комбинированной обработки применяют и взамен обычных высокоточных инструментов. Так, например, для обработки пластин из латуни ЛС59-1, отклонение от плоскостности которых не должно превышать 0,05 мм и шероховатость $Ra = 1,25$ мкм, применяли комбинированный инструмент с накатным роликом (рис. 13) [8], что позволило заменить две операции (фрезерование однозубой фрезой и притирку торцом вращающегося чугунного диска) одной. При этом улучшилось качество обработанной поверхности. У комбинированного инструмента накатной ролик расположен ближе к оси вращения на величину h , чем резец, благодаря чему вначале вступает в работу резец, а затем шарик. При обработке на режимах $n = 1120$ мии⁻¹, $S_{min} = 35,5$ мм/мин. $\Delta = 0,027$ мм отклонение от плоскостности не превышает 0,04 мм, а шероховатость $Ra = 0,37 \dots 0,31$ мкм.

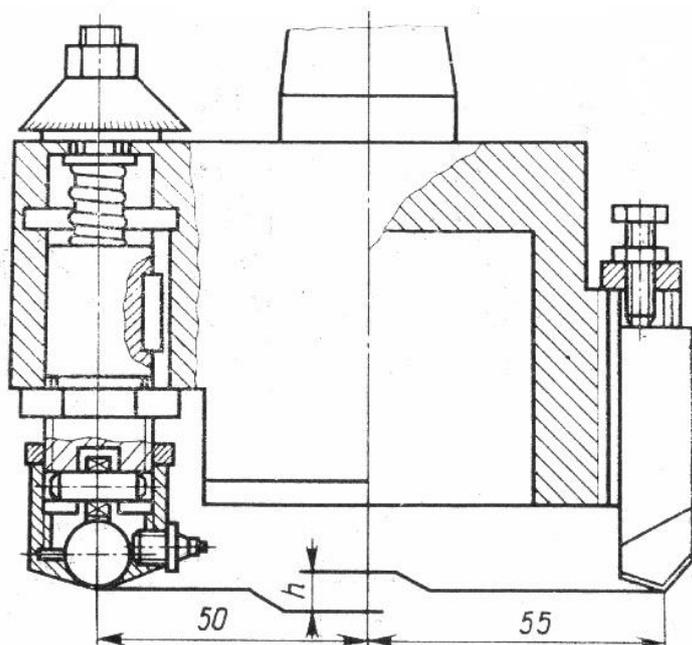


Рис. 13. Инструмент для фрезерной обработки и поверхностного пластического деформирования

Комбинированный метод последовательной обработки поверхностей уравновешенным лезвийным инструментом (резцовым блоком) с последующим пластическим деформированием этих поверхностей роликами внедрен взамен абразивной обработки гладких и ступенчатых валов типа штоков и плунжеров пневмо- и гидроцилиндров, поршневых пальцев, осей [2] Точность изготовления таких деталей JT7—JT9, шероховатость $Ra < 0,1$ мкм. Конструктивно обрабатывающая система для комбинированного метода обработки построена на использовании люнетно-деформирующих устройств, размещаемых на суппорте токарного станка. Обрабатываемая заготовка 3 (рис. 14) устанавливается в зажимном устройстве, выполненном в виде ведущего 4 и направляющего 2 валов с центрами, размещенными в задней 6 и передней 1 бабках станка. Заготовка 3 закрепляется с помощью гидроцилиндра 5, обеспечивающего постоянство осевой силы P_y зажима.

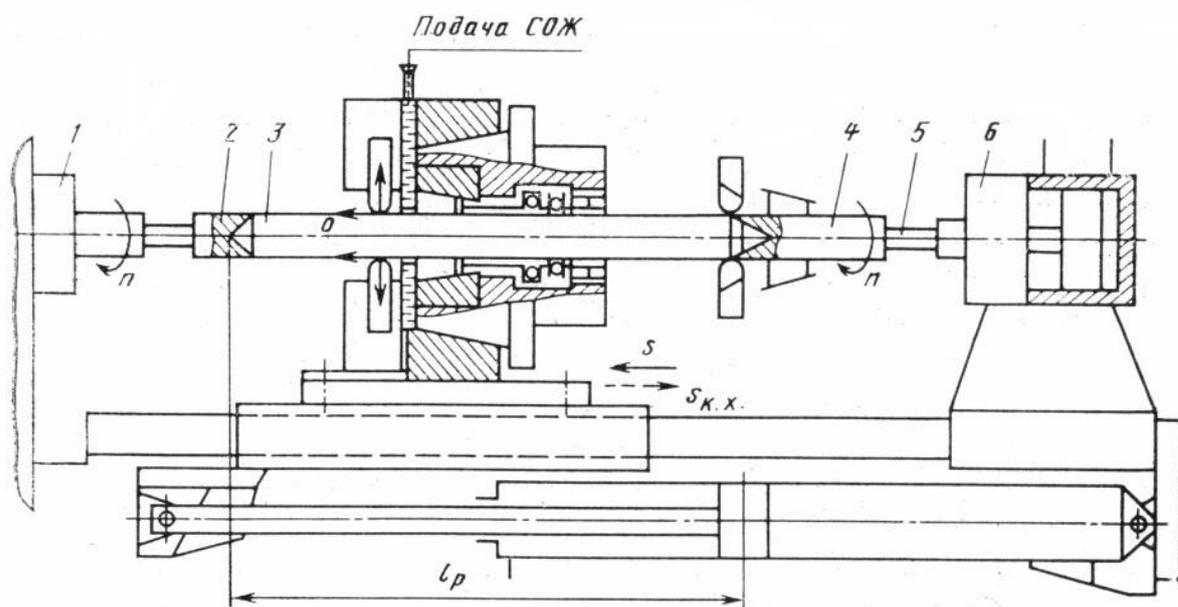


Рис. 14. Инструментальная система для комбинированной обработки резанием с поверхностным пластическим деформированием

Рабочие головки выполнены в виде взаимозаменяемых конструктивных модулей, предназначенных для черновой и чистовой обработки резанием и выглаживанием — поверхностным пластическим деформированием. Инструментальная головка перемещается в осевом направлении с установленной скоростью подачи $S_{ми}$, люнетно-деформирующие головки имеют дополнительную подачу $S_{доп}$ за счет разворота оси вращения деформирующих роликов.

Применение инструментальной оснастки для комбинированного метода обработки заготовок с последующим выглаживанием повысит производительность более чем в 3 раза по сравнению с абразивной обработкой при обеспечении той же шероховатости $Ra \leq 0,01$ мм. Преимущества комбинированного метода обработки позволяют исключить неблагоприятные растягивающие напряжения, возникающие при шлифовании. Процесс поверхностного пластического деформирования упрочняет изготавливаемую деталь. Кроме того, благодаря замкнутой схеме технологической системы повышается точность обработки, ликвидируются вибрации, снижающие стойкость инструмента.

Обрабатывающие системы, работающие по схеме физико-химического совмещения методов обработки, построены на том, что вместо неизменных по содержанию и режимам рабочих процессов для изготовления деталей используют многофункциональную по режимам резания или физико-химическому воздействию на регулирующую обрабатывающую систему. Управление системой двух типов: заранее заданное по определенной программе или адаптивное, учитывающее конкретные условия резания на каждом участке обработки и регулирующее их по заданному критерию.

Частными случаями обрабатывающих систем для первого типа являются станки с программным управлением, а для второго типа — станки с адаптивным управлением. Таким образом, операционный технологический процесс может строиться или на уровне «механического» регулирования отдельных переходов и рабочих ходов или на уровне изменения самого характера и режимов физикохимического воздействия на каждом рабочем ходе. В первом случае используются пространственно временное регулирование, во втором — физико-химическое.

Построение обрабатывающих систем, использующих регулируемые взаимосвязи между видами и режимами физико-химического воздействия инструмента, является одним из наиболее перспективных методов решения проблемы построения высокопроизводительных и вместе с тем малооперационных, малоотходных и энергосберегающих технологических процессов. Инструментальные системы, выполняющие указанные требования, используют многие физико-химические воздействия; они становятся многопереходными и многоинструментными. За счет построения оптимальных систем регулирования режимов обработки число переходов, рабочих ходов и инструментов по сравнению с операцией, построенной по кинематическому принципу совмещения, может быть существенно сокращено.

Изменение условий обработки заготовок по схеме обрабатывающей системы может быть непрерывным или скачкообразным. При скачкообразном способе регулирования особое внимание следует уделять методам обработки, позволяющим изменять мощность подводимого к обрабатываемой заготовке воздействия в широком диапазоне. Этому требованию в первую очередь удовлетворяют электрические и химические методы обработки. Они позволяют при выполнении одного рабочего хода путем переключения условий обработки с черновых режимов резания на чистовые и при этом с высокой производительностью снимать заданный припуск и вместе с тем обеспечить высокое качество поверхности детали [13].

4. СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИБКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время ставится задача создать гибкое производство с предметно-замкнутым циклом, когда поступающее исходное сырье преобразуется в разнообразную готовую продукцию. Переход на гибкое производство обусловлен тем, что номенклатура современного машиностроения резко возрастает, в то время как число изделий в партии убывает.

Так, в настоящее время в машиностроении мелкосерийное производство составляет 80%, а крупносерийное и массовое — только 20%. Гибкость инструментальной оснастки обрабатывающей системы определяется ее способностью перестраиваться в соответствии с изменением производственной ситуации; обеспечивает переход инструментальной системы из

рабочего состояния для обработки одного типоразмера детали в другое рабочее состояние для изготовления другого типоразмера детали; переходный процесс определяется периодом времени $T_{ад}$, в который инструментальная система не выполняет своего служебного назначения. Количественно гибкость системы определяют коэффициентом готовности [10]:

$$K_f = \frac{T_p}{T_p + T_{ад}},$$

где T_p — время работы системы после перестройки.

Гибкость системы может быть трех видов: технологическая, структурная и организационная. Технологическая гибкость определяется способностью инструментальной системы перенастраиваться к изменению номенклатуры обрабатываемых деталей. Время обработки деталей требуемой номенклатуры

$$T_p = \sum_{i=1}^m (T_{ци} \times k_i),$$

где $T_{ци}$ — время цикла обработки i -и детали; k_i — величина партии i -и детали; m — число переналадок системы.

Время простоя системы находится как сумма времени, расходуемого на переналадки:

$$f_n \sum_{i=1}^m (t_{ni}),$$

где t_{ni} — время i -й переналадки.

Коэффициент технологической гибкости:

$$K_{fT} = \frac{\sum_i (T_{ци} \times k_i)}{\sum_1^m (T_{ци} \times k_i) + \sum_1^m t_{ni}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum t_{ni}}{\sum (t_{ци} \times k_i)}}$$

Структурная гибкость определяется способностью систем выполнять свое служебное назначение при отказе одного из компонентов обрабатывающей системы в целом (станка, инструментальной наладки, системы ЧПУ и т. п.) или инструментальной наладки в частности. Стремление к более высокой загрузке системы заставляет создавать такие структуры, у которых выход из строя одного элемента легко компенсируется заранее предусмотренным включением в работу другого подобного элемента. Рассмотрим количественные соотношения. При отсутствии возможности передавать функции отказавшего элемента другому полное время работы системы равно

$$T_i = \sum t_i + \sum t_{вр}$$

где $t_i = t_{н.о}$ — время выполнения служебного назначения (здесь $t_{н.о}$ — время наработки на отказ); $t_{вр}$ — время восстановления работоспособности.

Если структурная гибкость в системе предусмотрена, то при передаче функции отказавшего компонента другому будет происходить частичная потеря производительности. В этом случае полное время работы

$$T_2 = \sum t_i' + \sum t^n,$$

где t'_i — время выполнения служебного назначения без потери-р.и производительности; t''_i — время выполнения служебного назначения с частичной потерей производительности.

Время сокращения простоев $t_{c.п}$ за счет повышения структурной гибкости

$$t_{c.п} = \left(\sum t_i + \sum t_{вп} \right) + \left(\sum t'_i + \sum t^n \right)$$

Коэффициент структурной гибкости

$$K_{fc} = \frac{t_{c.п}}{\sum t_{вп}} = 1 - \frac{\sum t'_i + \sum t'' - \sum t_i}{\sum t_{вп}}$$

Чем меньше надежность H системы, тем больше значение имеет структурная гибкость.

Коэффициент структурной гибкости с учетом надежности системы

$$K_{fc} = 1 - \frac{\sum t'_i + \sum t''}{\sum t_{вп}} + \frac{1}{\frac{1}{h} - 1},$$

$$\text{где } h = \frac{\sum t_{n.o}}{\sum t_{n.o} + \sum t_{вп}}$$

Организационная гибкость характеризуется способностью системы адаптироваться к различным изменениям производственной ситуации, к которым относятся: отсутствие требуемых заготовок, необходимого режущего инструмента, заготовок и т. д.

Гибкость инструментальной системы определяется величиной номенклатуры и типоразмеров инструмента, его количеством. Кроме собственно режущего инструмента, в инструментальную систему входят оправки, державки и блоки, в которых режущий инструмент закрепляется. Гибкость системы выше при выполнении малым числом наименований и типоразмеров инструментов большего числа технологических переходов. Чем меньше число перестановок инструмента, чем больше число переходов, которые можно выполнить одним инструментом, и тем выше гибкость инструментальной системы.

Одной из характеристик гибкости инструментального модуля является число видов применяемого инструмента. Эту величину определяют отношением максимального числа различных технологических переходов к минимальному числу наименований инструмента, необходимого для выполнения этих переходов. При этом главным показателем является не только сокращение общего числа инструмента, а также числа видов инструмента, числа их настроек и всякого рода перемещений. Применение большого числа наименований инструмента влечет за собой увеличение настроек инструмента, производимых, как правило, вне станка, что снижает эффективность использования инструмента. Целью рационализации инструментальной системы ГСП является достижение экономически целесообразного минимального числа инструмента, которым может быть обработана заданная группа деталей.

Гибкость инструментальной системы обеспечивается применением универсальных конструкций инструмента, основанных на модульном принципе и позволяющих производить комплексную обработку (см. рис. 12). Необходимо сужать требования к гибкости инструментальных систем, разрабатываемых для производства машин. Для этого используют действующую номенклатуру выпускаемого режущего инструмента.

Конструкции инструмента для ГПС должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) рабочая часть инструмента должна иметь повышенные износостойкость и прочность;
- 2) конструкция державки должна обеспечивать высокие жесткость и виброустойчивость;
- 3) геометрия инструмента должна обеспечивать удовлетворительный отвод стружки из зоны резания благодаря наличию на передней поверхности оптимальных стружколомов и других устройств.

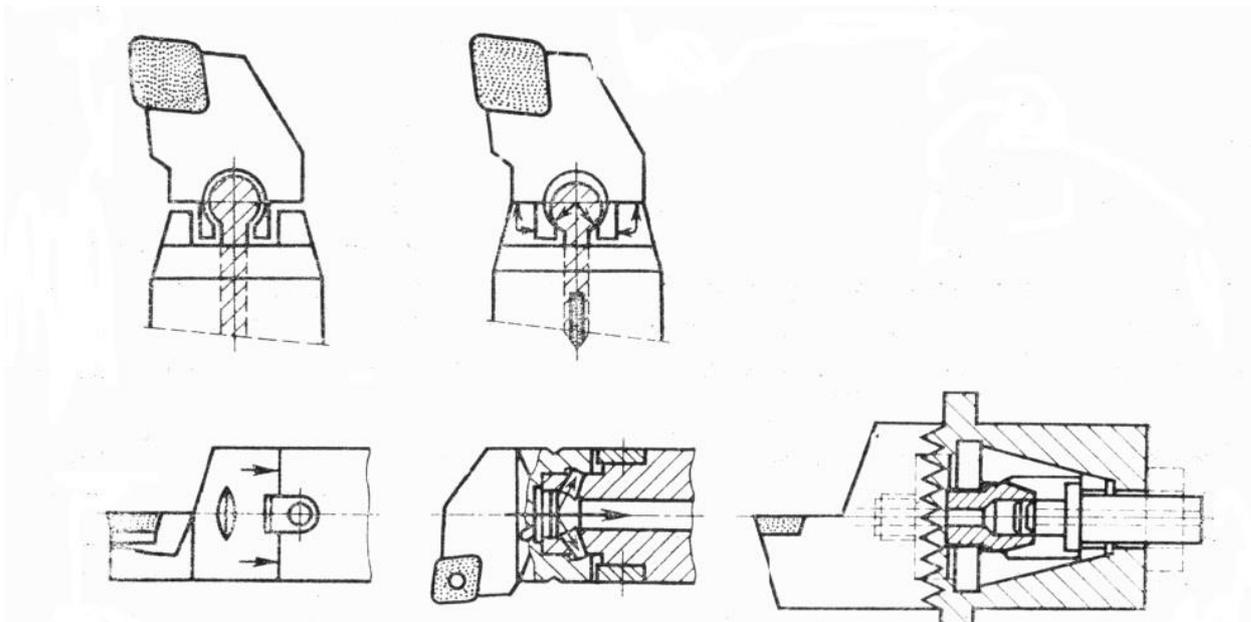


Рис. 15. Конструкции резцов с механическим соединением режущих головок

Модульная конструкция токарного резца (рис. 15) для ГПС состоит из четырех элементов: режущей головки и хвостовика (державки). Такой инструмент должен обеспечивать:

- 1) высокую точность установки относительно базовых поверхностей обрабатываемой системы;
- 2) быстроту установки элементов инструмента;
- 3) взаимозаменяемость режущей части инструмента в зависимости от вида обработки (расточивание, сверление, фрезерование, нарезание резьбы и т. п.);
- 4) хвостовая (державочная) часть инструмента должна быть сменной и изменяться в заданных пределах.

Единая система универсально-сборочного инструмента для ГПС основана на блочном (модульном) принципе, т. е. на разделении режущего и вспомогательного инструмента на унифицированные элементы — модули. Их соединение осуществляется либо посредством винтов, проходящих вдоль оси инструмента, либо с использованием конусных винтов, расположенных перпендикулярно оси инструмента. Наибольшее распространение получило резьбовое соединение режущей головки с цилиндрическим направляющим пояском. Установочные поверхности, соединяющие режущую головку и зажимную державку, должны обеспечивать необходимые радиальное и осевое базирования. Режущая головка устанавливается сверху и опирается на нижний выступ. Зев режущей головки расширяется при отводе затяжного болта. При этом установочные поверхности головки прижимаются к соответствующим поверхностям

зажимного блока, что обеспечивает жесткое соединение, исключающее зазор даже при тяжелых режимах обработки. При отпускании затяжного болта зев возвращается в исходное положение, и образующийся зазор позволяет легче заменять режущую головку.

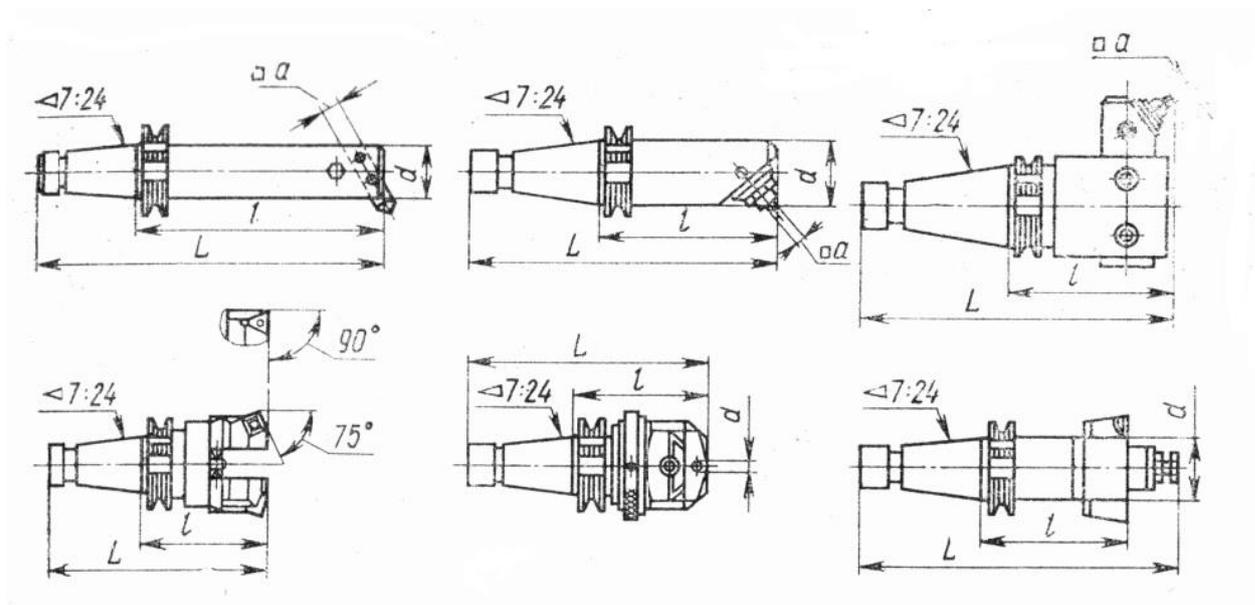


Рис. 16. Расточные оправки для станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы

Сборный расточной инструмент (рис. 16) для ГПС включает четыре типа модулей: сменные режущие головки, сменные хвостовики, удлинители и переходники с большего диаметра на меньшие.

Система сборного модульного инструмента (рис. 17) применяется для обработки отверстий разных размеров. Так, например, для обработки отверстий диаметром 40... 160 мм система расточного инструмента включает 22 модуля, шесть размеров двузубых и пять размеров однозубых расточных головок, оснащенных сменными твердосплавными пластинами, три размера хвостовиков и четыре размера удлинителей и переходников. Соединение модулей производится посредством резьбы с натягом. Такая модульная система [10] обеспечивает возможность широкой унификации инструментальной оснастки.

Выбор режимов резания для инструментальных систем ГПС имеет три основные особенности.

ГПС по сравнению с обычным оборудованием имеют на порядок более высокую стоимость; поэтому обработка на них должна выполняться на форсированных режимах резания. Для этого инструмент должен иметь повышенную стойкость, что обеспечит достаточно высокую эффективность эксплуатации дорогостоящего оборудования. Технические средства решения этой задачи те же, что и для обычного оборудования. Однако необходимо учитывать особенности назначения режимов резания для автоматизированного оборудования. Прежде всего — это работа на более высоких режимах резания, что приводит к понижению периода стойкости инструмента относительно нормативного. Такие условия обработки становятся возможными благодаря наличию многоинструментального магазина и специальных механизмов, осуществляющих быструю и частую смену одной группы инструмента другой.

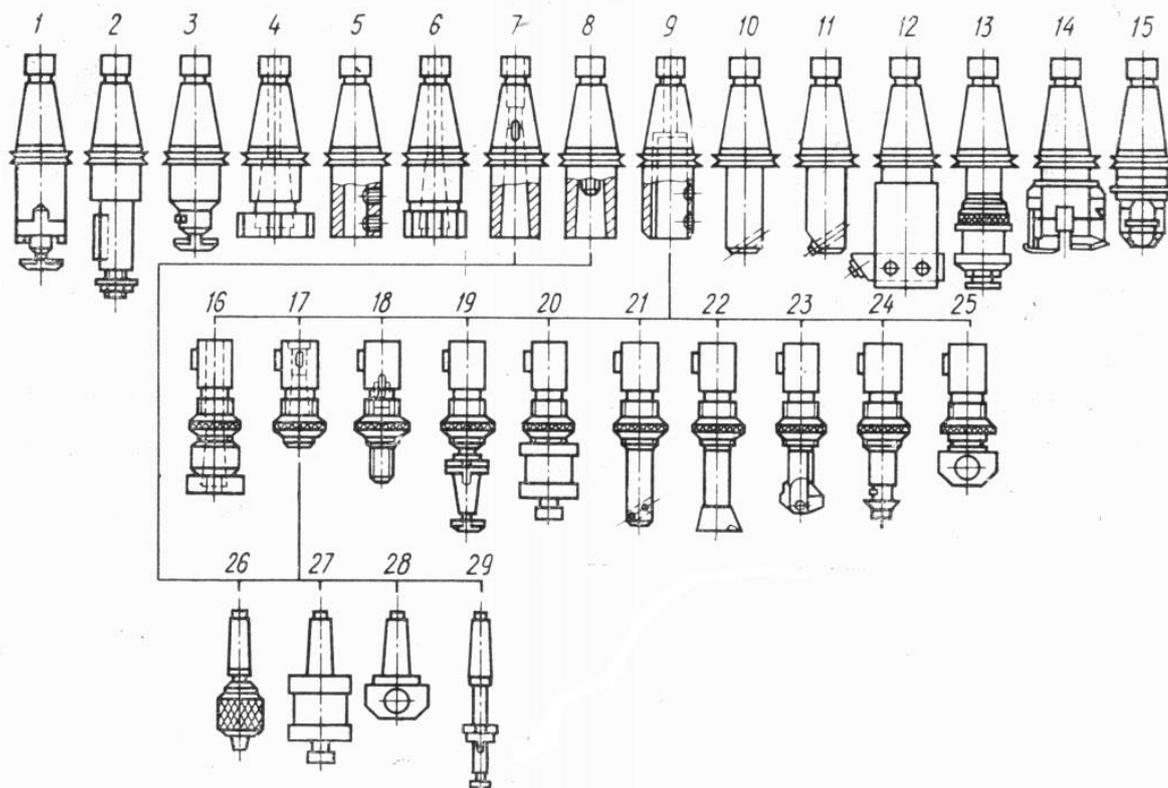


Рис. 17. Подсистема вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп:

1—оправка с конусом 7:24 для насадных фрез с поперечной шпонкой; 2, 3— оправки для насадных торцовых фрез с продельной шпонкой; 4—патрон цанговый для закрепления инструмента диаметром 20—40 мм; 5—втулки переходные для концевых фрез; 6—патроны цанговые для закрепления инструмента с диаметром хвостовика 5—20 мм; 7—втулки переходные для инструмента с конусом Морзе с лапкой; 8—втулки переходные для инструмента с конусом Морзе с резьбовым отверстием; 9—державки для регулируемых патронов, втулок и оправок; 10—12—оправки расточные соответственно для получистового, чистового растачивания, для чистового растачивания сборные; 13—оправки для подрезных пластин; 14—головки расточные двухзубые; 15—головки расточные универсальные; 16—патроны цанговые регулируемые (диапазон зажима 2—25 мм); 17—втулки регулируемые с внутренним конусом Морзе, универсальные; 18— втулки регулируемые длинные с внутренним конусом Морзе; 19—оправки регулируемые для насадных зенкеров и разверток; 20— патроны регулируемые резьбонарезные; 21—оправки регулируемые для получистового растачивания; 22— оправки регулируемые расточные двухзубые; 23— оправки регулируемые для крепления пластин перовых сверл; 24—оправки регулируемые для дисковых фрез; 25—патроны регулируемые; 26—патрон с конусом Морзе сверлильный трехкулачковый без ключа; 27—патроны с конусом Морзе резьбонарезные; 28— патроны с конусом Морзе расточные; 29—оправки с конусом Морзе для насадных зенкеров и разверток

Эксплуатация ГПС должна происходить без частых (непредусмотренных) остановок. Как показывает статистика, инструментальная система является наиболее «слабой» частью ГПС, и поэтому условия обработки должны назначаться, исходя из заданного уровня надежности лимитирующих инструментов наладки.

Таким образом, инструмент для ГПС должен иметь ряд конструктивных особенностей — быть быстросменным, взаимозаменяемым и обеспечивать надежное формирование стружки, удобное ее удаление из зоны резания и последующее транспортирование. Кроме того, инструмент должен настраиваться на размер вне станка. Учитывая эти требования, инструмент для ГПС изготавливают по более жестким техническим условиям, чем инструмент для универсального оборудования.

Гибкость инструментальной системы обуславливается набором инструментов, необходимых для обработки заданной для ГПС номенклатуры деталей и автоматическим механизмом для их замены и установки, управляемой от ЭВМ. Оптимальная номенклатура инструментов, определяющая содержание магазина ГПС, устанавливается из технико-экономического анализа с обязательным рассмотрением соотношения стандартного и специального инструмента. При этом предпочтение отдается универсально-сборным конструкциям.

ГПС строятся на основе применения обычных универсальных и агрегатных станков с ЧПУ, управляемых от ЭВМ. В процессе обработки спутники с заготовками с помощью транспортной тележки перемещаются и устанавливаются на автооператор. После обработки автооператор снимает готовую деталь с рабочего стола и ставит новую заготовку. Спутник с готовой деталью автоматически перегружается в транспортную тележку и доставляется в позицию разгрузки. Программа может предусматривать и одновременную загрузку-выгрузку станков. Время транспортирования и выгрузки деталей, а также загрузки заготовок перекрывается, временем их обработки.

ГПС, построенная на основе токарных станков с ЧПУ, имеет участок настройки инструмента, транспортные средства и механизмы, обеспечивающие доставку заготовок и инструмента к рабочим местам. Инструментальная система работает следующим образом.

Предварительно настроенный инструмент устанавливается в; определенную позицию револьверной головки, которая расположена на станции загрузки—выгрузки. Скомплектованную револьверную головку по команде ЭВМ доставляют к поворотному устройству и устанавливают на позицию ожидания. После окончания обработки предыдущей партии деталей робот-манипулятор снимает отработавшую револьверную головку станка и устанавливает на вторую позицию поворотного устройства, которое автоматически разворачивается на 180°. Робот-манипулятор снимает револьверную головку с настроенным инструментом с поворотного приспособления и устанавливает ее на станок. Револьверная головка с отработанным инструментом доставляется на участок настройки для перекомпоновки новым комплектом инструмента. Далее цикл повторяется. Обеспечение участка заготовками осуществляется через склад-накопитель транспортной тележкой и порталными роботами. Управление работой участка осуществляет ЭВМ.

Типовая инструментальная система ГПС из многоцелевых станков с программным управлением имеет сменные дисковые инструментальные магазины.

Последовательность его работы следующая. Свободный инструментальный магазин по команде ЭВМ устанавливается на выкатной платформе и подается в позицию загрузки. Инструмент наладки предварительно настраивается на приборах и по команде слесаря-инструментальщика с помощью робота-манипулятора устанавливается в определенную позицию магазина. Координаты настройки инструмента передаются в ЧПУ станка. Загруженный инструментальный магазин на выкатной платформе возвращается в зону действия робота-манипулятора, который устанавливает инструментальный магазин на позицию накопителя. Магазин с отработанным инструментом при запуске заготовок в обработку перемещается на свободную позицию накопителя, а магазин с настроенным инструментом устанавливается в приемное устройство ГПС. Смена инструментальных магазинов производится по команде ЭВМ.

Инструментальный магазин с отработавшим инструментом размещается на выкатной платформе и подается на позицию выгрузки. Для выгрузки в автоматическом режиме робот-манипулятор перемещает отработавший инструмент из магазина в приспособление для разбраковки. Разукомплектованный инструментальный магазин подается на позицию загрузки. Слесарь-инструментальщик разбирает инструмент, сортирует его по степени пригодности и направляет на восстановление (ремонт, заточка и т. д.).

Сложность задач, решаемых инструментальными модулями, непрерывно растет. Это обусловлено как увеличением числа применяемых инструментов, так и повышением выполняемых ими операций и переходов. Сейчас эксплуатируются многооперационные станки, имеющие до 200 единиц инструмента, что приводит к удорожанию применяемых систем смены инструмента: при этом снижается скорость перемещения инструмента внутри магазина, возрастает время его поиска. В некоторых конструкциях инструментальных систем время на смену инструмента непосредственно на станке составляет в смену от 30 до 60 мин.

Автоматизированные инструментальные модули обеспечивают автоматическую подачу в ГПС отдельных инструментов и их комплектов, а также выполняют функции транспортно-накопительных систем:

- автоматическую подачу в ГПС новых комплектов инструментов;
- автоматическую загрузку и выгрузку инструментов из магазинов станков при переходе на обработку другой заготовки;
- автоматизированный контроль состояния режущего инструмента в процессе его эксплуатации на рабочей позиции;
- автоматическую передачу отработавших инструментов на сортировку;
- хранение инструмента в центральных накопителях.

Решающее значение для проектирования инструментальных модулей имеют построение единой системы кодирования инструмента и разработка алгоритма инструментального обслуживания ГПС; он определяет регламентированную последовательность подготовки, сборки и доставки инструмента непосредственно на рабочую позицию станка, удаление отработавшего инструмента и его разборку. Алгоритм инструментального обслуживания должен учитывать конструкции инструмента, математическое обеспечение по учету, распознаванию, определению ресурса режущего инструмента и его контролю непосредственно на станке, автоматизацию

подготовительных работ по подготовке инструментальной оснастки. При этом большое значение имеет:

- высокая степень унификации и стандартизации режущего и вспомогательного инструмента;
- применение сменных магазинов инструментов, каждый из которых обслуживает одну деталь-операцию;
- автоматизированная подача из центрального магазина в магазин станка инструмента (для обработки заготовки) и удаление из магазина станка поломанного и изношенного инструмента;
- индивидуальная подача инструмента из центрального магазина в магазин станка и индивидуальное удаление инструмента из магазина станка в центральный инструментальный магазин. Свободный доступ от нескольких станков к внешнему инструментальному магазину дает возможность готовить значительно меньшее число инструментальных наладок.

Одним из преимуществ использования центрального магазина является возможность эксплуатации инструмента без необходимости увеличения вместимости магазинов отдельных станков. Замена изношенного инструмента производится автоматически, в течение основного машинного времени. Управление системой, транспортирования и контроля стойкости инструмента осуществляет ЭВМ.

5. НАДЕЖНОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Надежность обрабатывающей системы ГПС — свойство системы выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в установленных на операцию пределах в течение требуемого времени; оно определяется временем наработки на отказ. Основными эксплуатационными показателями технологической системы являются качество изготовленной детали, стойкость и прочность инструмента, производительность обработки. Характеристиками надежности обрабатывающей системы являются точность и качество обработанной поверхности, стойкость и долговечность инструмента и другие показатели.

ГПС представляет собой сложную техническую систему, надежность которой определяется на основе анализа сложной иерархической (многоуровневой) структуры. Надежность ГПС в целом является комплексным показателем, суммирующим по определенным законам показатели надежности ее основных составляющих элементов. Степень влияния характеристик надежности отдельных элементов ГПС на характер закона распределения времени безотказной работы технологической системы в целом (в том числе многоинструментальной наладки) определяется математической моделью, предложенной А. И. Дашенко, которая позволяет найти время безотказной работы системы в целом:

$$F_{ст}(T) = p_{ст}(\tau \leq T) = 1 - (1 - p_{1юз}) \times (1 - p_{2юз}), \dots, (1 - p_{mюз}) \times (1 - p_{1ин}), \dots, (1 - p_{нин}).$$

Характеристика надежности каждого из n инструментов оценивается законом распределения Вейбулла:

$$F_n(T) = P(\tau \leq T) = 1 - e^{-\left[\frac{T}{T} \times \Gamma \times \left(1 + \frac{1}{b}\right)\right]^b}$$

где T — средняя стойкость инструмента; P — вероятность безотказной работы; Γ — гамма-функция; b — показатель степени, определяющий форму кривой.

Вероятность работы ГПС, состоящей из m узлов и n инструментов, до первого отказа:

$$F_{\text{ГПС}}(T) = 1 - e^{-T \times \sum_{i=1}^m (d_i \times (\alpha_{oi} + k_i \times T))} \times \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - e^{-d_i \times \left[\frac{T}{T} \times \Gamma \times \left(1 + \frac{1}{b}\right)\right]^b} \right\}$$

где d — коэффициент занятости элемента в системе.

Надежность ГПС в первую очередь зависит от ее конструктивной сложности, степени дополнения механических узлов электрическими и пневмогидравлическими устройствами. Одним из основных показателей надежности любого узла ГПС, в том числе инструмента, служит так называемая наработка на отказ, т. е. время до первого выхода из его состояния, пригодного для последующей эксплуатации, например вследствие поломки. Так, если принять, что для универсальных станков этот показатель равен 1, то для станков с ЧПУ, являющихся основой построения ГПС, он равен 0,4—0,6. У роботизированных технологических комплексов этот показатель снижается до 0,3—0,4, а у автоматических линий — до 0,25—0,3. Между тем, времени на ремонт станков с ЧПУ требуется в 5—6 раз, а автоматических линий в 6—8 раз больше, чем на ремонт универсального оборудования. Для успешной эксплуатации ГПС необходимо, чтобы наработка их на отказ была в 8—10 раз больше. Для этого необходимо повысить надежность ее составных элементов. Так, продолжительность непрерывной безотказной работы устройств ЧПУ надо увеличить до 5—10 тыс. ч, электромеханических средств до 10 тыс. ч ресурс работы ЭВМ необходимо повысить до 10—20 тыс. ч, а надежность инструмента повысить в 3—4 раза.

Работоспособное состояние технологической системы определяется двумя группами технологических показателей: качеством изготовления инструмента, т. е. совокупностью его конструктивных, геометрических и физико-механических параметров и условиями его эксплуатации, к которым относятся: обрабатываемость материала, свойства станка и оснастки, например жесткость, вид СОЖ и способ ее подачи. Типовыми причинами отказа инструментальной системы являются: чрезмерное затупление наиболее нагруженного инструмента, достижение в процессе обработки недопустимых значений физических параметров процесса обработки (силы и температуры резания, предельного уровня вибраций и т. п.) или улучшение качества изготовленных деталей (точность и шероховатость обработанной поверхности).

Отказы технологической системы подразделяются на функциональные и параметрические. Функциональный отказ приводит к тому, что один из элементов ГПС не может выполнить своих функций. Примером устранимого функционального отказа для инструмента является его износ, примером неустраняемого отказа — поломка режущей кромки или пластинки, отделение пластинки от корпуса инструмента вследствие разрушения припоя или ненадежности механического крепления, разрушение корпуса инструмента или его опорной части.

Параметрический отказ характеризуется выходом изготовленной детали за установленные операционным эскизом пределы поля допуска размеров. Такие отказы не ограничивают дальнейшей эксплуатации ГПС, однако они приводят к выпуску некачественной продукции.

Стабильность значений технологических параметров зависит от показателей конкретной обрабатывающей системы — ГПС. Так, например, инструментальные материалы — твердые сплавы и режущая керамика — характеризуются высокой нестабильностью физико-механических характеристик: плотностью, прочностью, пористостью. Нестабильны и параметры обрабатываемых заготовок: различный припуск, твердость и многие другие переменные факторы.

Качество изготовленных деталей определяется совокупностью показателей двух групп. Они разделяются на геометрические и физико-химические. Основными геометрическими показателями являются точность размеров, формы и взаимного расположения поверхностей детали, а также шероховатость и волнистость поверхности. Характеристики шероховатости поверхности могут быть нестабильными. Так, после ультразвуковой обработки абразивной суспензией хрупких неметаллических материалов образуются периодические и случайные составляющие микропрофиля поверхности детали. Первые обусловлены вибрационным характером разрушения абразивным зерном и периодической структурой обрабатываемого материала, вторые — неправильной формой абразивных зерен.

Физико-химические показатели детали определяются прежде всего свойствами материала поверхностного слоя (рис. 18); они в первую очередь влияют на эксплуатационные характеристики детали, и оцениваются тремя основными факторами:

1) степенью наклепа поверхностного слоя
$$\Delta H_w = \frac{H_{w_n} - H_{w_0}}{H_{w_0}} \times 100\%$$

вычисляемой как отношение разности наибольшей микротвердости наклепанного слоя H_{w_n} и микротвердости основного материала (сердцевины) H_{w_0} к H_{w_0} ;

2) глубиной наклепанного слоя h_n ;

3) величиной, характером распределения и знаком остаточных напряжений, действующих в поверхностном слое детали (I, II, III)

Помимо этого физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются определенной ориентацией (текстурой) деформированных зерен, изменением их формы и размеров (обычно вытянуты в направлении движения резания), целостностью материала поверхностного слоя, т. е. наличием в нем макро- и микротрещин, структурными превращениями и другими свойствами. В процессе резания может также происходить альфирование обработанной поверхностью детали; оно является результатом поглощения водорода, азота и кислорода от окружающей среды.

Показателями надежности инструментальной системы являются: безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость. Эти показатели влияют на работу всех узлов инструментальной системы. Собственно инструмент является главным и наиболее «слабым» с точки зрения надежности ее элементов. Следует отметить, что надежность инструмента, производительность обработки и качество изготовленных деталей являются взаимосвязанными показателями операции механической обработки. Обычно с увеличением производительности снижается надежность инструмента, а часто и качество деталей.

Безотказность — свойство инструмента сохранять работоспособность в течение заданного времени без вынужденных перерывов. Следует различать отказ — состояние инструмента, заключающееся в нарушении его работоспособности, например, вследствие разрушения режущего клина, и неисправность — состояние инструмента, когда он не соответствует хотя бы одному из требований технической документации. Примером последнего может быть ослабление крепления режущей пластинки на державке.

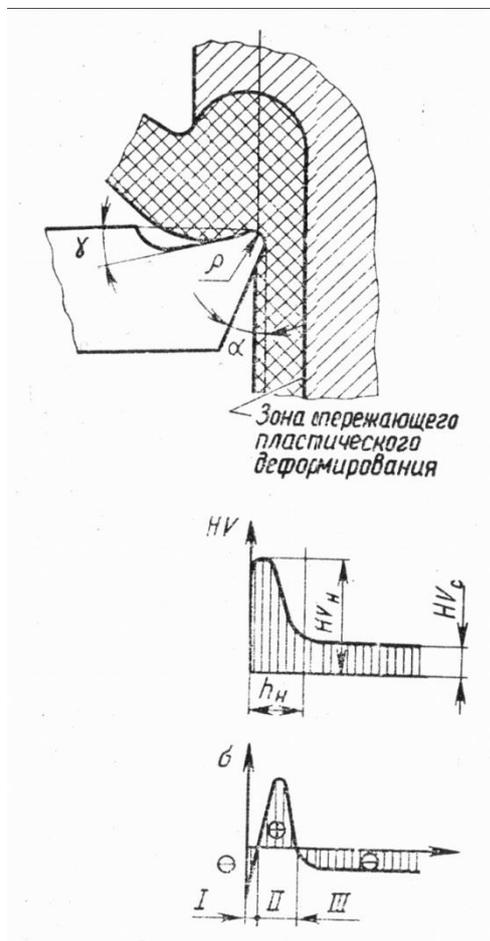


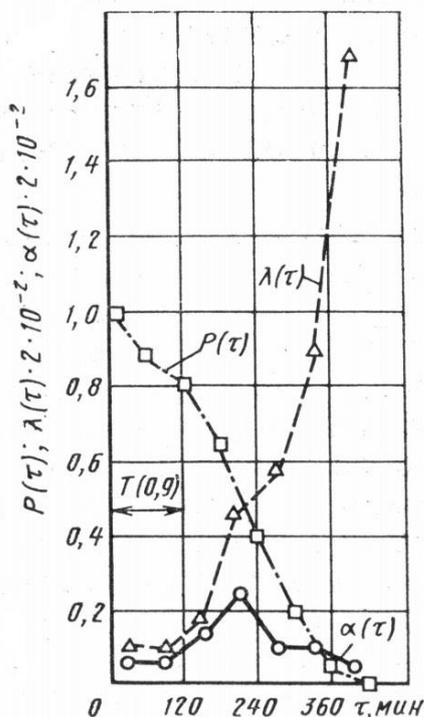
Рис. 18. Физико-механические показатели материала поверхностного слоя: распределение микротвердости NV и остаточных напряжений σ

Отказы инструмента могут приводить к частичной или полной потери его работоспособности; в первом случае они являются устранимыми, т. е. работоспособность инструмента можно восстановить повторной заточкой рабочих граней, ремонтом корпуса или других его деталей. Устранимыми отказами могут быть износ, истирание или микровыкрашивание, образованные в процессе обработки качества детали ниже допустимого по точности, шероховатости поверхности или физико-механическим свойствам поверхности слоя; возникновение в процессе обработки повышенных сил резания, допустимых для станка, приспособления или заготовки; образование стружки, опасной для рабочего, ее заклинивание; возникновение вибраций недопустимой интенсивности. Неустралимыми отказами являются: выкрашивание одной из режущих кромок; поломка режущей пластинки или ее отделение от корпуса инструмента вследствие разрушения припоя или механического крепления; разрушение корпуса инструмента или его опорной части под пластину. Каждый типоразмер инструмента имеет свое относительное количественное соотношение различных видов отказов; оно зависит также от условий обработки.

Безотказность инструмента является главным показателем его надежности. Она характеризуется продолжительностью работы инструмента, т. е. временем работы p до любого полного отказа, суммарным временем работы $\sum \tau_i$ до полного неустралимого отказа или числом повторных заточек k_i до наступления полного неустралимого отказа. В массовом производстве более удобно определять эти характеристики числом деталей, обработанных данным инструментом, до любого отказа Z_d и $\sum Z_d$ до неустралимого отказа.

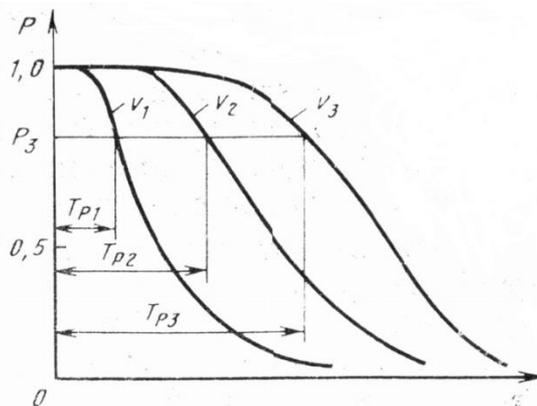
Безотказность определяется также вероятностью $P(\tau)$ безотказной работы в пределах заданного времени $\tau = T$. Так, например, если коэффициент надежности инструмента $P = 0,95$ при периоде стойкости $T = 100$ мин, это означает, что из большого числа использованного для обработки инструмента в среднем около 5% его потеряет свою работоспособность раньше чем через 10 мин работы.

Безотказность инструмента определяется также интенсивностью отказов. Интенсивность отказов $\lambda(\tau)$ определяется вероятностью отказа в единицу времени после данного момента обработки при условии, что отказ до этого момента не возник. Таким образом, эта характеристика позволяет вскрыть причину отказов.



< Рис. 19. Вероятностные характеристики надежности твердосплавных резцов

Рис. 20. Зависимость вероятности P безотказной работы инструмента от времени t при различных скоростях v_1, v_2, v_3 резания ($P_3 = \gamma\%/100\%$ — заданное значение P)



Дополнительными показателями безотказности инструмента является средняя частота отказов $\alpha(\tau)$, определяющая среднее число отказов инструмента в единицу времени, взятой для рассматриваемого момента времени, и среднее время безотказной работы τ_0 [14]:

$$P(\tau) = \frac{[N_0 - n_\tau]}{N_0}; \quad \lambda_\tau = \frac{[2\Delta n(\tau)]}{[(N_i + N_{i+1})\Delta\tau]}; \quad \alpha(\tau) = \frac{[\Delta n(\tau)]}{N_0 \Delta n}; \quad \tau_0 = \sum_{i=1}^{i=N_0} \frac{\tau_i}{N_0},$$

где N_0 — число инструментов в начале испытаний; $n(\tau)$ — число отказов за время τ ; $\Delta n(\tau)$ — число отказов в интервале времени от $(\tau - \frac{\Delta\tau}{2})$ до $(\tau + \frac{\Delta\tau}{2})$; N_i, N_{i+1} — число работоспособных инструментов соответственно в начале и конце интервала $\Delta\tau$.

Характеристика безотказности работы резцов с пластинками из твердого сплава Т5К11 на операции полустачного растачивания колес вагонеток ($t = 1,25$ мм, $S_0 = 0,76$ мм/об, $v = 43,4$ м/мин, СОЖ — 5%-ная эмульсия) представлена на рис. 19. Зависимость $P(\tau)$ называют кривой надежности. По ней можно найти $T(P)$ — время безотказной работы инструмента с вероятностью P , т. е. время, за которое откажет в среднем P 100% инструментов.

Зависимость вероятности P безотказной работы инструмента от периода стойкости T при различных скоростях резания показана на рис. 20 [4]. Задаваясь определенным значением $P_3 = \gamma/100$, можно получать различные значения 7%-ной стойкости. Она зависит от выбранной

скорости резания и определяется величиной периода стойкости, которую с вероятностью P безотказной работы имеют или превышают $y\%$ резцов.

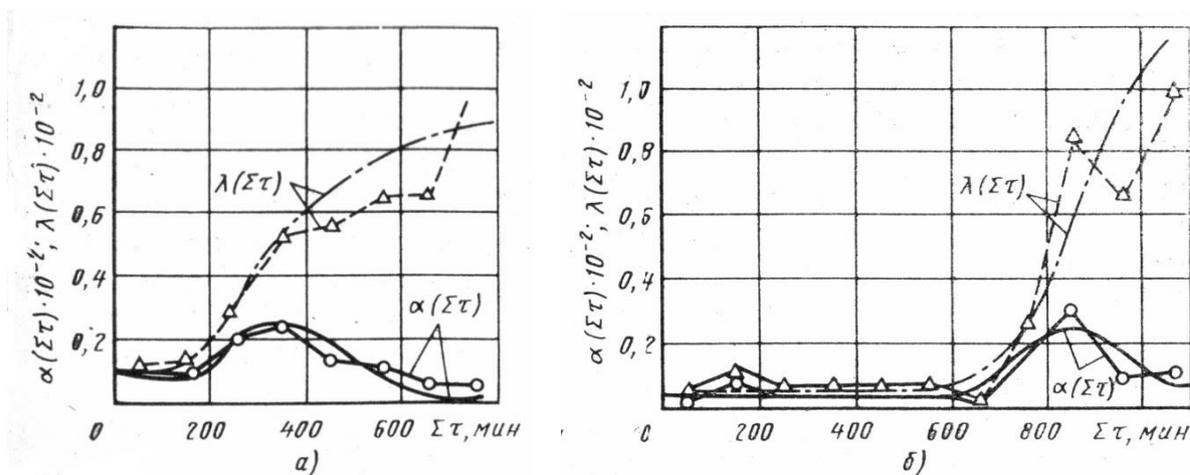


Рис. 21. Долговечность работы резцов при установке режущих пластин Т15К6 на необработанную (а) и шлифованную поверхность (б) державки

Ремонтопригодность — свойство инструмента, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправности путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Время $t_{в}$ на восстановление инструмента складывается из времени на его заточку, замену, регулировку сборного инструмента, смену и наладку. Ремонтопригодность инструмента оценивается средним временем восстановления $t_{в.о}$. Так, например, инструмент с неперетачиваемыми пластинками обладает более высокой ремонтопригодностью в связи с уменьшением времени на восстановление его работоспособности.

Долговечность — свойство инструмента сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Долговечность D инструмента количественно выражается теми же характеристиками, что и безотказность, если рассматривать только неустраняемые отказы, т. е. все характеристики принять в функции суммарного времени работы Δt . Характеристики долговечности работы резцов при установке твердосплавных пластинок Т15К6 на черновую (а) и шлифованную (б) опорную поверхности в державке показаны на рис. 21. Операция — точение по корке осей из стали 45 на полуавтоматах МК-65; $t = 6,5$ мм, $S_0 = 0,5$ мм/об, $v = 151$ м/мин, СОЖ — 5%-ная эмульсия. Повторная заточка инструмента неустраняемым отказом не считается. Таким образом, основной характеристикой является средняя долговечность инструмента, определяемая как среднее суммарное время безотказной работы [12].

Функции распределения долговечности инструмента характеризуют зависимость между вероятностью разрушения или износа до предельного значения и наработкой в условиях эксплуатации. Значение этой функции позволяет устанавливать так называемые медианный и 7%-ные ресурсы работы инструмента.

Для гибких и автоматизированных систем средние значения стойкости инструмента не являются удовлетворительными характеристиками его эксплуатации. Для определения

надежности все чаще применяются показатели стабильности [8]. Среди них основными являются среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v . Значение σ имеет ту же размерность, что и период стойкости T . Он применяется для оценки рассеивания стойкости при определенных и неизменных условиях обработки. Коэффициент v — безразмерный, он более универсальный и позволяет сравнивать результаты обработки, сильно различающиеся по условиям проведения, прежде всего режимам резания.

Время безотказной работы инструмента T_p с заданной вероятностью P является суммарной характеристикой надежности инструмента.

Закон распределения показателей стойкости при удовлетворительных условиях эксплуатации инструмента (когда $v \leq 0,35$) обычно близок к нормальному. В этом случае

$$T_p = \bar{T}(1 - U_{pv})$$

где \bar{T} — среднее значение стойкости; U_p — квантиль нормального распределения, определяемый по таблицам интеграла вероятностей. Так, для $P = 0,9$; $U_p = 1,282$; для $P = 0,95$; $U_p = 1,645$. Надежность инструмента можно оценивать и относительным показателем $k_{n=\frac{T_p}{T}}$

Стабильность изготовления инструмента и условий его эксплуатации хорошая, если $v \leq 0,2$, удовлетворительная при $v = 0,2 \dots 0,35$ и плохая, если $v > 0,5$. В последнем случае рассеивание стойкости слишком велико, что в условиях массового производства требует часто менять инструмент или снижать режимы резания. Оптимизация конструкций инструмента приводит к повышению не только среднего значения стойкости \bar{T} , но и к меньшему коэффициенту вариации. Последнее (например, оптимизация параметров заточки сверл) показывает существенно большее различие в значениях $T_{0,9}$ (в 6,1 раза), чем в значениях T (в 3,4 раза).

Условия эксплуатации влияют на коэффициент вариации обычно лишь тогда, когда они выходят за пределы нормальных для данного инструмента. При обработке колец шарикоподшипников из стали ШХ15 твердосплавными резцами зависимость v от скорости резания не обнаружена. Например, переход от черновой обработки прежде всего при резании по корке к чистовой, характеризующейся большей стабильностью условий обработки, приводит к уменьшению v . Так, твердосплавные резцы при черновой обработке чугуна имеют $v = 0,30$, при чистовой $v = 0,22$. Сложнорежущий инструмент изготавливают с учетом его повышенной стоимости, более качественно, поэтому, например, при обработке протяжками по чугуну $v = 0,20$.

Методы определения надежности инструмента делятся на два класса — статистически-вероятностные и расчетно-аналитические, построенные на анализе физико-химического механизма эксплуатации. Статистически-вероятностные методы оценки надежности технологических систем, приведенные выше, получили к настоящему времени наибольшее распространение. Это объясняется достаточно глубокой разработкой их теории и простотой применения. Вместе с тем общеизвестны их недостатки: количественные результаты верны только для тех условий обработки, применительно к которым получены исходные экспериментальные данные для построения эмпирических формул.

Наряду с этим статистически-вероятностные методы, устанавливая количественное влияние на надежность определенного фактора, не выясняют физического механизма износа на

разрушение инструмента. Поэтому статистически-вероятностные методы не позволяют разрабатывать коренные мероприятия по улучшению надежности систем. Этим недостатком не имеют расчетно-аналитические методы анализа, построенные на описании физико-химического механизма влияния конструктивно-технологических факторов на надежность инструмента. Наибольшую эффективность показывает совместное использование статистически-вероятностных и физико-химических методов для повышения надежности инструмента. Так, например, одновременно строится физическая модель отказов инструмента и инструментальной системы в целом. В лабораторных условиях изучается механизм износа и разрушения инструмента и параллельно с этим проводится статистически-вероятностное обследование производственных данных эксплуатации инструмента.

Физико-химический механизм отказов определяется теоретическими и экспериментальными исследованиями. Так, прочность режущей кромки находится расчетами при статическом и динамическом нагружении. Среди экспериментальных методов для этой цели наиболее часто используется измерение предельной (ломающей) толщины срезаемого слоя $a_{пр}$ или подачи $S_{пр}$. Основным методом нахождения $a_{пр}$ для данных условий обработки является постепенное ступенчатое увеличение толщины среза до наступления режущей части инструмента.

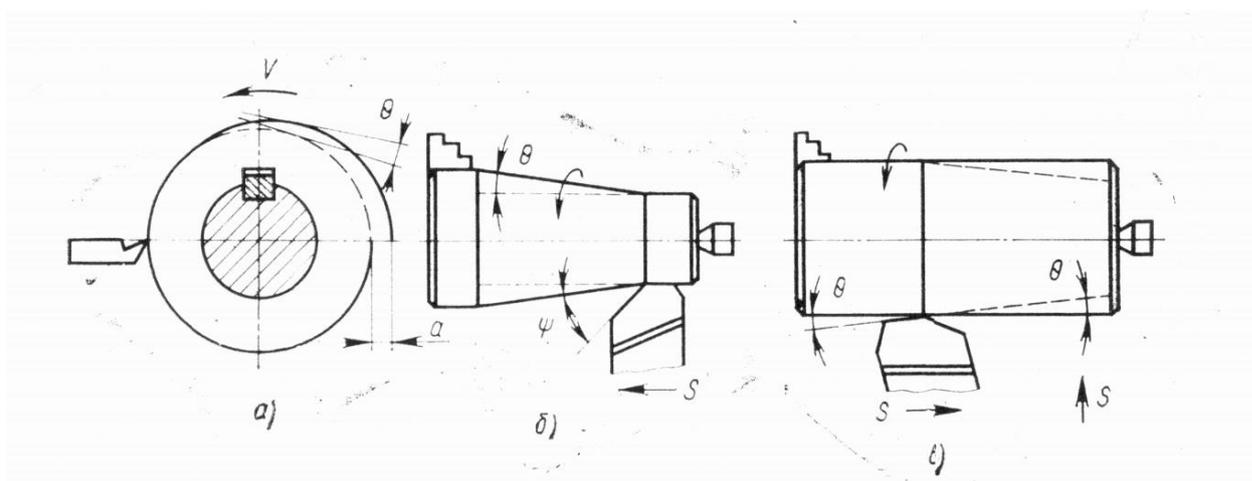


Рис. 22. Методы определения величины подачи, разрушающей режущий клин инструмента

В последнее время разработаны ускоренные методы испытаний. Одним из таких методов является фрезерование однозубым вращающимся инструментом плоской заготовки, установленной с наклоном на столе фрезерного станка; момент разрушения режущей кромки определяется по резкому изменению формы прорезной канавки; этим методом может исследоваться как лезвийный инструмент, так и абразивный. Другим методом экспериментальной оценки прочности режущего клина [3] является свободное точение образца-заготовки, имеющего вид плоского дискового кулачка (рис 22, а).

Для исследования прочности рабочей части инструмента при несвободном резании используется образец-заготовка в виде прямого круглого усеченного конуса (рис. 22,б); при этом $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 0$, длина режущей кромки $l_{пр} = 1,25$. В целях экономии материала может быть использован также цилиндр, обрабатываемый в прямой круговой усеченный конус (рис. 22, в). Во всех трех последних методах момент разрушения режущего клина определяется по изменению

шероховатости обработанной поверхности. Кроме того, для труднообрабатываемых материалов следует применять по сравнению с обычными значительно меньшие углы наклона.

Отказы инструмента определяются тремя группами физико-химических процессов, воздействующими на его режущий клин: медленно протекающие процессы, к которым можно отнести изнашивание рабочих поверхностей инструмента; процессы, протекающие со средней скоростью (пластическое деформирование и разрушение режущего клина инструмента); быстропротекающие процессы, обусловленные, например, хрупким разрушением режущего клина.

Отказы инструмента в соответствии с этим делят на три группы: отказы, обусловленные нормальным $P_{н.и} = n_{н.и}/n$ и интенсивным $P_{и.и} = n_{и.и}/n$ износом инструмента, а также отказы, обусловленные $P_p = n_p/n$ инструмента. Затем вся совокупность возможных отказов оценивается вероятностью осуществления соответствующих событий:

$$P_{н.и} + P_{и.и} + P_p = 1;$$

при этом соотношение различных отказов определяется как отношение отказов соответствующего вида $n_{н.и}$, $n_{и.и}$, n_p к объему n исследуемой выборки. Более полной характеристикой по сравнению со средней стойкостью являются значения стойкости, отвечающие определенному физическому виду отказа.

Стойкость нормально изношенных инструментов

$T_{н.и} = \frac{1}{n_{н.и}} \sum_{i=1}^{n_{н.и}} T_{н.и.i}$ — это среднее значение стойкости инструмента, текущие значения которых $T_{н.и}$ равны или выше среднего значения выборки ($T_i \geq T$).

Стойкость интенсивно изношенных инструментов $T_{и.и} = \frac{1}{n_{и.и}} \sum_{i=1}^{n_{и.и}} T_{и.и.i}$ — это среднее значение стойкости инструментов, текущие значения которых ($T_i < T$).

Стойкость разрушенных инструментов $T_p = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} T_{p.i}$ — это среднее значение времени работы инструментов, вышедших из строя в результате разрушения.

Количественные показатели надежности инструмента находят из установленного закона распределения стойкости. Так, например, для нормального закона вероятность появления нормально изношенного инструмента $P_{н.и}$, т. е. вероятность безотказной работы инструмента $P(\tau)$:

$$P_{н.и} = P(\tau) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^T e^{-\frac{(\tau-\bar{T})^2}{2\sigma^2}} dT$$

Надежность инструмента определяется вероятностью его безотказной работы $P(\tau)$, интенсивностью отказов $\lambda(\tau)$, плотностью распределения стойкости $f(\tau)$:

$$P(\tau) = \frac{n-m(\tau)}{n}; \lambda(\tau) = \frac{2\Delta m(\tau)}{(n_j+n_{j+1})\Delta\tau}; f(\tau) = \frac{\Delta m(\tau)}{n\Delta\tau},$$

где n — объем выборки; $m(\tau)$ — число отказавших инструментов; $\Delta m(\tau)$ — число инструментов, отказавших в интервале времени от $(\tau - \frac{\Delta\tau}{2})$ до $(\tau + \frac{\Delta\tau}{2})$, n_j , n_{j+1} — число инструментов, работоспособных соответственно в начале и конце j -го интервала времени $\Delta\tau$.

Следует отметить, что прежде всего в автоматизированном производстве использовать понятие среднего значения стойкости T вследствие большого ее рассеяния нельзя. Так, например, производственные испытания двух партий конусных фрез, изготовленных на различных заводах по одинаковой технологии, показали (при одинаковой средней стойкости $T = 18$ мин) различные значения коэффициента ее вариации (0,24 и 0,46). При этом стой-' кость с заданной вероятностью соответственно была равна 12,4 и 7,4 мин. Поэтому в настоящее время вместо понятия «средняя стойкость» рекомендуется применять «гамма-процентный период «стойкости», т. е. определять время резания инструмента, в течение которого он не достигнет отказа с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах. Объем работы, выполняемый режущим инструментом, может определяться интервалом времени, длиной пути резания, площадью обработанной поверхности, объемом снятого материала, числом обработанных заготовок. В «связи с этим параметры, определяющие наработку режущего инструмента, разделяют на временные, путевые, поверхностные, объемные и штучные. Период стойкости инструмента T является частным случаем временной наработки до отказа, выраженной машинным временем T_m :

$$T_m = \frac{T l_{p.x}}{l_p} = \frac{T t_{p.x}}{t_p}; l_T = T v ,$$

где $l_{p.x}$, $t_{p.x}$ — соответственно длина и время рабочего хода инструмента; l_p , t_p — соответственно длина и время резания; l_T — путевая наработка между отказами, определенная периодом стойкости T .

Программный метод испытаний инструмента выполняет следующие задачи:

- проводит оценку работоспособности инструмента по всему спектру внешних воздействий обусловленных рабочим процессом резания на данной операции ГПС;
- устанавливает для данного типа инструмента регламентируемые выходные технологические параметры; к ним относятся в первую очередь период стойкости, допустимые прочностные характеристики, показатели надежности.

Программный метод испытаний имеет следующие отличительные особенности:

- сочетание общепринятых методов испытаний с прогнозированием надежности инструмента на основе моделей отказов;
- одновременное использование как априорной информации, так и информации, получаемой при испытании конкретных типов инструментов;
- широкое применение ЭВМ в испытательно-диагностическом комплексе для управления испытаниями, обработки информации и прогнозирования условий эксплуатации инструмента.

Испытательно-диагностический комплекс (рис. 23) с помощью нагрузочного устройства обеспечивает условия нагружения, соответствующие его работе на данной операции. Испытания проводятся из последовательных этапов, имитирующих физико-химические нагрузки процесса резания. Число циклов на каждом этапе должно быть достаточным для статистической обработки. Априорная информация позволяет сформулировать входные данные и преобразовать их в управляющие сигналы для программного управления; банк данных содержит необходимые сведения о рабочем процессе.

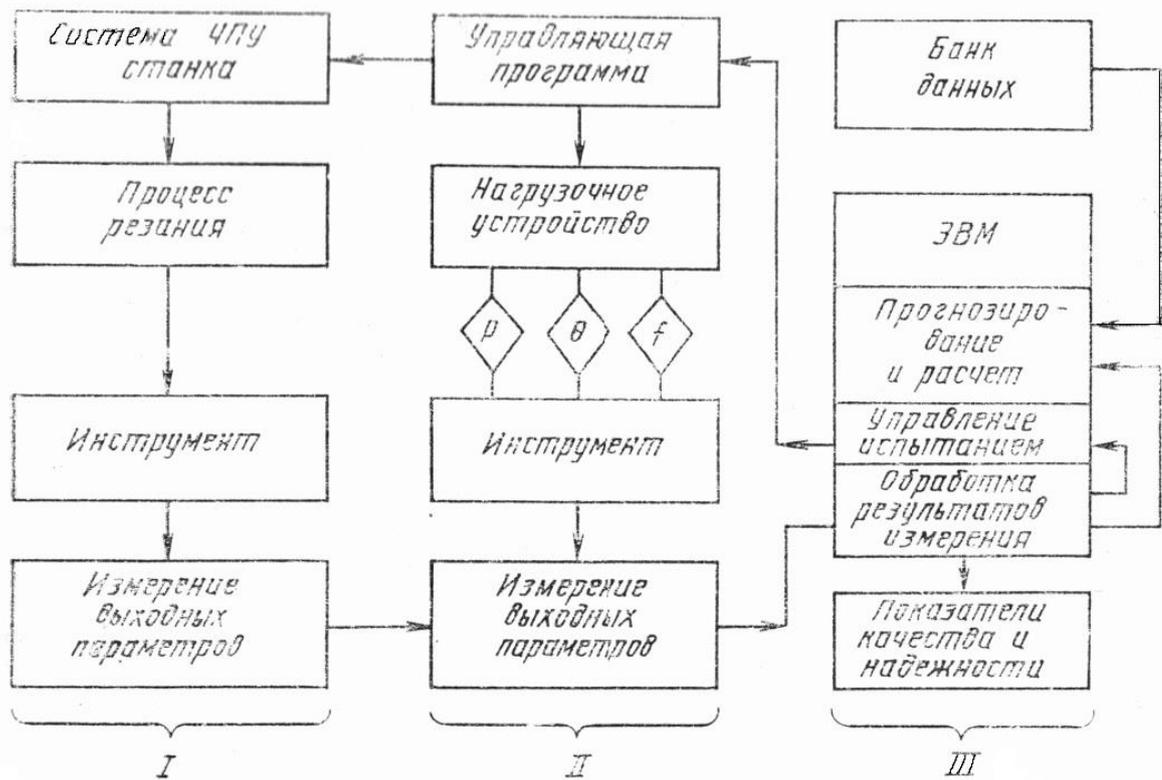


Рис. 23. Схема испытательно-диагностического комплекса инструмента

В результате расчетов испытаний и прогнозирования оценивается соответствие инструмента заданным на операцию технологическим требованиям; в случае необходимости проводится его оптимизация. Реализация изложенной блок-схемы производится на базе станка с ЧПУ (I) или в виде специального стенда (II) (см. рис. 23); в обоих случаях применяется ЭВМ как для управления процессом испытания инструмента, так и для выполнения трудоемких вычислений. Решающее значение при этом имеет математическое обеспечение. Прикладные программы обеспечивают выполнение следующих процедур:

- 1) формирование входных данных о конструктивно-технологических параметрах инструмента, рабочем процессе резания; на этой основе определяются законы распределения нагрузок, формирование их комбинированного воздействия и параметры управляющих сигналов;
- 2) обработка результатов измерений, их статистическое обобщение;
- 3) расчет оптимальных параметров стойкости, прочности и надежности инструмента с применением теоретических и экспериментальных способов, в том числе физико-статистического моделирования;
- 4) прогнозирование ресурса работы инструмента.

Прогнозирование надежности инструментальной оснастки можно производить как на стадии проектирования, так и на стадии отработки и в производственных условиях. На этапе проектирования расчет надежности производится по задаваемым статистическим технологическим параметрам и получаемым опытным путем для данных условий. Расчетная

оценка надежности позволяет исключить непосредственные испытания надежности, если ясно, что риск при этом невелик; или снизить объем испытаний как по объему, так и по их сложности; произвести изменения операции, повышающие ее безотказность; выявить все наименее надежные детали и узлы ГПС в целом, в том числе инструментальной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Инструментальная технологическая оснастка оказывает решающее значение на эффективность промышленного применения ГПС и автоматизированных производственных систем; она обеспечивает оптимальные условия выполнения рабочего процесса обработки.

2. Решение современной проблемы построения малолюдной, трудо- и энергосберегающей технологии, комплексной механизаций, роботизации, автоматизации машиностроительного процесса возможно только на базе применения современных рабочих процессов, в том числе перехода на качественно новые физико-химические методы обработки, обеспечивающие коренное повышение производительности и учитывающие специфические условия реализации рабочего процесса в оборудовании с ЧПУ.

3. При создании принципиально новых механических, физических и химических способов обработки инструментальная оснастка позволяет во многих случаях разрешить традиционные противоречия обычных методов обработки: производительность обработки — качество деталей, универсальность станков — специализация оборудования, ручной труд — автоматизация, стабильность производства — быстрое освоение новых типов машин и др.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите основные составляющие элементы гибкой и автоматизированной производственной системы, типы и методы компоновки на них инструментальных систем.

2. Назовите основные узлы инструментальной системы ГПС, их назначение. Опишите их типовые схемы конструктивного оформления.

3. Постройте схему технологической системы, определите место инструментальной оснастки, средства построения адаптивных обрабатывающих систем. Назовите виды обратных связей, освоенные в промышленности.

4. Опишите инженерную методику проектирования инструментальной системы, ее этапы с изложением содержания каждого из них.

5. Изложите технологические схемы многоинструментальной обработки; определите достоинства и недостатки каждой из них.

6. Дайте определения и изложите конкретные конструкции многоинструментальных систем, построенных по схемам кинематического совмещения методов обработки одного или нескольких классов.

7. Опишите перспективы применения инструментальных систем, построенных по схеме физико-химического совмещения различных методов обработки.

8. Назовите основные конструктивные элементы инструмента для ГПС, приведите конкретные примеры.

9. Что собой представляют сборный и модульный инструмент, каковы его основные достоинства?

10. Опишите конкретные конструкции ГПС для многоинструментальной обработки.

11. Назовите виды технологической гибкости инструментальной оснастки, количественные критерии ее оценки.

12. Изложите особенности инструментальной оснастки для ГПС и ГАП.
13. Дайте понятие технологической, структурной и организационной гибкости инструментальной оснастки.
14. Изложите подробно последовательность функционирования типовой инструментальной системы ГПС.
15. Назовите перспективы развития инструментальной оснастки для ГПС.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ И ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МАТЕРИАЛА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

1. Ознакомьтесь на Вашем предприятии с автоматизированными станками, автоматическими линиями, станками с ЧПУ, гибкими и автоматизированными системами.
2. Ознакомьтесь с инструментальной оснасткой автоматизированного оборудования и выявите лимитирующие факторы, определяющие эффективность его эксплуатации.
3. Определите потери времени на лимитирующих операциях. Постройте диаграммы изменения размеров деталей, обработанных за период стойкости инструмента.
4. Изучите возможности повышения стойкости инструментов на лимитирующих операциях.
5. Проверьте правильность применяемых наладочных размеров инструментальной оснастки и возможность использования взаимозаменяемого инструмента.
6. Проверьте эффективность применения приборов и приспособлений при наладке и подналадке инструмента на станке и выявите целесообразность их совершенствования для повышения точности наладки, подналадки и сокращения простоев станков.
7. Выявите операции, на которых возникают простои из-за неудовлетворительного формирования стружки, и предложите пути устранения этих простоев за счет улучшения конструкции инструментальной оснастки.
8. Разработайте конструкции многоинструментальной оснастки для типовых операций, применяемых на Вашем предприятии.
9. Спроектируйте и внедрите инструмент сборной и модульной конструкций для действующего оборудования.
10. Выявите простои по организационно-техническим причинам и разработайте мероприятия по их устранению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.Н. Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания. (Андреев В.Н., Боровский Г.В., Григорьев С.Н. и др.). М.: Машиностроение, 2010, 479 с.
2. Боровский Г.В. Инструментальное производство в России. М.: ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», 2008, 160 с.
3. Боровский Г.В. Справочник инструментальщика (Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р.) / под общ. ред. А.Р. Маслова. 2-е изд., М.: Машиностроение, 2007, 464 с.
4. Боровой Ю.Л. Хвостовики инструмента конусностью 7:24 для станков с ЧПУ. (Боровой Ю.Л., Маслов А.Р., Минаева Н.И.). М.: ВНИИинструмент, 1978, 6 с.
5. Григорьев С.Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: справ. (Григорьев С.Н., Кохомский М.В., Маслов А.Р.) / Под общ. ред. А.Р. Маслова. М.: Машиностроение, 2006, 544 с. (Б-ка инструментальщика).
6. Дальский А.М. Ступени технологического обновления. «Справочник. Инженерный журнал», №9/2010, с. 5-8

7. Инструментальные системы машиностроительных производств: учебник. / Маслов А.Р. М.: Машиностроение, 2006, 336 с.
8. Инструментальное производство в СССР/под ред. К. Ф. Романова, М., ВНИИинструмент, 1967, 264 с.
9. Кузнецов Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ. Справочник (2-е изд., испр. и доп.) (Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н.). М.: Машиностроение, 1990, 512 с.
10. Лихциер Г.М., Маслов А.Р. Применение специальной инструментальной оснастки для повышения эффективности ГПМ. М.: ВНИИТЭМР, 1987, 52 с.
11. Локтев А.Д., Нахова Т.М. и др. Рациональная эксплуатация инструмента и инструментальнообслуживание многоцелевых станков с ЧПУ. Методические рекомендации. М: ВНИИТЭМР, 1989, 52с.
12. Маслов А.Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: справ. (3-е изд., испр. и доп.). М.: Машиностроение, 2008, 300 с.
13. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» /Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.:ил.
14. Научно-методические основы разработки и создания автоматизированных заводов //Под ред. О.И. Аверьянова и Б.И. Черпакова – М.: ЭНИМС, 1989, 196 с.:ил.
15. Прокопович А.Е. Технический прогресс в станкостроении СССР. М.: Минстанкопром, 1967, 128 с.
16. Рывкин Г.М. Инструментальная оснастка для механической обработки деталей в автоматизированном производстве. М.: Машиностроение, 1972, 146 с.
17. Система вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп. (Семенченко Д.И., Чиликов В.Т., Маслов А.Р.). М.: 1979, ВНИИТЭМР, 32с.
18. Система показателей качества вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ и ГПС. (Семенченко Д.И., Чиликов В.Т., Маслов А.Р.). М.: ВНИИТЭМР, 1986, 24 с.
19. Справочник технолога по автоматическим линиям/А.Г. Косилова, Л.Г. Лыков, О.М. Деев и др. / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1982, 320 с.
20. Фадюшин И.Л. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС. (Фадюшин И.Л., Маслов А.Р., Мещеряков А.И. и др.). М.: Машиностроение, 1990, 272 с.
21. Фрумин Ю.Л. Комплексное проектирование инструментальной оснастки. М.: Машиностроение, 1987, 343 с.
22. Хае Г.Л. Сборный твердосплавный инструмент. (Хае Г.Л., Гах В.М., Громаков К.Г. и др.). /под общ. ред. Г.Л. Хаега. М.: Машиностроение, 1989, 256 с. (Б-ка инструментальщика).
23. Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий. М.: Машиностроение, 1978, 248 с.