

Маслов А.Р.

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Курс лекций

Москва, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Вводная

Лекция 2. Управление инструментальным обеспечением

Лекция 3. Информационное обеспечение по инструментам и приспособлениям

Лекция 4. Расчет потребности в инструментальной оснастке

Лекция 5. Анализ условий эксплуатации

Лекция 6. Прогнозирование потребности в инструменте

Лекция 7. Унификация конструкций инструментальной оснастки

Лекция 8. Выявление отказа инструмента

Лекция 9. Устройства для автоматической смены инструмента

Лекция 10. Управление сменой инструмента

Лекция 1. Вводная

Современное технологическое оборудование для обработки резанием деталей машиностроения отличается высоким уровнем автоматизации. Автоматизированное машиностроительное производство включает в себя развитое технологическое оснащение и автоматические металлорежущие станки с компьютерными системами управления.

Инструментальное обеспечение таких станков входят, помимо высокопроизводительного режущего и вспомогательного инструмента, устройства автоматической смены инструмента, системы диагностирования и контроля процессов резания. Вне станков осуществляется подготовка инструмента к работе в системе инструментального обеспечения, состоящей из сборки, настройки инструмента, его кодирования и доставки к станкам.

Эти процессы осуществляются в едином информационном поле автоматизированной системы управления производством. Важным элементом инструментального обеспечения современного автоматизированного производства (АП) является накопление в базах данных технологической информации об эксплуатационных свойствах применяемых инструментов по результатам выполненных процессов обработки, что позволяет автоматически совершенствовать технологические процессы в направлении повышения их надежности.

Следствием внедрения современного инструментального обеспечения в машиностроительное производство является существенный рост его эффективности. Приоритетными направлениями использования потенциала инструментального обеспечения в отечественном машиностроении является развитие авиакосмического, энергетического и транспортного машиностроения, оборонно-промышленного комплекса и судостроения, сохраняющих конкурентные преимущества, в том числе и на внешнем рынке.

Результатами развития инструментального обеспечения должны стать:

- создание современной, динамично развивающейся технологической базы, обеспечивающей производство конкурентоспособной наукоемкой продукции, в том числе нового поколения в области важнейших технических систем;

- обеспечение технологическими средствами улучшения экологической обстановки.

В предлагаемом курсе лекций систематизирован обширный теоретический и экспериментальный материал, касающийся вопросов построения инструментальных систем, проектирования технологических процессов, методов изготовления и эксплуатации инструмента с повышенным ресурсом и разработки методов диагностирования процессов резания. Основу курса составляют экспериментальные исследования, проведенные в Московском государственном технологическом университете «СТАНКИН».

Лекция 2. Управление инструментальным обеспечением

Основной задачей современного машиностроительного производства является внедрение трудосберегающих технологий. Близка к ней и задача создания технологии, при которой не требуется проводить отладочные работы непосредственно на рабочих позициях. Это относится как к основному технологическому процессу (отладке режимов обработки, числа проходов, траектории инструмента), так и к вспомогательным (например, предварительная настройка инструмента, программированию траектории движения схватов промышленных роботов без обучения и т.п.).

Для автоматизированных производств (АП) в условиях изготовления крупных серий машин отладка спроектированного технологического процесса была необходимым этапом. В узкономенклатурных АП отладка технологического процесса нежелательна, но допустима, поскольку сменяемость номенклатуры мала. Для современных широкономенклатурных АП, характеризующихся частой сменой объектов производства, длительные периоды отладки процесса приводят к значительному снижению эффективности.

Решение этих задач, от которых зависит эффективная работа АП связано с большими трудностями и возможно только при реализации комплекса мероприятий, основанных на новейших технологических разработках и максимальном ис-

пользовании возможностей имеющихся технических средств. Наиболее реальным путем является стабилизация отклонений входных технологических параметров следующими способами: разработкой и совершенствованием технологических процессов получения заготовок и инструмента со стабильными техническими характеристиками; уменьшением разброса параметров оборудования и инструментальной оснастки и т.п.

Однако обеспечить технологическую надежность АП только такими способами вряд ли возможно. Поэтому разрабатывают новые методы проектирования технологических процессов и управления ими.

Для диагностирования процессов обработки в современном АП используют силовые параметры процесса, температуру в зоне обработки, низкочастотные вибрации, оптические, акустические, электромагнитные и электронно-эмиссионные методы. Уровень теоретических и экспериментальных исследований в этих областях позволяет сегодня оценивать отдельные (в основном, геометрические и силовые) параметры процессов в узком диапазоне изменения условий.

Для диагностирования такого сложного процесса, как процесс резания, созданы интегральные методы оценки его состояния, позволяющие фиксировать начальное состояние и анализировать динамику развития с помощью ЭВМ. Исследования показали, что в этом случае, как и при косвенном контроле технологических параметров, повышается достоверность измерений с помощью многопараметрического контроля с последующей алгоритмической обработкой. Наличие в составе АП управляющего вычислительного комплекса позволяет эффективно использовать такой метод, с учетом корреляционных связей. При этом могут варьироваться не только параметры, но и состав используемой информации и алгоритмы ее обработки. Возрастающий объем информации о состоянии процессов резания усложняет передачу этой информации от объекта и в центральную управляющую ЭВМ, что требует новых информационных технологий.

Информационная обеспеченность является первым шагом в создании активно-управляемой технологии, в которой проектирование и управление технологическими процессами основаны не только на исходной, но и на непосредственно по-

лучаемой в процессе эксплуатации рабочей информации. Последняя является основой создания информационных систем управления. Подобные системы разрабатывались и для обычных станков с ЧПУ, но не получили широкого развития из-за их недостаточной гибкости (связанной с аппаратными принципами реализации) и вследствие малой эффективности в условиях многономенклатурного производства. В АП их эффективность существенно повышается, поскольку основное время становится преобладающим в рабочем процессе изготовления изделий.

Помимо непосредственного повышения экономических показателей информационные системы позволяют повысить надежность управления технологическими процессами в условиях «безлюдной технологии». Эти системы основаны на программно-аппаратных принципах, что упрощает их техническую реализацию и обеспечивает необходимую приспособляемость к изменяющимся в широком диапазоне условиям производства.

Оптимизация основного технологического процесса обеспечивает значительный прирост эффективности АП. Она достигается поиском оптимальных решений технологических задач на всех уровнях и этапах подготовки производства. Этому способствует автоматизация систем технологической подготовки и управления, позволяющая вырабатывать наиболее эффективное, однозначное и взаимоувязанное решение технологических задач на основе принципа оптимальности.

Справочная информация для расчетов траектории движения инструмента и режимов резания хранится в базе технологических данных. Для повышения надежности проектирования используются типовые решения, входной контроль и коррекция содержания базы данных.

Применение входного контроля заготовок и инструмента позволяет уточнять расчетные параметры и уменьшать их вероятный разброс, не пропускать на позиции обработки инструмент и заготовки, не удовлетворяющие заданным требованиям. Часть данных, полученных в результате входного контроля (в основном часто изменяющихся), используют для адаптивного управления процессом резания.

Увязка физических и технологических параметров процессов резания позволяет повысить точность путем организации многопараметрического контроля,

разработать алгоритмическое и программное обеспечение систем контроля, создать специальные испытательные стенды.

Значительным резервом повышения технологической надежности АП является уточнение расчетных параметров на основе статистической обработки информации, получаемой в ходе выполнения типовых технологических переходов.

Новые методы проектирования и управления реализуют основные принципы технологии АП позволяют повысить надежность проектных решений, повысить эффективность и надежность технологических процессов в условиях переналаживаемых производств, снизить трудоемкость отладочных работ.

Дополнительные затраты на «гибкость» АП приводят к значительному увеличению стоимости одного часа работы станка. Поэтому возникает необходимость в решении комплекса организационных и информационных задач, направленных на интенсификацию эксплуатации АП.

Эти задачи относятся, в том числе, к инструментальной оснастке, которая включает в себя режущий и вспомогательный инструмент и должна полностью отвечать условиям и требованиям АП. С одной стороны, это – технические требования, возникающие при выполнении производственных функций с ограниченным вмешательством человека, а с другой стороны – экономические требования, заключающиеся в снижении себестоимости при изготовлении оснастки.

Инструмент серьезно влияет на структуру затрат в АП. Эффективность современных технологических систем определяется не только величиной основного времени, когда наиболее существенным является объем удаляемого материала в единицу времени, но и затратами вспомогательного времени, времени технического обслуживания и времени на подналадку. Таким образом, переменная доля себестоимости операции, связанная с инструментом, зависит от режимов резания, потерь времени на наладку инструмента на заданные размеры обработки, стоимости инструмента за период его стойкости, а также связана со случайным (преждевременным) выходом инструмента из строя из-за его разрушения или неудовлетворительного формирования стружки.

Повышение экономической эффективности может быть достигнуто с помощью применения инструмента, который обеспечивает увеличение размерной стойкости инструмента, что достигается за счет использования более износостойких материалов и путем нанесения износостойких покрытий.

Возникающие в процессе установки погрешности базирования и погрешности закрепления определяют фактическое положение режущей части инструмента относительно заданного в выбранной системе координат, а в результате упругих, контактных, тепловых деформаций вспомогательных устройств и износа их элементов под влиянием процесса резания происходит дальнейшее изменение режущей части и нарастают погрешности установки. В задачу адаптивного управления входит устранение этих погрешностей.

Некоторые из перечисленных систем и устройств разрабатывались ранее для традиционных производственных систем. Однако для АП характерно объединение их в единую систему технологической подготовки и управления, что позволяет решать задачу создания принципиально новой технологии обработки резанием.

Современное АП может быть определено как компьютерно-интегрированное, связывающее воедино все процессы, необходимые для проектирования и изготовления заданной номенклатуры изделий. Важнейшей составляющей такого производства является интегрированная система проектирования и управления технологическим процессом (технологическая система). В общем случае современная технологическая система включает в себя три зоны: проектирования и планирования технологических операций, изготовления изделий и контроля.

Поскольку рациональная технология – это прежде всего рациональное использование инструмента, то в организации технологической системы любого производства основным и определяющим является организация и функционирование инструментального обеспечения (ИО).

Лекция 3. Информационное обеспечение по инструментам и приспособлениям

Главными видами обеспечения работы АП являются: техническое, технологическое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, методическое, организационное, экономическое и инструментальное. Они представляют собой совокупность средств, методов, моделей, документов, показателей, с помощью которых достигается эффективная работа АП.

Для инструментального обеспечения средствами являются инструменты, оборудование для их проектирования, изготовления, испытания, ремонта, утилизации; транспорт для доставки, склады для хранения, мерители для настройки, датчики для диагностики, устройства для регулирования; методы представляются способами использования инструментов для получения заданных характеристик изделий по качеству и объемам выпуска; модели чаще всего существуют в виде расчетных формул, чертежей, программ, реализующих методы ЭВМ; документы содержат всю необходимую информацию для совершения действий и их отражения для запоминания; показатели характеризуют эффективность соответствующих видов обеспечения.

В рамках АП как системы ИО представляет собой единую подсистему, имеющую общую цель и поэтому рассматриваемую обособленно в качестве самостоятельной системы. Такое представление о снабжении рабочих мест инструментами возникло в связи с развитием системного подхода к производствам, вызванного автоматизацией. Оно и является основой для системы инструментального обеспечения (СИО), создаваемой в автоматизированном варианте. Происходит интенсивное насыщение инструментального хозяйства автоматами для управления системой, конструирования, изготовления, складирования, перемещения, установки инструментов на станках, их ремонта и утилизации. Количественное наращивание уровня автоматизации должно завершиться качественным скачком в усовершенствовании всей системы. Качественно новое функционирование составляет существо и является коренным отличием СИО от инструментального хозяйства. Путь

достижения такого результата лежит через совместное использование накопленного опыта инструментального обеспечения и последних достижений автоматизации привычно ручных работ, связанных с доставкой, установкой и наладкой инструментов на станине.

Инструментальное обеспечение, по сути, представляет собой действия, направленные на приспособление технологического оборудования для изготовления заданного изделия в установленном режиме работы с получением требуемых качественных и количественных показателей. Для достижения этой цели следует оснастить соответствующим инструментом станки. В связи с этим возникает необходимость в проведении работ по созданию, хранению, учету, доставке и установке технологической оснастки, которая определяется как орудие производства, присоединяемое к технологическому оборудованию для выполнения технологического процесса. Совместное использование автоматического оборудования и оснастки, обеспечивающее достижение основной цели производства, – выпуск продукции, позволяет применить обобщающий термин – *средства технологического оснащения*. Оно охватывает оборудование, оснастку и устройства механизации и автоматизации. *Оснастка*, в свою очередь, состоит из основных инструментов, осуществляющих непосредственное воздействие, вспомогательных инструментов, определяющих рабочие движения, и приспособлений для закрепления заготовок и деталей.

Подготовка оборудования к выполнению операции связана с проведением работ по установке оснастки, называемых *наладкой*. Таким же термином определяется и результат этих работ. *Подналадка* – это дополнительное регулирование технологического оборудования и оснастки в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров. *Настройка* – это придание нужного взаимного положения основному и вспомогательному инструментам, а также приспособлениям на станке или вне его.

Цель ИО состоит в непосредственном воздействии основных инструментов на обрабатываемые заготовки или собираемые детали для изготовления изделий требуемого качества. На первом месте стоит основное, для чего создаются предприя-

тия: выпуск изделий для удовлетворения общественных потребностей в них. Это достигается в конечном итоге в результате воздействия основных инструментов. Отсюда следует, что современное производство во всей его сложности направлено на осуществление этих воздействий. Можно утверждать, что экономика промышленности определяется степенью совершенства ИО, измеряемой качественными показателями получаемых изделий и производительностью действующего производства.

В результате разделения общей цели на подцели получим следующую их последовательность. Ряд средств, приводящих к непосредственному воздействию на обрабатываемые заготовки и собираемые детали:

- а) выполнение рабочих и холостых движений инструментов;
- б) обеспечение рабочих мест инструментом;
- в) безопасная и эффективная эксплуатация инструмента;
- г) бесперебойное снабжение производства инструментом;
- д) изготовление инструмента;
- е) снабжение материалами и полуфабрикатами;
- ж) обеспечение проведения экспериментальных работ с оснасткой;
- з) проектирование инструмента;
- и) определение потребности в инструменте;
- к) информационное обеспечение инструментального хозяйства;
- л) управление процессом ИО.

Каждой подцели должно соответствовать определенное действие системы. Отсюда выявляется состав функций системы и устанавливается основная последовательность их выполнения. В результате создается функциональная модель ИО, которая может иметь различную форму представления: в виде словесного описания, аналитической формулы, логической зависимости, графической схемы.

Графическая форма в виде чертежей, структурных схем, графиков функциональных зависимостей дает возможность воспринять модель во всей ее взаимосвязи, осуществлять преобразования для получения выводов, последовательно

уточнять закономерности в частностях. Теория графов вводит строгую логику в преобразования и обеспечивает доказательность выводов.

Реализация модели на ЭВМ является конечной целью работ, проводимых по автоматизации систем ИО. Гибкая система ИО, построенная на основе вычислительной техники, сокращает запасы инструментов, повышает коэффициент их использования, уменьшает время на поиск и заказ нужных инструментов. Без этого безвозвратно теряется 30...60 % инструментальных запасов; идет накопление инструментов главным образом на рабочих местах; операторы тратят до 20 % времени на поиск режущих инструментов. Кардинальное решение указанных проблем возможно только с применением ЭВМ. Для этого используют базы данных для нескольких тысяч стандартных режущих инструментов, идентифицированных номером детали, номером инструмента, кодом групповой технологии. Их применение позволяет сократить запасы инструментов на 60 %, а коэффициент использования инструмента повышается с 70 до 99 %. При этом устраняется дублирование заказов на инструмент, сокращаются запасы инструментов и площадь складов, уменьшается время обучения операторов инструментального хозяйства с шести месяцев до трех недель.

В структурной схеме, представленной на рис. 1, функции СИО записаны в прямоугольных блоках, а стрелки показывают взаимосвязи их выполнения. Каждая функция обеспечивает достижение своей подцели. Однако порядок их расположения на схеме изменен на обратный относительно ряда подцелей, т.е. показывает прямое направление последовательности действий от начального этапа управления системой (блок 1) до конечного выполнения рабочих и холостых ходов (блок 13). Используют два типа линий для соединения блоков: одинарные – информационные потоки и двойные – материальные потоки. Для увеличения информационного содержания схемы над соединительными линиями указаны основные документы или изделия, которыми завершаются функции и через которые идет информационный и материальный обмен между блоками.

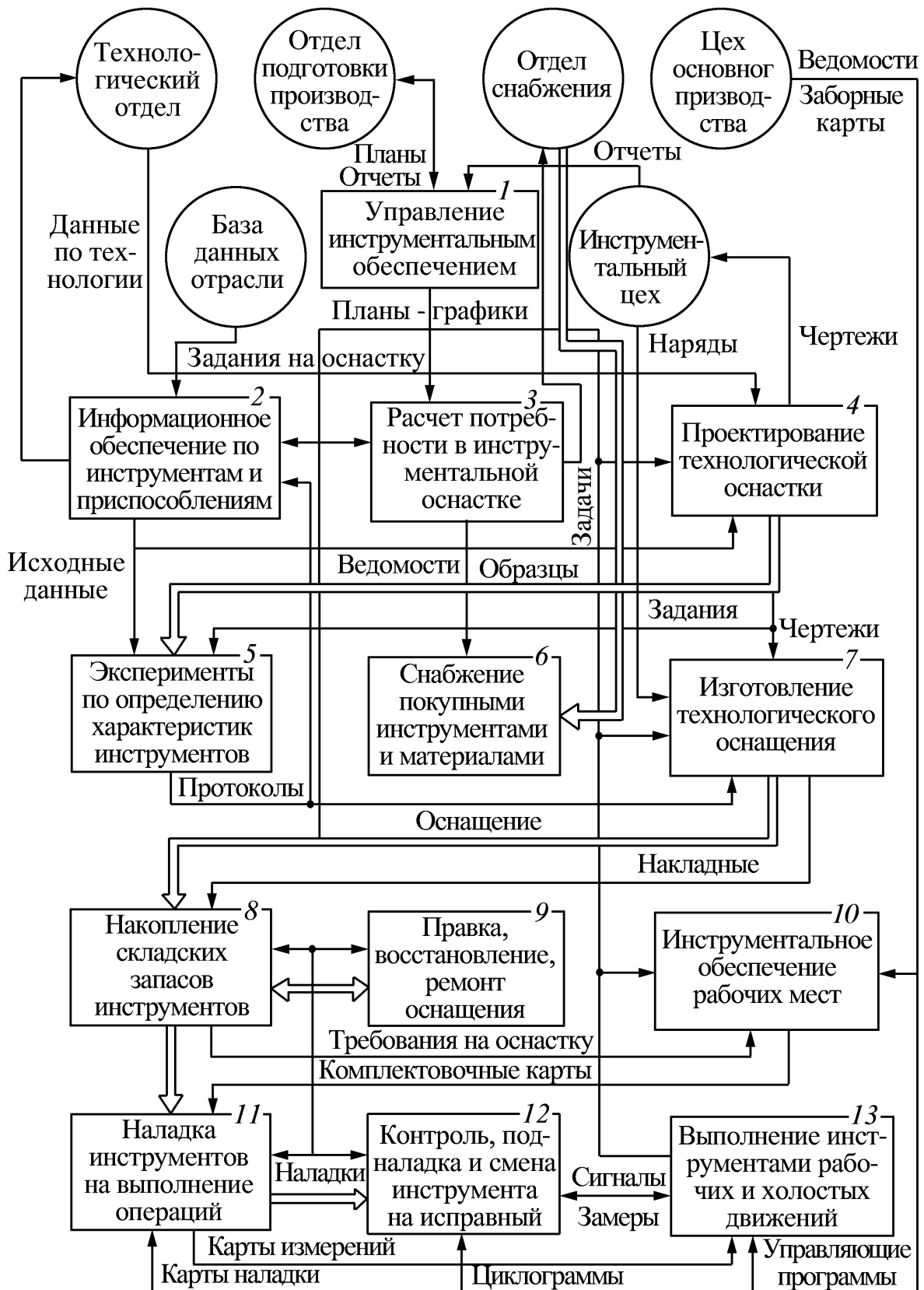


Рис. 1. Структурная схема функций системы инструментального обеспечения

Внешние по отношению к СИО системы представлены на схеме в кружках. Отдел подготовки производства, выпуская соответствующий план, определяет начало работ по ИО. Блок 1 координирует выполнение всех функций созданием планов-графиков, доводимых до каждого блока по линиям связи. Выполнение их контролируется обратными связями, данные которых сводятся в общий отчет, направляемый в отдел. Все остальные работы в СИО определяются схемой со степенью подробности, достаточной для высшего уровня моделирования.

Следующий уровень моделирования, детализирующий функции системы, связан с выделением задач инструментального обеспечения. Для этого прежде всего в каждой функции определяются задачи, которые сводятся в общий перечень (табл. 1).

Любой материальный результат в СИО фиксируется выпуском соответствующей информации. Например, изготовление образцов оснастки отображается в накладной сдачи их на склад. Таким образом, информационное моделирование охватывает все процессы в системе и с этой точки зрения приобретает характер выявления общих закономерностей ее функционирования. Следовательно, полученный перечень задач, охватывая все действия, позволяет в значительной степени уточнить представление о работе СИО и сделать очередной шаг в направлении ее автоматизации.

Каждая отмеченная в табл. 1 задача представляется моделью в виде структурной схемы (см. рис. 1). Начертание задач производится с применением стандартизированных условных обозначений, разработанных для схем алгоритмов и программ, которые будут расшифровываться по мере рассмотрения моделей.

Для обозначения автоматически выполняемого процесса переработки информации используют прямоугольники, для разветвления процесса в зависимости от решения, выражаемого словами «да» или «нет» в ответ на вопросы, помещенные в блоках применяют ромбы, для указания ручного выполнения операций – трапеции, для отметки начала и конца процесса – бочонки.

1. Перечень задач систем инструментального обеспечения

Функция	Задача
Управление ИО	Планирование работ Контроль выполнения планов Оперативное регулирование процесса
Информационное обеспечение по инструментам и приспособлениям	Учет расходования инструментов Учет складских запасов и оборотных фондов Исходные данные для проектирования инструмента Каталоги типового инструмента Типовые инструкции по проектированию и эксплуатации инструмента
Расчет потребности в инструментальной оснастке	Статистика потребления инструмента Прогнозирование потребности инструмента Анализ заявок на ИО Расчет потребности в ИО по этапам работ
Проектирование технологической оснастки	Разработка ТЗ на оснастку Проектирование агрегатов оснастки Конструирование оснастки
Экспериментальное определение характеристик инструментов	Макетирование сложного инструмента Проведение вычислительных экспериментов Проведение натурных экспериментов Обработка результатов и выдача рекомендаций по проектированию и эксплуатации инструмента
Снабжение покупными инструментами и материалами	Определение поставщиков Оформление заявок на приобретение Приобретение и поставка на предприятие Выдача нарядов цехам на получение
Изготовление технологического оснащения	Обеспечении рабочих мест Выполнение технологического процесса Приемка и сдача продукции на склад
Накопление складских запасов	Определение норм запасов инструмента Поддержание заданного уровня запасов
Правка, восстановление, ремонт инструмента	Контроль состояния инструмента Определение вида работ по восстановлению Проведение восстановительных работ Приемка и сдача продукции на склад
Обеспечение рабочих мест инструментом	Составление заявок на получение со склада Получение и доставка инструмента в раздаточные кладовые Распределение инструмента по рабочим местам

	Сбор использованного инструмента
Наладка инструментов на выполнение операции	Комплектация наладок инструментами Наладка вне станка Наладка инструмента на станке
Контроль, подналадка и смена инструмента на исправный	Диагностирование инструмента Подналадка инструмента по параметрам детали Выявление аварийных состояний инструментов Смена инструмента
Выполнение инструментами рабочих и холостых движений	Введение управляющих программ изготовления изделий Изготовление пробных изделий Регулирование параметров движения

Остальные обозначения относятся к документам: двойной флажок – ручной носитель, цилиндр с крышкой – магнитный диск, прямоугольник с волнистым срезом – машинный документ. При изображении линии связи отмечаются стрелками только при направлении их снизу вверх и справа налево. Разрыв линий обозначается кружками с одинаковыми индексами.

Структурная схема задач имеет структуру, характеризуемую чередованием документов и работ. Она начинается с исходных документов, набор которых должен быть достаточным для информационного обеспечения проведения работы. Выполнение следующей работы необходимо подкрепить дополнительной информацией. Такой порядок просматривается по каждой схеме: новая работа основана на использовании ранее полученного документа и дополнительной информации из других источников. Обеспечение достаточной полноты информации для выполнения каждой работы является первым требованием по составлению задач.

В результате получают полный перечень документации, необходимой для осуществления процесса проектирования. Перечень дает возможность выполнить второе требование, состоящее в решении вопроса об автоматизации процесса переработки информации. С этой точки зрения выделяют три вида моделей, соответствующие различным уровням автоматизации:

Исходная, фиксирующая достигнутый уровень.

Типовая, задающая наибольший возможный (идеальный) уровень.

Рабочая, определяющая необходимый проектный уровень для очередного этапа внедрения автоматизации.

Между исходной и идеальной моделями располагается ряд рабочих моделей, задающих уровни автоматизации по этапам совершенствования системы. Выбор уровня для каждого этапа определяется стремлением добиться оптимальной работы системы при имеющихся ограничениях на ресурсы, выделяемые для автоматизации. Уровень автоматизации экономически обосновывается, данные для обоснования берут из технологического процесса переработки информации. Общая последовательность операций при этом задается структурной схемой задачи. Сравнение нескольких вариантов таких схем разными уровнями автоматизации позволяет сделать выбор оптимального решения. При построении схем нужно согласовывать уровни автоматизации операций таким образом, чтобы получился автоматизированный процесс переработки информации с возможно большей степенью непрерывности.

Структурные схемы задач имеют большие преимущества для экономического изложения процессов принятия решений. В них наглядно изображаются все операции и их связи с такой полнотой, что дополнительные объяснения не требуются. Поэтому структурные схемы следует рассматривать как хорошую форму изложения методических вопросов. В таком качестве они будут широко использоваться для изложения сложных закономерностей работы СИО. Кроме того, составление схем является важным этапом проектирования систем и формального описания процессов переработки информации для перевода их на ЭВМ.

Разработка структурных схем по всем задачам (см. табл. 1) приводит к получению полного перечня всех документов, которые следует создавать с помощью ЭВМ при наивысшем уровне автоматизации. Наличие такого перечня является непременным условием перспективного планирования и экономического обоснования мероприятий по совершенствованию СИО. При использовании инструмента в ГПС выполняются два рода функций, связанных с его применением непосредственно на гибком производственном модуле (ГПМ) и с инструментальным обеспечением ГПС в целом.

В общем случае, чем выше уровень автоматизации отдельного ГПМ, тем большее число функций, связанных с использованием инструментальной оснастки, он выполняет в автоматическом режиме и тем выше должен быть технический уровень СИО ГПС. Эффективная работа ГПМ в составе ГПС может быть обеспечена только при соответствующем техническом уровне СИО. Однако представляется нецелесообразным предусматривать высокий уровень автоматизации как СИО в целом, так и отдельных функций инструментального обеспечения для одного или нескольких высокоавтоматизированных ГПМ, если основной состав ГПМ в ГПС имеет более низкий уровень автоматизации.

В то же время для ГПМ сравнительно низкого уровня автоматизации при определенных условиях (большое число ГПМ, серийное или крупносерийное производство продукции и т.д.) может быть целесообразной высокая степень автоматизации выполнения отдельных функций, связанных с подготовкой инструмента. В подобных случаях для таких ГПМ необходимо организовать стыковку с СИО высокого уровня в целях наиболее эффективного использования ГПС в целом. Чем более однороден состав ГПС по уровню автоматизации отдельных ГПМ, тем более эффективно можно использовать СИО.

В зависимости от уровня автоматизации может изменяться не только режим выполнения функций (ручной, автоматический, автоматизированный), но и сам состав функций и способы выполнения тех из них, которые связаны с использованием инструмента (табл. 2). При высокой степени автоматизации часть функций СИО может выполняться в автоматическом режиме непосредственно на станке.

Конструкции режущего и вспомогательного инструмента оказывают значительное влияние на способы и режимы выполнения функций, связанных с использованием на ГПМ. Различные уровни автоматизации ГПМ и СИО должны быть обеспечены соответствующим инструментом.

Рассмотрим подробнее организацию использования инструментальной оснастки на ГПМ.

2. Функции СИО в зависимости от уровня автоматизации

Функция и способ ее выполнения	Режим выполнения функций СИО. Уровни автоматизации		
	1-го	2-го	3-го
Выполнение цикла обработки по жестко заданной программе	А	Р	–
Адаптивное выполнение цикла обработки	–	А	А
Установка инструмента в шпиндель в цикле обработки по программе	А	А	А
Накопление инструментов в одном или нескольких магазинах	А	А	А
Контроль состояния инструментов по ресурсу работы без защиты от аварийных ситуаций	А	–	–
То же, с защитой от аварийных ситуаций	–	А	–
Диагностирование состояние режущей кромки или параметров детали	Р	А	А
Замена (при отказе) участка или полностью режущей кромки	Р	А	А
Замена режущей головки или непосредственно инструмента дублером	Р	А	А
Замена полностью комплекта инструментов	–	А	–
Изменение геометрии режущих элементов при переналадке	–	–	А
Смена режущей головки или непосредственно инструмента при переналадке	Р	Р	А
Настройка инструментов на станке подналадкой в течение периода стойкости	Р	А	А
То же, подналадкой после предварительной настройки вне станка	Р	А	А
То же, настройкой полностью на станке	–	–	А
Входной контроль 100 % инструментов	Р	А	А

Примечание. Р, А – ручной и автоматический режимы выполнения функций; «–» – выполнение функций не предусмотрено.

В ГПМ 1-го уровня автоматизации рабочие и холостые ходы в цикле обработки осуществляются по жестко заданной управляющей программе. В процессе выполнения цикла обработки производится автоматическая смена инструментов в

шпинделе из накопителя инструментов, состоящего из одного или нескольких пристаночных магазинов.

Контроль состояния инструментов осуществляется по ресурсу его работы (по числу выполненных циклов обработки), по истечении ресурса работы инструмента подается соответствующий сигнал, после чего оператор-наладчик вручную заменяет его. Кроме того, инструмент может заменяться (также вручную) по фактическому состоянию режущей кромки и технологическим критериям величины износа. Режимы резания следует назначать с учетом требуемой надежности работы инструментов. Уровень автоматизации таких ГПМ не позволяет использовать их в режиме «малолюдной технологии».

Для сокращения времени простоев оборудования при замене инструментов целесообразно иметь при станке инструменты-дублиеры, заранее подготовленные, настроенные и приработанные. Особенностью ГПМ 2-го уровня автоматизации является автоматический контроль состояния инструментов по ресурсу работы (с защитой от аварийных ситуаций) или по фактическому состоянию режущей кромки и технологическим критериям величины износа. Наличие системы диагностирования и контроля состояния инструментов позволяет перейти к их автоматической замене при отказе.

Автоматически осуществляется замена участка или полностью режущей кромки (в инструментах соответствующей конструкции), режущей головки или самого инструмента дублером, заранее установленным в магазине, полного комплекта инструментов наладки или его части. Замена полного комплекта при отказе любого из входящих в него инструментов производится с использованием сменных магазинов.

Возможность автоматической подналадки инструментов на станке позволяет сократить время их настройки при переналадках и при подготовке дублеров, а также перетачивать изношенные участки режущих кромок непосредственно на станке. Средства проверки состояния режущих инструментов обеспечивают в ряде случаев автоматизацию их входного контроля непосредственно на станке.

Наличие автоматической подналадки инструментов в сочетании с возможностью их накопления в общем магазине для группы станков, в нескольких совместно функционирующих автономных магазинах или в автономных магазинах, используемых совместно с центральным магазином, позволяет эксплуатировать комплект инструментов или его часть в группе взаимозаменяемых ГПМ, т.е. организовать обмен инструментом между станками. Это значительно расширяет технологические возможности оборудования, повышает надежность функционирования ГПС в целом и сокращает потребное количество инструмента. При организации обмена инструментом между станками необходимо предусмотреть возможность перехода на индивидуальное инструментальное обеспечение в аварийных ситуациях.

Поскольку на ГПМ 2-го уровня автоматизации переналадки выполняются вручную, такие ГПМ могут работать в режиме «безлюдной технологии» только без переналадки.

В ГПМ 3-го уровня автоматизации обеспечивается автоматическая переналадка на обработку деталей другого типоразмера или наименования. Настройка инструмента на размер осуществляется автоматически вне станка или непосредственно на станке. В тех случаях, когда автоматическая настройка инструмента на размер на станке невозможна, настройку выполняют вручную в отделении подготовки инструментов. При этом фиксируют и кодируют фактический размер, который затем при поступлении инструмента на ГПМ автоматически считывается и вводится в память устройства ЧПУ станка или в ЭВМ ГПС.

На подобных ГПМ автоматически осуществляется адаптация технологического процесса к изменяющимся условиям обработки. При этом инструменты контролируются автоматически по фактическому состоянию режущей кромки и технологическим критериям затупления, поскольку такой способ контроля обеспечивает наименьшую вероятность поломок и сколов инструмента, что, в свою очередь, сокращает простои ГПМ.

При отказе инструмента осуществляется автоматическая замена участка или полностью режущей кромки, а также автоматическая замена режущей головки или инструмента в целом дублером.

Автоматическая переналадка ГПМ (с использованием сменных магазинов инструментов) на выпуск другой детали требует предварительной подготовки набора таких магазинов. При этом инструменты, общие для всей группы деталей (торцовые и концевые фрезы, отдельные виды сверл, метчиков и т.д.), неизбежно дублируются в сменных магазинах, что значительно увеличивает расход инструментов и затраты времени на их подготовку. На таких ГПМ наиболее эффективна поштучная, а не покомплектная автоматическая смена инструментов при переналадке.

Наличие автоматической переналадки ГПМ в сочетании с автоматической настройкой и подналадкой инструментов позволяет перейти к межстаночному обмену инструментом не только между взаимозаменяемыми, но и между взаимодополняющими ГПМ. Это означает, что комплект инструментов или его часть может использоваться при выполнении различных операций по различным управляющим программам на нескольких станках. ГПМ 3-го уровня автоматизации способны работать с переналадками в режиме «безлюдной технологии».

При создании СИО разрабатываются и осуществляются организационно-технические мероприятия: подготовка и выдача на рабочие места комплектов инструментальной наладки, включающих в себя заточенный режущий инструмент, мерительный и вспомогательный инструмент для запланированных деталяеопераций; обработка конструкций резцов и геометрии их режущей части в зависимости от материала и конфигурации обрабатываемых деталей, специфических условий резания и условий отвода стружки из зоны резания с тем, чтобы гарантированная стойкость резцов была не менее одной рабочей смены, создание участка для централизованной заточки инструмента; разработка технологических процессов заточки и переточки, определение фактической стойкости инструмента между переточками для каждой деталяеоперации и норм его расхода на 1000 шт обрабатываемых деталей, выпуск технологической документации для функционирования СИО

(ведомости оснащения карты наладки инструмента и т.д.), расчет потребности в режущем инструменте по нормам его расхода на 1000 шт обрабатываемых деталей; путем внедрения АСУ планирования, учета и хранения инструмента.

Типовая схема перемещения инструмента по ГПС, а также взаимодействие всех инструментальных подразделений СИО представлены на рис. 2.

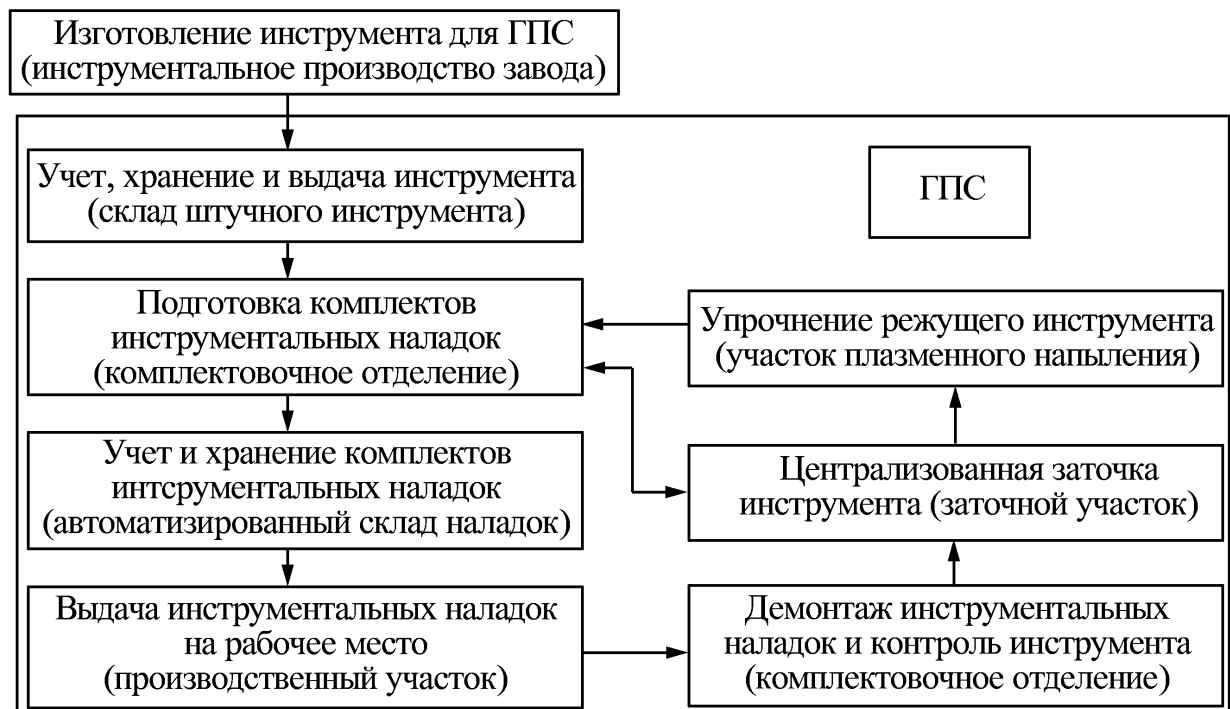


Рис. 2. Схема перемещения инструмента в ГПС

Комплекты инструментальных наладок для планируемых к запуску детали-операций готовят в инструментальном отделении ГПС в соответствии со сменно-суточным заданием, выдаваемым за три дня до запуска, и сопроводительными картами на планируемые детали-операции, в соответствии с технологическими задачами по уровню автоматизации отдельных ГПМ, тем более эффективно можно использовать СИО.

В зависимости от уровня автоматизации ГПМ может изменяться не только режим выполнения функций (ручной, автоматический, автоматизированный), но и сам состав функций и способы выполнения тех из них, которые связаны с использованием инструмента (см. табл. 2). В ГПМ высокой степени автоматизации

часть функций СИО может выполняться в автоматическом режиме непосредственно на самом станке.

Лекция 4. Расчет потребности в инструментальной оснастке

Варианты методов выбора инструмента при проектировании технологических процессов достаточно разнообразны. Однако среди них выделяются два основных:

1) аналитический, при котором выбор осуществляется в результате анализа закономерностей конструкции и технологии применительно к каждой конкретной детали или изделию;

2) аналоговый, в котором выбор происходит в результате корректирования заранее спроектированной технологии для деталей или изделий определенного класса, типа, группы применительно к особенностям конкретного объекта производства.

Между этими вариантами располагается несколько практически используемых методов, в разной степени сочетающих аналитический и аналоговый подходы. Методы проектирования технологических процессов (ТП), воплощенные в проектные решения, предельно четко представляются с помощью структурных схем алгоритмов. Для удобства восприятия всего процесса сразу используют принципиальные схемы алгоритмов, в которых существо излагается компактно на одном листе. Пользуясь ими, можно обсуждать разные методы на уровне специалистов и выбирать наиболее подходящие для применения. Доведение методики до машинной реализации достигается раскрытием каждого блока принципиальной схемы частным алгоритмом. Его особенность состоит в полной детализации каждого шага проектирования, а форма представления должна быть приведена к виду, удобному для программирования.

Алгоритм аналитического метода выбора инструмента при проектировании технологических процессов приведен на рис. 3. Начальные блоки от 1-го до 5-го осуществляют выделение элементарных обрабатываемых поверхностей деталей, выбор методов обработки и назначения инструментов для них.

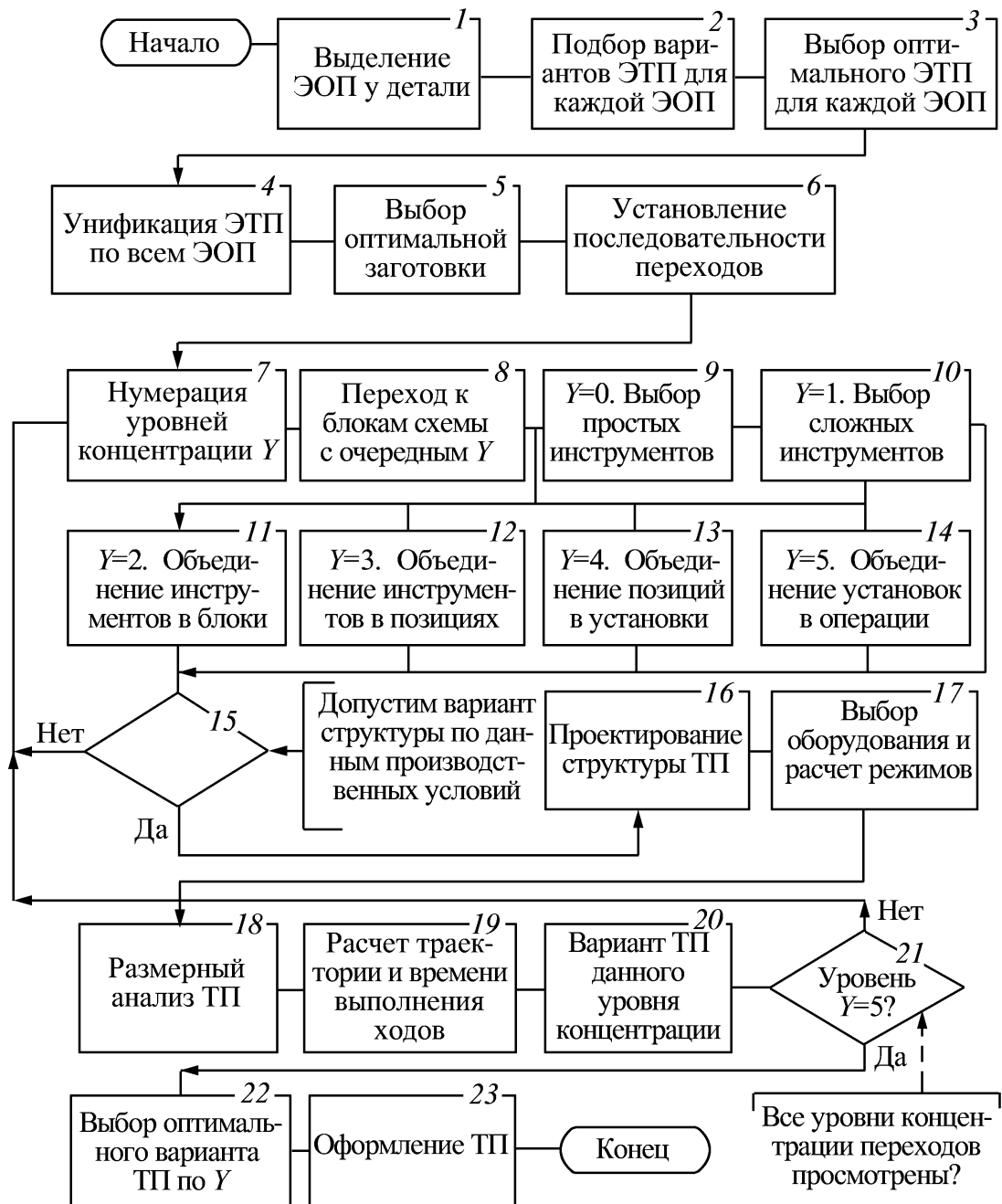


Рис. 3. Алгоритм аналитического метода выбора инструмента при проектировании технологических процессов:

ЭОП – элементарная обрабатываемая поверхность; ЭТП – элементарный технологический процесс обработки; Y – уровень концентрации технологического процесса; ТП – технологический процесс

Для решения этих задач используют рекомендации, собранные в технологических справочниках. На этой стадии получают полный набор переходов оптимизированных на основе классификационных рядов. Их применение для выбора оптимального решения позволяет упростить процедуру проектирования за счет исключения полного перебора вариантов инструментов так как ряды четко ориентируют выбор в направлении наилучших решений, отмеченных высокими номерами классов методов.

Далее (блок б) полученный набор переходов выстраивается в последовательность выполнения обработки по всей детали или сборки по изделию в целом. Для решения этой достаточно сложной задачи используют конструкторские и технологические закономерности. Конструкторские основания заложены в пространственном соединении элементарных обрабатываемых поверхностей и пар собираемых деталей. Они выявляются с помощью построения схем вхождения отдельных поверхностей в общую структуру детали и деталей в общую сборку. Порядок вхождения задается рангом поверхностей и уровнем сборки. Поверхности детали, образующие основную конфигурацию, помечаются первым рангом. Другие поверхности (отверстия, пазы, резьбы, лыски) как бы наслаиваются на него и отмечаются последовательно увеличивающимся номером ранга. Последовательность наложения через нумерацию рангов переносится на последовательность выполнения переходов, которые создают соответствующие поверхности.

Технологические закономерности построения последовательности переходов выражаются многочисленными правилами, собранными в справочниках, руководящих технических материалах, стандартах. Прежде всего устанавливают этапы технологических пределов: заготовительного, термохимического, предварительной, основной, окончательной, финишной обработки, перемежающихся термическими, очистными, контрольными операциями, и наконец, отделочного этапа. Кроме общих используют частные правила, например, обработку наружных поверхностей круглой детали необходимо вести после изготовления точного отверстия, если заданы жесткие допуски на их взаимное расположение. В таких частных

правилах обобщается ценный опыт проектирования оптимальных технологических переходов (ТП).

Совместное использование конструкторских и технологических закономерностей приводит к расположению всех переходов в единый ТП, построенный на основе дифференциации, так как при этом работа каждого простого инструмента выделяется в отдельную операцию.

Процесс интегрирования начинается в блоках 7–14 концентрацией переходов за счет перехода от простых инструментов к сложным, блочным переходам, далее к позициям и установкам. В результате чего выбирается оптимальная структура инструмента. Приемлемость варианта концентрации для условий конкретного производства контролируется в блоке 15, выбор оптимальной структуры осуществляется в блоке 22 после подготовки материалов по всем уровням, что контролируется блоком 21.

Рассмотренная методика проектирования отличается значительной сложностью. Из содержания блоков следует, что многие из них сложны для перевода на ЭВМ. Поэтому прямоугольники в схеме не обязательно означают автоматическое выполнение работ. Принципиальная схема алгоритма выбора инструмента при аналоговом методе проектирования технологических процессов приведена на рис. 4 применительно к обработке деталей. Схема разработана на более высокий уровень автоматизации, чем предыдущая, и поэтому в ней содержатся условные обозначения магнитных дисков, на которых накапливаются исходные данные, элементов оперативной памяти для фиксации промежуточных результатов, машинных документов для распечатки спроектированных ТП. Достижению высокого уровня автоматизации способствует простота процедур метода, которые состоят в корректировании заранее разработанных типовых и групповых ТП. Алгоритм начинается с поиска аналога ТП для конкретной детали (блок 1). Поиск ведется среди типовых и групповых или ранее разработанных ТП. Преимуществом пользуются первые два варианта, так как они рассматриваются в качестве оптимальных образцов.

Как только аналог найден (блок 2), появляется полный набор данных по технологии для проектирования. Смысл его состоит в сравнении чертежа детали с аналогом, в выборе подходящих элементов технологии и в пересчете некоторых параметров режима работы. Начать эту последовательность процедур можно с последнего перехода последней операции, выходные данные которого соответствуют чертежу детали. Это происходит в блоках 4 и 9, затем сравниваются параметры операций и переходов через формирование операционного эскиза обработки детали по схеме образца. Если последняя операция нужна, то идет попереговое сравнение обрабатываемых поверхностей чертежа и операционного эскиза с оставлением тех из них, которые нужны для детали (блоки 10 и 11). Далее процедуры проектирования повторяются для предшествующих операций и переходов до тех пор, пока все они не будут просмотрены на предмет применимости для конкретной детали. В результате в блоках 13 и 14 осуществляется выбор инструментов, расчет режимов резания, траекторий и времени ходов. Для каждого этапа просмотра формируется эскиз предшествующего состояния детали, который как бы заменяет чертеж, бывший конечным результатом последней операции. Это осуществляется в блоке 17, который является связующим звеном между отдельными циклами проектирования переходов и операций. Завершение цикличности просмотра технологии аналога контролируется блоками 15 и 19. На последнем этапе проектирования решается вопрос полноты обработки детали по выбранному аналогу (блок 21) с тем, чтобы не допустить огрехов в созданном ТП. Во всех случаях неочевидности машинного решения к проектированию привлекается технолог (блок 23).

Основное преимущество алгоритма состоит в простоте проектных процедур, а недостаток – в узости области применения, ограниченной разработанными аналогами. Улучшить алгоритм можно за счет усложнения процесса проектирования оптимизированных (образцовых) ТП, принимаемых за аналоги. Они проектируются аналитическим методом.

Сравнение принципиальных схем алгоритмов, приведенных на рис. 3 и рис. 4, показывает существенное различие методов выбора инструментов. В зависимости

от их особенностей определяются и области применения. Аналоговый метод широко используют для деталей и изделий, группируемых по типам. Только имея оптимальные образцы,

можно гарантировать оптимальность всей системы ТПП при использовании аналогового проектирования. Аналитический метод используют для новых уникальных изделий, у которых нет аналогов. Особые требования к качеству аналогов приводят к тому, что для них оказывается обязательным применение аналитического метода проектирования. Вся унификация технологии проводится на основе использования аналитического метода.

Технологический процесс унифицируется не только на уровне завершенных процессов механообработки (см. рис. 4), но и на уровнях циклов и операций, а также путем унификации технологического оборудования, приспособлений и инструментов. В этом случае изменяется и методика проектирования ТП. Она строится на сочетании процедур двух рассмотренных предельных методов. Сначала аналитическим методом формируются переходы или операции, а затем аналоговым путем подбираются заранее их типизированные варианты. Алгоритмы таких практических методик по-разному комбинируют два основных подхода, создавая возможность выбора наиболее подходящей для конкретного случая. Соответственно изменяются итоговые характеристики по простоте машинной реализации, оптимальности решений, уровню унификации элементов технологии.

Для практической реализации на ЭВМ принципиальных схем алгоритмов проектирования ТП (см. рис. 3 и 4) и выбора инструмента необходимо раскрыть содержание каждого блока, составив частные алгоритмы в удобной форме изложения для последующего программирования. На этом этапе работы условия выбора инструментов и других элементов технологии, а также расчеты режимов, траекторий, эффективности должны быть изложены с предельной детализацией и определенностью процесса переработки информации на основе типизации технологии обработки деталей и автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП).

С помощью АСТПП быстрее и правильнее решаются задачи, указанные выше, в том числе: выбор режущего инструмента; последовательность переходов и проходов; выбор траектории движения инструмента и заготовки; назначение режимов резания в рабочих проходах на всем пути движения; выбор периодов стойкости инструмента многоинструментных наладок последовательного действия и т.п.

Создание АСТПП для обработки деталей общемашиностроительного применения на базе метода проверенных технологических решений для обработки отдельных поверхностей деталей с последующим синтезом маршрутно-операционной технологии обработки детали включает в себя следующие этапы:

а) разработка формализованной модели представления структуры технологической операции обработки детали с разбиением ее на переходы обработки отдельных поверхностей;

б) исследование формализованной модели структуры операции для выявления ее типовых иерархических структурных составляющих элементов (технологических циклов), реализация которых может быть осуществлена на базе типовых вариантов технологических решений;

в) определение первичных и производных структурных составляющих операции;

г) унификация параметров технологической информации и вариантов типовых технологических решений;

д) разработка конструктивно-технологической классификации элементов деталей и языка кодирования типовых структурных составляющих технологической операции (технологических циклов);

е) определение номенклатуры и алгоритмов первичных и производных структурных составляющих технологической операции (технологических циклов) обработки поверхностей детали;

ж) программно-математическая реализация АСТПП, включающая в себя разработку технологического процессора, обеспечивающего автоматическое проектирование первичных и производных структурных составляющих операции, разработку информационной базы данных, входных и выходных форм информации.

Структура технологической операции может быть представлена как сложная иерархическая система, в которой формально описываются отдельные элементы для последующего синтеза модели системы. В дальнейшем это позволяет исследовать и идентифицировать параметры на базе реальных величин, характеризующих технологию обработки деталей.

При построении *модели технологической операции* обработки корпусной детали используют следующие основные положения.

1. Деталь на операции (установе) рассматривается как совокупность (множество) типовых элементарных поверхностей, подлежащих обработке, имеющих определенное положение в пространстве относительно оси шпинделя станка и связанных с системой координат ГПМ. При этом каждой элементарной поверхности в процессе обработки соответствует ряд таких параметров, как качество точности обработки, шероховатость обработанной поверхности, оставляемый припуск и др.

2. Типовой технологический переход рассматривается как определенная законченная часть технологической операции, характеризующаяся типом применяемого инструмента и элементарной поверхностью, образуемой при обработке.

3. Под операцией (операционной или маршрутно-операционной технологией) понимают совокупность (множество) типовых переходов, необходимых для обработки всех элементарных поверхностей детали на данном установе.

4. Каждый типовой переход рассматривается как совокупность (множество) типовых технологических приемов, из которых можно выделить подмножества приемов, определяющих выбор инструмента; траекторий перемещений рабочих органов станка; режимов обработки и необходимых дополнительных технологических приемов (например, включение охлаждения).

5. Каждый типовой прием, в свою очередь, рассматривается как определенный типовой алгоритм, определяющий в конечном итоге последовательность команд управляющего устройства, обеспечивающих проведение процесса обработки.

Структура технологической операции (табл. 3) может быть разделена на следующие основные структурные составляющие:

а) *простой технологический цикл* (ПТЦ) – структурная составляющая технологической операции на уровне типового технологического перехода для обработки одного конструктивного элемента детали с заданными технологическими требованиями одним инструментом с помощью определенных технологических приемов-подциклов;

б) *групповой технологических цикл* (ГТЦ) – структурная составляющая технологической операции на уровне многократно используемого одноинструментного перехода ПТЦ для групповой обработки определенного числа одинаковых конструктивных элементов детали;

в) *комбинированный технологический цикл* (КТЦ) – структурная составляющая технологической операции на уровне последовательности (цепочки) нескольких разнотипных одноинструментных переходов ПТЦ, используемых для комплексной обработки одного конструктивного элемента детали;

г) *сложный технологический цикл* (СТЦ) – структурная составляющая технологической операции на уровне многократно используемой последовательности (цепочки) разнотипных одноинструментных переходов ПТЦ, используемых для комплексной групповой обработки определенного количества одинаковых конструктивных элементов детали.

Модель структуры технологической операции состоит из четырех подсистем, расположенных в порядке их иерархической зависимости.

Эти подсистемы могут быть объединены в две крупные системы:

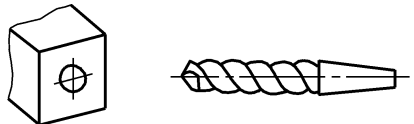
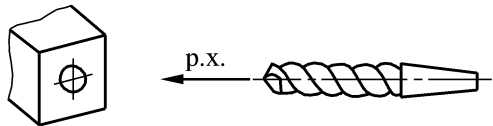
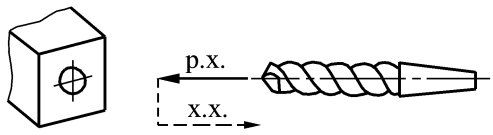
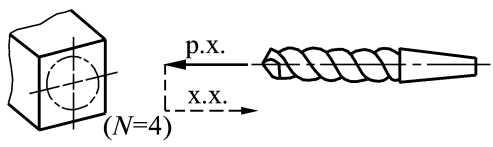
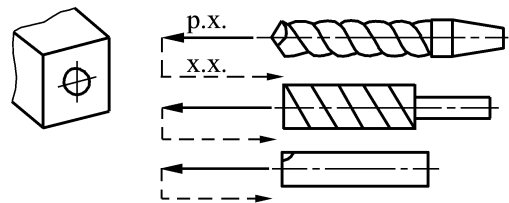
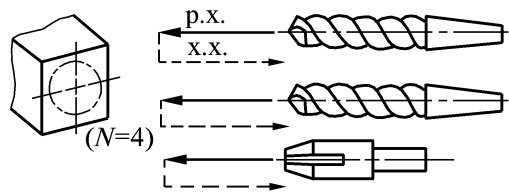
– система укрупненных структурных элементов технологической операции. Из различных сочетаний компонентов этой системы может быть набрана технологическая операция;

– система мелких структурных составляющих технологической операции, различными сочетаниями компонентов которой могут быть набраны ПТЦ.

В иерархической цепи приведенной модели структурные элементы, соответствующие ПТЦ, занимают центральное место на том уровне, при котором появляется возможность комплексного укрупненного решения автоматизированного проектирования технологической операции. С другой стороны, эти же ПТЦ могут

быть получены как сочетания технологических приемов (подциклов), реализующих определенные алгоритмы и последовательности команд системы ЧПУ для проведения необходимой обработки. Таким образом, КТЦ, ГТЦ и СТЦ являются производными технологическими циклами.

3. Структура технологической операции

Составляющие операции в системах управления станком		Пример типовой технологической схемы обработки элемента (группы элементов) детали
управления станком	технологической подготовки	
Останов	Позиция обработки	
Перемещение от точки к точке	Прием, проход (ход)	
	рабочий	
	вспомогательный (холостой)	
ПТЦ	Типовой технологический переход для обработки одного элемента детали одним инструментом	
ГТЦ	Множественно используемый переход для одноинструментной обработки группы из «N» элементов детали	
КТЦ	Комбинация разнотипных переходов для обработки одного элемента детали несколькими технологическими переходами	
СТЦ	Сочетание переходов для обработки группы из "N" однотипных элементов детали	

Обозначения: p.x. – рабочий ход; x.x. – холостой ход.

В основе ПТЦ лежит одноинструментная обработка конструктивно-технологических элементов корпусных деталей. Комбинация (совокупность) последовательного ряда ПТЦ качественно изменяет состояние каждого элемента детали до полного соответствия техническим требованиям, что особенно важно, когда не может быть обеспечено другими способами.

Предлагаемая структура операции позволяет построить технологический процесс по иерархическому блочно-модульному принципу с высоким уровнем автоматизации разработки операционного процесса.

Другим важным условием автоматизации разработки операционного процесса является создание типовых технологических решений, что позволяет выполнить разнообразные технологические требования к точности обработки при использовании ограниченного числа типовых сочетаний поверхностей.

Понятие точности включает в себя размерную точность детали, точность ее геометрической формы, расположения, а также требования к структуре поверхностного слоя (шероховатость поверхности).

Анализ опыта обработки резанием показывает, что существует взаимосвязь между допуском на размер и шероховатостью – шероховатость уменьшается при достижении более высокого класса точности обработанной поверхности. Поэтому для каждого допуска на размер (форму) можно установить пределы допускаемых значений шероховатости.

Накладывая наибольшие допускаемые значения шероховатости на область различных квалитетов допусков на размеры, получают варианты сочетаний параметров точности и шероховатости обработки (рис. 5). Полученные варианты сочетаний допуска на размер и шероховатости обработки используются для конструктивно-технологической классификации элементов корпусных деталей и выбора номенклатуры технологических циклов обработки.

Благодаря унификации типовых структурных элементов технологического процесса, появляется возможность автоматизировать систему подготовки управляющих программ, как составную часть АСТПП.

Параметр шероховатости								
<i>Ra</i> 25							H12 <i>Rz</i> 80	H13 <i>Rz</i> 80
<i>Rz</i> 80								
<i>Ra</i> 12,5						H11 <i>Rz</i> 40	H12 <i>Rz</i> 40	
<i>Rz</i> 40								
<i>Ra</i> 6,3								
<i>Rz</i> 20				H9 <i>Rz</i> 20	H10 <i>Rz</i> 20	H11 <i>Rz</i> 20		
<i>Ra</i> 3,2								
<i>Ra</i> 2,5		H7 <i>Ra</i> 2,5	H8 <i>Ra</i> 2,5	H9 <i>Ra</i> 2,5	H10 <i>Ra</i> 2,5			
<i>Ra</i> 1,6								
<i>Ra</i> 1,25		H7 <i>Ra</i> 1,25	H8 <i>Ra</i> 1,25					
<i>Ra</i> 0,8								
<i>Ra</i> 0,63								
<i>Ra</i> 0,4								
<i>Ra</i> 0,32								
<i>Ra</i> 0,2								
	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13
	Квалитет							

Рис. 5. Основные варианты сочетания параметров точности и шероховатости обработки

В ПТЦ осуществляются относительные перемещения инструмента и детали, необходимые для выполнения типового технологического перехода обработки одного конструктивно-технологического элемента детали с заданными технологическими параметрами (точность, шероховатость, припуск и др.). В ПТЦ входит связанный с выполнением этого перехода набор технологических и вспомогательных приемов (команд управляющей программы), определяющих последовательности, траекторию и скорость перемещений рабочих органов станка, режимов обработки и т.п. Количество и номенклатура ПТЦ зависит от следующих факторов:

а) общее число поверхностей в классификаторе, которое, в свою очередь, зависит от числа конструктивных форм элементов поверхностей, положений элементов относительно шпинделя станка при обработке и числа сочетаний технологических требований к ним;

б) число возможных видов и схем обработки, классификатор которых составляется на основании анализа возможностей обработки на основном технологическом оборудовании участка, состава вспомогательного оборудования, оснастки и инструментального оснащения участка, технологических особенностей конкретного предприятия;

в) число типовых переходов, включаемых в цепочки, необходимые для достижения требуемых технологических параметров КТЭ. При определении этих цепочек (последовательностей переходов) также следует учитывать возможности основного технологического оборудования участка (многоцелевых станков), вспомогательного оборудования (инструмента и оснастки) и технологических традиций конкретного предприятия; возможности финишной обработки КТЭ, стыковки типовых переходов ПТЦ по припуску; максимальной унификации ПТЦ, входящих в последовательности.

При разработке конкретного варианта АСТПП ограничивают номенклатуру ПТЦ, исходя из реальной номенклатуры поверхностей изготавливаемых деталей.

Лекция 5. Анализ условий эксплуатации

Полученная в результате резания деталь оценивается совокупностью параметров, характеризующих ее состояние. К числу этих параметров относятся: шероховатость обработанной поверхности; точность размеров и формы; остаточные напряжения в поверхностном слое и др.

Точность размеров и формы – отклонения фактических размеров и формы изделия от номинальных.

Точность размеров определяется точностью установки инструмента относительно заготовки и износом инструмента при резании.

Точность формы определяется точностью установки материала на станке и упругими деформациями материала под действием силы резания.

Как известно, точность деталей, используемых для изготовления механизмов, может быть обеспечена двумя способами: посредством разбраковки уже изготовленных деталей и путем повышения технологической точности в процессе их из-

готовления. Преимущество второго способа очевидно – резко снижаются потери от брака.

Прогрессивные технологии металлообработки должны использовать второй способ обеспечения необходимой точности – технологические методы обеспечения точности. При изготовлении детали типа «вал» для последующего соединения с «штулкой» (рис. 6, а) возникновение отказа по параметру точности на станке, выработавшем часть своего ресурса точности, можно описать следующей упрощенной схемой.

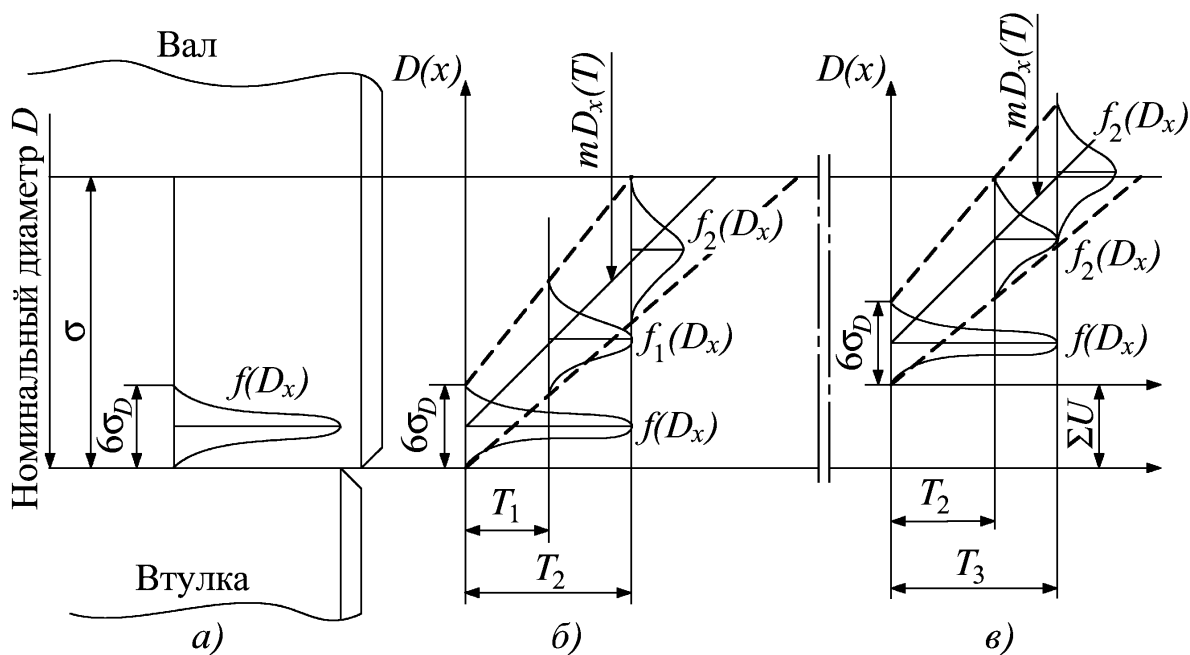


Рис. 6. Схема возникновения параметрического отказа технологической системы

На рис. 6 показаны: 1) линейная зависимость $D_x(T)$, где D_x – получаемый при обработке размер диаметра вала; T – время эксплуатации станка; 2) $mD_x(T)$ – математическое ожидание случайной функции $D_x(T)$. Выход $mD_x(T)$, а также случайной функции $D_x(T)$ за предел допуска δ означает отказ ТС.

Для обеспечения резерва на износ станка его следует настраивать так, чтобы центр группирования размера D_x обработанных деталей имел положение $D-3\sigma_D$, где D – номинальный диаметр вала; $f(D_x)$ – плотность распределения диаметра обработанных деталей; σ_D – среднее квадратическое отклонение диаметра детали от

уровня настройки. Тогда станок (новый или после ремонта) при обработке данной детали обеспечивает резерв на износ, в худшем случае равный $\delta - 6\sigma_D$, где δ – регламентированный допуск.

С течением времени работы ТС в ее элементах возникают различные повреждения, которые нарушают заданную траекторию формообразующего движения инструмента в детали. Появляются систематические и случайные погрешности обработки. Они смещают математическое ожидание поля рассеивания диаметра вала в сторону нижней границы поля допуска и увеличивают σ_D . По истечении времени работы T_1 функция плотности распределения диаметра изменяется до $f_1(D_x)$. В результате резерв на износ сокращается, снижается главный показатель качества детали – надежность. При T_2 обнаруживается дальнейшая потеря надежности. Поле рассеивания диаметра подходит к нижней предельной границе допуска (см. рис. 6, б).

Для поддержания исходных параметров качества деталей, т.е. сохранения начальных параметров функции $f(D_x)$ в течение времени между переналадкой станка, необходимо в процессе обработки деталей компенсировать повреждения в элементах технологической системы и тем самым минимизировать погрешности обработки. Эта задача решается с помощью средств диагностирования.

Для оценки надежности ТС различного конструктивного исполнения исходным материалом является опыт их эксплуатации в виде большого объема статистических исследований. При этом учитываются возможности использования вычислительной среды, входящей в состав многоуровневой системы управления технологической системой, для моделирования в реальном масштабе времени.

В качестве методологической основы применяют системный анализ, ориентированный на раскрытие целостности ТС и многообразных типов их связей. ТС представляется моделями, для которых принимаются как количественные, так и качественные оценки.

Обращение к методам системного анализа в задачах идентификации устойчивого функционирования ТС обосновывается рядом их особенностей.

Гибкий технологический процесс является конечным множеством априорно неопределенных сочетаний технологических операций, их режимов и переходов. Модели, имитирующие событийные дискретные явления, могут применяться только на срок реализации конкретной гибкой технологии. На практике не удается построить регулярные процедуры перехода от общих универсальных описаний к конкретным моделям отдельных реализаций гибкого технологического процесса. При этом внутренние свойства ТС в каждой реализации управления могут изменяться. Например, с ростом сил резания из-за нелинейности демпфирующих свойств ТС могут изменяться характеристики ее элементов. Анализ технологических процессов, состоящих из различных операций и технологических переходов, предполагает использование множества разнообразных критериев оценки качества и эффективности, построение которых каждый раз составляет самостоятельную задачу.

Функционирование ТС характеризуется неопределенностью как из-за действия факторов стохастического характера внешней среды, так и со стороны возникающих внутри него случайных процессов. Состояние ТС измеряется с погрешностями по всем координатам векторного пространства состояний. Часть внешних возмущающих воздействий не могут быть измерены в ходе процесса. При разработке совокупности алгоритмов управляющего устройства ТС для спектра гибких технологических процессов обработки резанием предполагаются известными только лишь общие характеристики возмущений и погрешностей измерения, а конкретные реализации их непредсказуемы. Ход управляемого процесса, а следовательно, и качество определяются выбранным управлением неоднозначно.

Формализация диагностирования ТС для обработки резанием крайне затруднительна по следующим причинам.

1. В структурном отношении эти ТС отличаются многоконтурностью информационных и энергетических связей подсистем, функциональных блоков и управляемых процессов. Современные ТС для многоцелевого технологического назначения строятся по блочной реконфигурируемой структуре, обеспечивающей пере-

стройку на требуемую технологическую компоновку. Например, для совмещения точения, фрезерования, сверления, нарезания резьбы и контрольных операций в одном ГПМ его рабочие органы должны быть многоцелевыми.

2. При построении временных обратных связей (например, введение измерителя параметра шероховатости поверхности обрабатываемой детали) приводит к изменению общей структуры связей, в результате чего реакция ТС в рассматриваемой предметной области становится неадекватной на одни и те же воздействия.

3. Современные ТС обладают большим количеством управляемых координат, измеряемых во времени и пространстве разномасштабно.

В ТС действуют процессы различной физической природы, поэтому каждая моделируемая ситуация должна адекватно отображаться в модели системы. А в этом случае составление целостных описаний становится междисциплинарной проблемой.

К сожалению, теория процесса резания не достаточно разработана в части моделирования нормального функционирования и отказов ТС. Такие теоретические разработки необходимы для создания аналитических моделей резания множества программируемых режимов формообразования. Так как резание является конечным, замыкающим звеном движений рабочих органов металлорежущих ТС и определяет качество формообразования, теоретические предпосылки для создания баз данных по надежности особенно актуальны.

Важной с точки зрения моделирования является непредсказуемость поведения системы, несмотря на изученность ряда входящих в нее подсистем. Это в первую очередь относится к изменению свойств динамической системы ТС при нормальном функционировании составляющих подсистем и блоков. Например, из-за нарушения фазовых соотношений при взаимодействии приводов подач и главного движения могут наблюдаться неустойчивые автоколебания технологической системы, что приводит к параметрическому отказу.

Многолетние исследования рассмотренных свойств позволили установить, что целенаправленное исследование ТС не обеспечено апробированным адекватным математическим аппаратом, хорошо зарекомендовавшим себя на практике.

Имеющийся опыт изучения ТС показывает, что каждый раз необходимо определять процедуры системного анализа и их сочетания применительно к конкретному оборудованию и целям моделирования. Тем не менее существует общая структура системных исследований. Исходным при построении математической модели является вербальное описание, имеющее, как и все этапы системного анализа, целевую направленность. В процессе построения вербальной модели осуществляются: постановка проблемы, анализ исходной информации, формулировка целей моделирования, описание рабочих процессов и функционального взаимодействия подсистем, требуемая формализация. Важной задачей здесь является формулирование целей моделирования и наиболее принципиальных гипотез, которые должны найти отражение в моделях.

Конечной целью системного анализа ТС являются получение и оценка моделей изменения их динамики, определяющей устойчивость функционирования этих систем. От свойств моделей зависят оперативность и адекватность информации. Системный анализ содержит все перечисленные процедуры, но имеет для ТС определенную специфику. Связано это с тем, что вся текущая информация об отказах и восстановлениях при использовании моделей надежности получается экспериментально в реальном масштабе времени. Однако в процессе эксплуатации требуется постоянно осуществлять адаптацию моделей отдельных процессов к условиям функционирования ТС с обновлением начальных условий.

Исследования и производственный опыт показывают, что значительная, а иногда и большая часть допуска (резерва качества параметра) перекрывается повреждениями в технологической системе, связанными с затуплением режущего инструмента. Помимо размерных погрешностей обработки повышается шероховатость, изменяются показатели качества поверхностного слоя обработанной детали. Повреждения инструмента – это необратимые повреждения, вызванные процессами средней скорости протекания. Они влияют на показатели качества обработки как непосредственно за счет нарушения формы режущей кромки и ее расположения относительно базовых поверхностей детали, так и через влияние на другие виды повреждений в ТС:

- тепловые повреждения, так как растут мощности источников тепла в зоне резания с увеличением износа инструмента;
- силовые повреждения, так как повышаются силы по мере затупления инструмента;
- динамические повреждения, так как растет мощность колебаний;
- наростообразование, так как износ инструмента вызывает увеличение размера нароста.

В результате затупление инструмента, в отличие от других рассмотренных повреждений, обязательно приведет к отказу ТС, если не будет выполнена его предупредительная замена. Иногда повреждение режущего инструмента можно наблюдать и не в результате его затупления. Так, при сверлении отверстий на глубину более трех диаметров возможно пакетирование стружки в каналах сверла, что зачастую приводит к силовому повреждению инструмента и отказу ТС. Поэтому при сверлении отверстий в материалах, дающих стружку, неблагоприятную для отвода, необходимо обеспечить формирование стружки, пригодной для удаления ее из зоны резания. Таким образом, инструмент – это особый объект технологии металлообработки: разнообразные условия эксплуатации и, следовательно, нагружения его режущей части вызывают многообразные виды повреждений и отказов; скорости изнашивания инструмента значительно выше, чем скорости изнашивания деталей и узлов станка.

Отказ инструмента может произойти из-за повреждений режущей части деталей механического крепления режущей пластины или корпуса инструмента.

В связи с тем что хрупкое и пластическое разрушение связаны с прочностью, а изнашивание – с износостойкостью, предрасположенность инструмента к тому или иному виду отказа прежде всего зависит от физико-механических свойств (основных свойств) инструментальных материалов.

При изучении физических основ процесса резания выявляют условия работы режущего инструмента, по которым формулируют требования, предъявляемые к инструментальным материалам. Так, например, высоким напряжениям на поверхностях контактной зоны лезвия, вызывающим контактные пластические деформации

ции, противопоставляется высокая твердость; значительным силам – прочность, а высоким температурам, разупрочняющим инструментальный материал, – его высокая теплостойкость. Предъявляемые требования в большей или меньшей степени обеспечиваются основными свойствами различных инструментальных материалов. Под основными свойствами понимают свойства, которые должны иметь инструментальные материалы в готовом к работе инструменте. В табл. 4 главные из этих свойств приведены для инструментальных материалов, широко применявшихся в прошлом веке. Из табл. 4 видно, что инструмент, оснащенный твердым сплавом и режущей керамикой, менее прочен, чем стальной. Поэтому доля отказов первого вида у твердосплавного и керамического инструмента значительно выше. Примерная структура отказов твердосплавных инструментов в производственных условиях показана в табл. 5, быстрорежущих – в табл. 6.

4. Свойства инструментальных материалов

Инструментальный материал	Предел прочности, Н/мм ²			Твердость, HRA, HRC	Теплостойкость, °С
	при изгибе $\sigma_{изг}$	при растяжении $\sigma_{раст}$	при сжатии $\sigma_{сж}$		
Твердые сплавы					
ВК3, ВК3М	1176	500	4270	89,5	900...930
ВК6, ВК6М	1519	500	4390	88,5	900...930
ВК8	1666	500	4210	87,5	900...930
T30K4	980	500	3500	92	1000...1030
T5K12	1666	500	3200	87	1000...1030
Быстрорежущие стали					
P18	2900	1700	3800	63...64	620
11M5ФЮ	3500	–	–	64...65	620

5. Структура отказов твердосплавного инструмента

Инструмент	Материал режущей части инструмента	Материал детали	Вид отказов, %		
			Изнашивание	Хрупкое разрушение	
				Скалывание (поломка)	Выкрашивание
Резцы проходные	ВК8	СЧ 12	19	63	18
	T15K6 T5K10	Конструкционная углеродистая сталь	70...80	10...30	1...7
Отрезные резцы	T15K6	Конструкционная углеродистая сталь	50	34	16
Торцовые фрезы	T5K10	Конструкционная углеродистая сталь	25...30	50	25
	ВК8	СЧ 12			

6. Структура отказов инструмента из быстрорежущей стали P6M5

Инструмент	Вид отказов, %		
	Изнашивание	Хрупкое разрушение	Пластическая деформация
Протяжки	87	5	8
Прошивки	95	5	–
Шевер	69	31	–
Фреза червячная	90	2	8
Развертка	95	2	3
Зенкер	79	7	14
Сверло	70	16	14
Метчик	25	12	63
Долбяк	56	20	24
Резец фасонный	84	2	14

Структура отказов инструмента помимо основных свойств инструментального материала зависит также от типа производства, стабильности технологического процесса, начального состояния инструмента.

Начальное состояние инструмента – это состояние готового к работе инструмента, характеризующееся следующими параметрами: формой, геометрией, размерами, шероховатостью рабочих поверхностей, а также основными свойствами и структурой инструментального материала.

Параметры начального состояния должны быть оптимальны для заданных условий резания.

На основе изучения статистических данных формируют условия эксплуатации инструмента и характеризующие ее факторы (этап 1, рис. 7), анализируют свойства, определяющие качество системы инструмента для работы в этих условиях (этап 2). Далее генерируются идеи, касающиеся конструкторских разработок трех уровней:

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

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

Выявление новых решений и усовершенствование выдвинутых ранее происходит на протяжении всей работы, что показано на рис. 7 линиями обратных связей.

При разработке системы инструмента широкого назначения необходимым этапом проектирования является интенсивное генерирование идей. В настоящее время предложено более 40 специальных методов поиска новых решений.

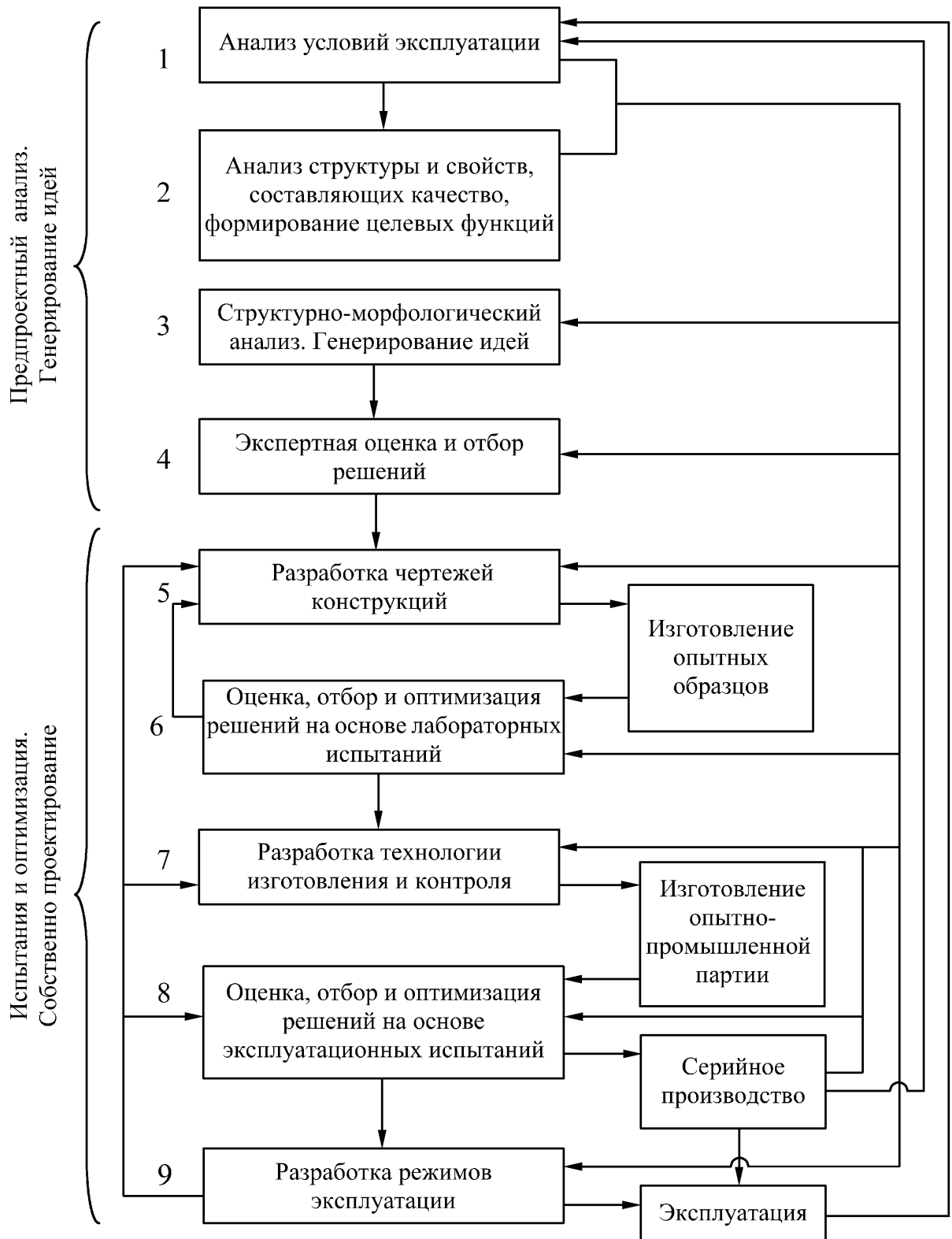


Рис. 7. Процесс создания системы инструмента

Особое место занимает *структурно-морфологический анализ* – неотъемлемая часть проектирования при системном подходе.

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

Для анализа условий эксплуатации инструмента (этап 1, см. рис. 7), используемого на производстве, разработан метод моментных наблюдений. Он состоит в том, что в случайные моменты времени обходят станки, на которых применяют анализируемый инструмент, и фиксируют состояние технологического процесса и условия обработки. Время нахождения инструмента в соответствующем состоянии (процесс резания, замена инструмента, простой и т.д.) или время работы в соответствующих условиях (материал и типоразмер детали, состояние поверхности заготовки, глубина резания и т.д.) прямо пропорциональны числу зафиксированных случаев нахождения в этом состоянии или при этих условиях.

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

Лекция 6. Прогнозирование потребности в инструменте

Качество системы инструмента характеризуется совокупностью свойств, обуславливающих пригодность к процессу резания с обеспечением заданных форм, размеров и качества поверхностей детали при определенной производительности труда, затратах трудовых, материальных и денежных средств.

Система инструмента относится и к классу продукции, расходующей свой ресурс, и к группе ремонтируемых изделий. Для этой группы изделий рекомендует-

ся оценивать следующие *основные комплексные свойства*: назначение, надежность, технологичность, унификация, эргономические, эстетические и экологические свойства.

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

Свойства, определяющие качество системы инструмента, имеют сложную взаимосвязь и могут быть представлены в виде структуры, которая охватывает наиболее общие свойства (рис. 8). Связи между свойствами в этой структуре не поддаются количественному анализу, поэтому структуру свойств целесообразно упорядочить в виде дерева. Такая упорядоченная схема (*дерево свойств*), содержащая самые важные свойства для системы инструмента и предназначенная для ее экспертной оценки на стадии проектирования, представлена на рис. 9.

Дерево строится по определенным правилам [2]. Каждое свойство i -го уровня иерархии влияет наряду со свойствами этого уровня только на одно из свойств $(i - 1)$ -го уровня и в свою очередь взаимосвязано с определенными свойствами $(i + 1)$ -го уровня (нумерация уровней ведется от рассмотрения более общих свойств к рассмотрению более узких, частных свойств). Принимается, что свойства одного уровня не связаны между собой. Свойства, которые применительно к данному инструменту и данной задаче анализа нецелесообразно раскладывать на более простые, называют условно простыми.

Свойства производительности и надежности тесно связаны. Повышение производительности при прочих равных условиях приводит к снижению надежности. Производительность процесса резания (производительность по основному времени), безотказность и долговечность обуславливают одни и те же свойства: точность, жесткость, прочность и износостойкость инструмента. В связи с этим возможны *два способа анализа качества системы инструмента* на стадии проектирования: *по производительности* при постоянной надежности и *по показателям надежности* при одной и той же производительности. В большинстве случаев целесообразно использовать второй способ оценки.

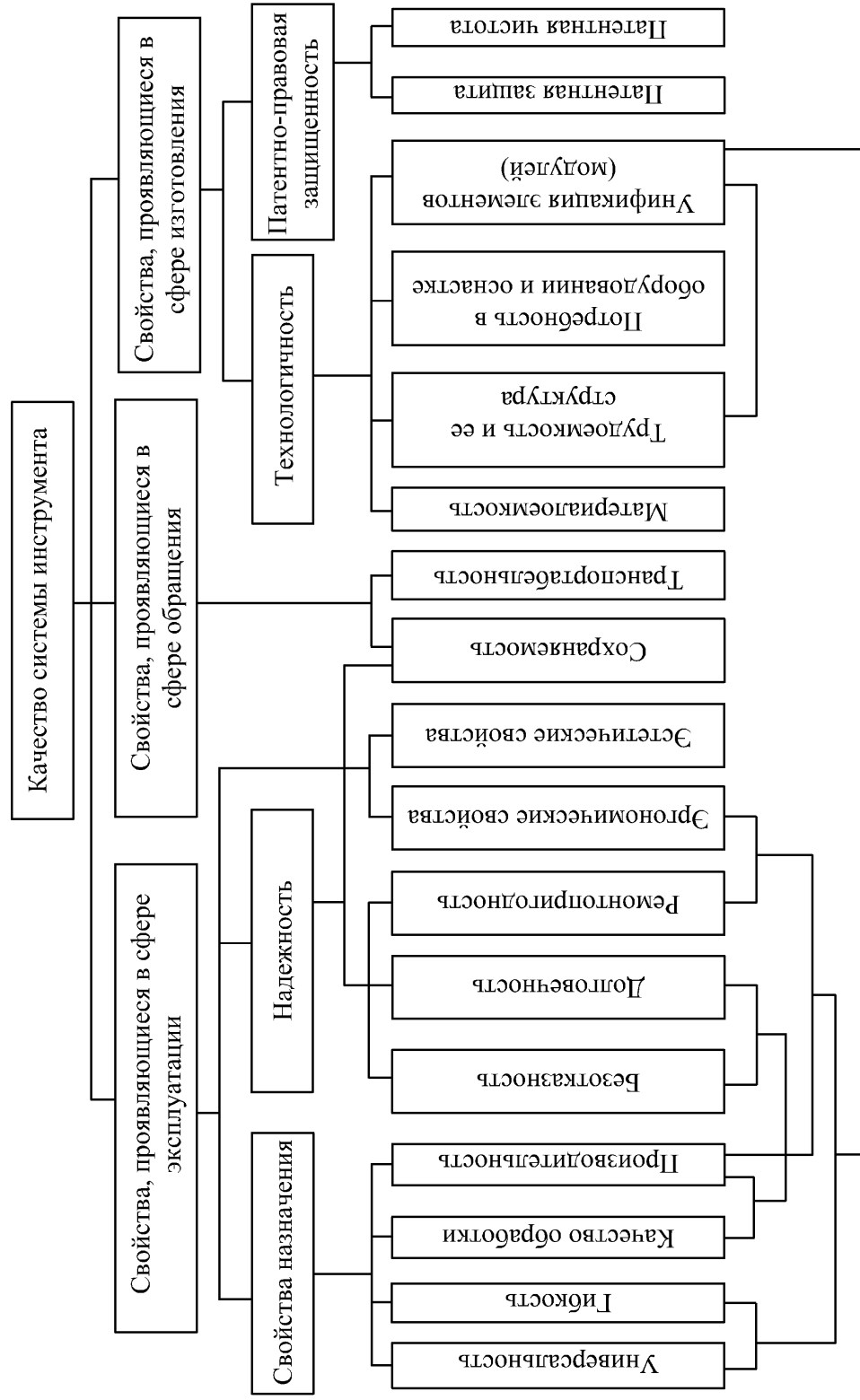


Рис. 8. Свойства, определяющие качество системы инструмента

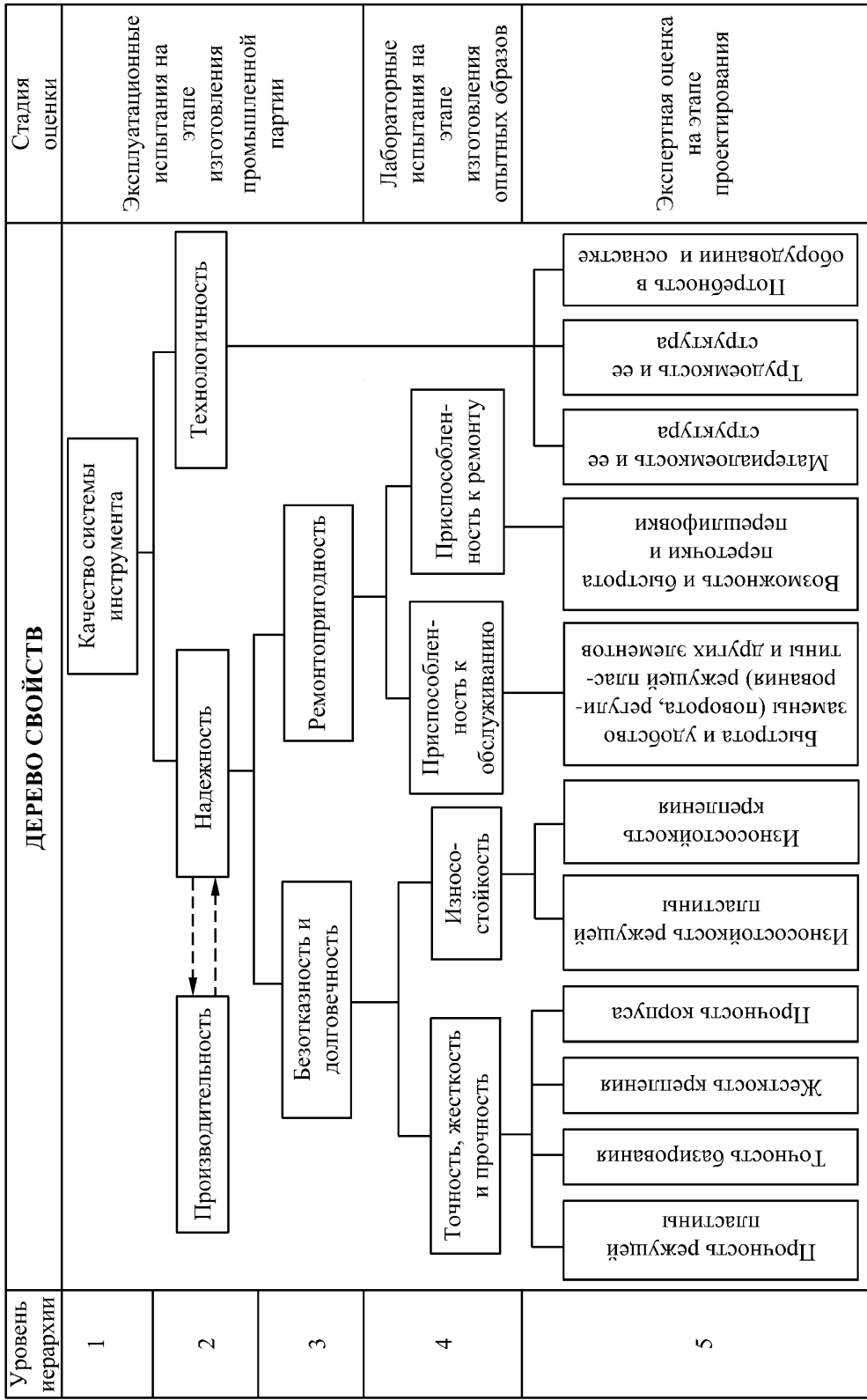


Рис. 9. Дерево свойств, составляющих качество системы инструмента

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

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

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

Установление номенклатуры и структуры свойств является первым этапом работы по оценке качества системы инструмента. Однако даже просто перечень свойств с указанием связей между ними сам по себе может служить важным материалом для конструктора при проектировании системы.

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

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

$$t_{в.ср} = \frac{1}{K_{ср}} \sum_{i=1}^N t_{вi} \cdot K_i,$$

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

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

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

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

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

Испытания являются основным методом определения показателей качества. Результаты *лабораторных и стендовых испытаний* используют главным образом для оценки образцов, а также для контроля серийно изготавливаемого инструмента. Результаты *эксплуатационных испытаний* применяют на стадии изготовления промышленных партий нового инструмента, а также для оценки качества в процессе эксплуатации.

Обеспечение качества системы инструмента имеет первостепенное значение для реализации заложенных в ней потенциальных возможностей и воплощается в виде обратных связей, действующих как внутри, так и между этапами обеспечения качества инструмента (проектирование, изготовление, эксплуатация). Информация, полученная путем испытаний на этапе проектирования, используется для выбора оптимального варианта и совершенствования конструкции системы инструмента, технологии изготовления и режимов ее эксплуатации (см. рис. 7), данные контроля на этапе изготовления – для повышения технологичности конструкции, технологического обеспечения качества, аттестации инструмента. Ре-

зультаты диагностирования применяются для организации соответствующих воздействий на конструкцию, технологию и регламенты эксплуатации инструмента.

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

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

Прочность инструмента при прерывистом резании целесообразно оценивать путем *динамических испытаний*. По режущей кромке наносят удар свободно падающим закаленным стержнем, ось которого располагают перпендикулярно кромке. Мерой прочности служит наименьшая высота падения стержня, при которой кромка получает повреждения. Разработаны установки, которые имитируют условия нагружения при прерывистом резании, а зависимость вероятности выкрашиваний от количества ударов характеризует прочность режущей кромки инструмента.

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

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

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

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

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

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

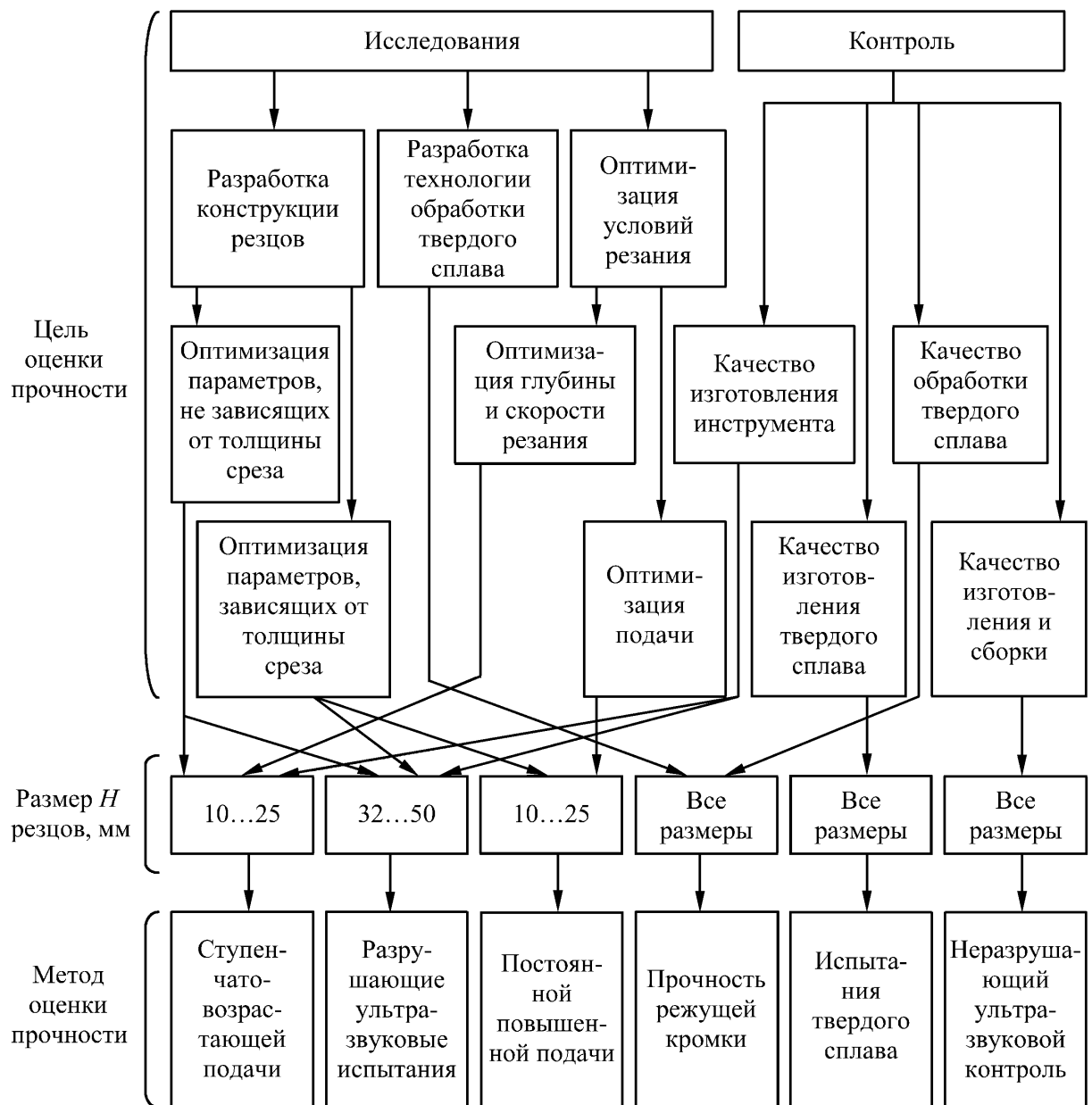


Рис. 10. Методы оценки прочности сборных резцов с твердосплавными сменными режущими пластинами

Важным рычагом повышения качества изготовления инструмента является совершенствование методов и системы его контроля. Для *неразрушающего контроля инструмента* предложены измерения геометрических параметров режущей части, твердости, коэрцитивной силы, цветная дефектоскопия и другие методы. Входной неразрушающий контроль твердосплавных пластин измерением парамагнитной восприимчивости позволил резко снизить число отказов в начале

работы. Разбраковку пластин осуществляют также по величине термоЭДС, связанной с содержанием углерода, нестабильность которого определяет разброс режущих свойств пластин.

Система контроля качества систем инструмента при его изготовлении направлена на решение трех задач: повышение технологичности конструкции; технологическое обеспечение качества и аттестация отдельных партий. Исследования в соответствии с общей теорией надежности показывают, что эксплуатация изделий «по состоянию», по их фактическим ресурсам (качествам), обеспечивает значительную экономию.

Применительно к системам инструмента этот резерв используется недостаточно. Для его реализации необходимо решить две задачи: по результатам контроля установить представительный показатель качества конкретной партии и в зависимости от величины этого показателя рассчитать поправочные коэффициенты на условия эксплуатации, позволяющие с максимальной эффективностью использовать данную систему с присущим ей уровнем качества.

Организация рациональной эксплуатации систем инструмента включает три этапа: прогнозирование надежности до начала эксплуатации; оптимизация расхода ресурса инструмента непосредственно во время эксплуатации; использование результатов эксплуатации для обеспечения обратной связи с этапом анализа условий эксплуатации (см. рис. 7).

Первый этап обеспечения рациональной эксплуатации системы инструмента определяет его надежность, являющуюся базой для назначения режимов резания, производительности автоматизированного производства и других показателей. На этом этапе важно учесть статистические аспекты надежности инструмента.

Лекция 7. Унификация конструкций инструментальной оснастки

Дальнейшее развитие инструментальной оснастки для станков с ЧПУ привело к замене стандартных резцов, закрепляемых в резцедержателях, на унифицированные конструкции (рис. 11).

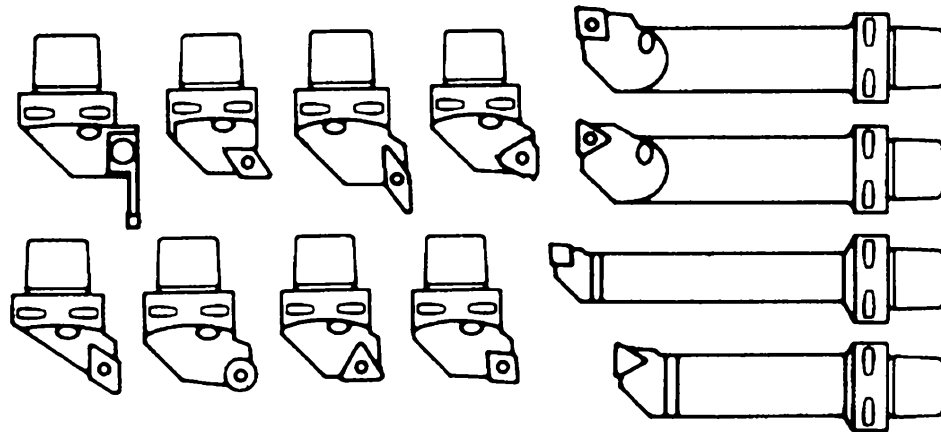


Рис. 11. Унифицированные конструкции резцов для токарных станков

Важным преимуществом такого решения является возможность применения одних и тех же конструкций вращающегося инструмента как на токарных, так и на фрезерно-сверлильно-расточных многоцелевых станках (рис. 12). В качестве базирующих в специальных конструкциях используют конические хвостовики конусностью 1:10 (угол конуса $5^{\circ}43'29,3''$) с размерами фланца для торцового контакта по нормальному ряду (рис. 13).

Это приближает эти конструкции к инструментальной оснастке с хвостовиками HSK и обеспечивает дальнейшую унификацию инструмента. Унифицированы конструкции канавочных, расточных и проходных резцов (рис. 14), сверл и других инструментов.

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) разработала хвостовик «Capto», имеющий в сечении трехгранную форму с радиусными скруглениями (рис. 15). Такая форма получила название «РК-профиль» и отличается от обычных конусов следующими преимуществами: а) повышенная жесткость и надежность крепления; б) равномерное распределение напряжений при передаче крутящего момента $M_{кр}$; в) более высокая жесткость при нагружении силой резания P_y при сопоставимой массе.

Для хвостовиков «Capto» принято кодирование по диаметрам фланцев 32 мм (код С3), 40 мм (код С4), 50 мм (код С5), 63 мм (код С6) и 80 мм (код С8).

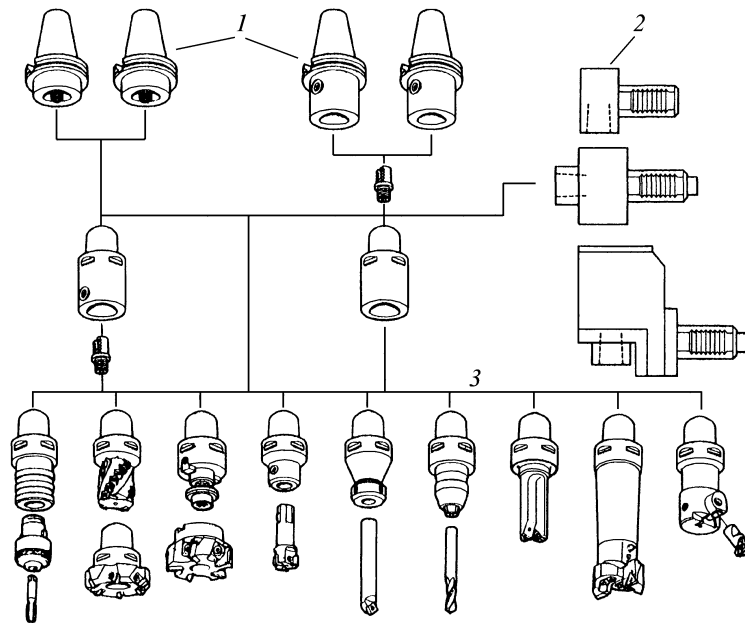


Рис. 12. Универсальная инструментальная оснастка для вращающегося инструмента 3 (патроны 1 и резцедержатели 2)

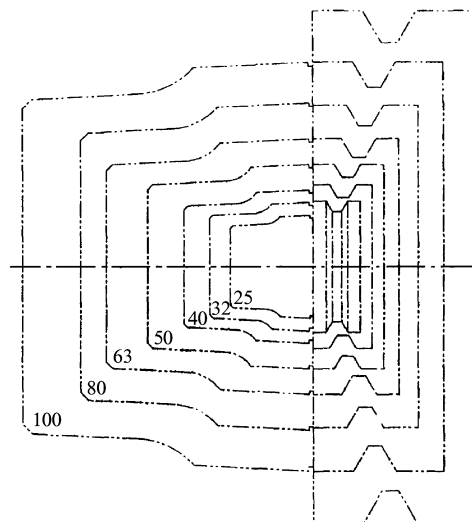


Рис. 13. Типоразмеры хвостовиков инструмента унифицированных конструкций

Этими хвостовиками резцы 1 и другие инструменты базируются и закрепляются в резцедержателях 2 (рис. 16). На первом этапе закрепления (рис. 16, а) тяга 3 с сегментами 4 входит в отверстие хвостовика. После перемещения в обратном направлении тяга 3 своей тороидальной поверхностью раздвигает сегменты 4 до их взаимодействия с расточкой специального профиля. Дальнейшее перемещение тяги 3 приводит к упругой деформации хвостовика и к контакту торцовых поверхностей его фланца и резцедержателя (рис. 16, б).

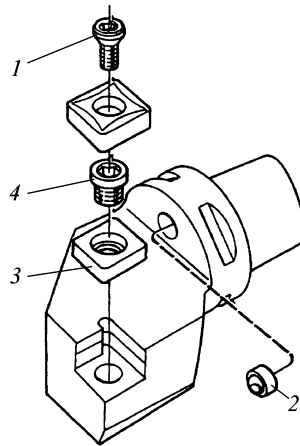


Рис. 14. Проходной резец SCLC с пластиной ССМТ с хвостовиком «Сарто»: 1

– винт; 2 – втулка для подвода СОЖ; 3 – подкладка;

4 – резьбовая втулка

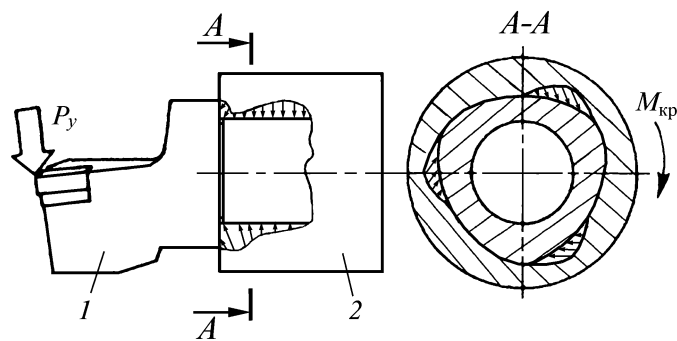


Рис. 15. Соединение «Coromant Carpo»:

1 – резец; 2 – резцедержатель

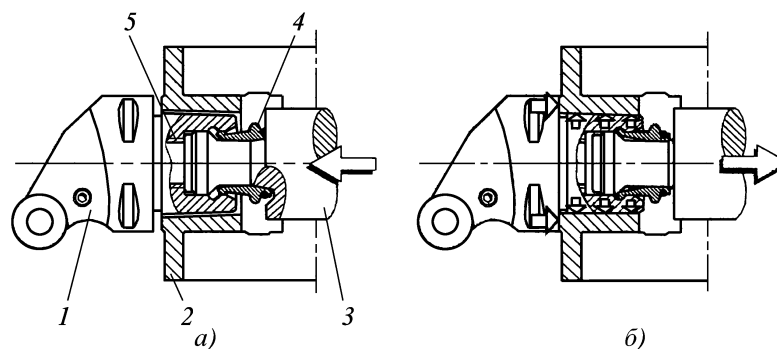


Рис. 16. Закрепление инструмента с хвостовиком «Сарто»:

1 – резец; 2 – резцедержатель; 3 – тяга; 4 – сегмент; 5 – резьба

При соединении модулей используется также резьба 5 (рис. 16, *a*), в которую вворачивается стягивающий болт.

При ручной смене инструмента с хвостовиками «Capto», например в резцедержателях по ГОСТ 24900–81, для перемещения тяги 3 (см. рис. 16) применяется эксцентриковый зажим (рис. 17), когда тяга 3 перемещается путем поворота кулачка.

При автоматической смене используются специальные держатели с гидромеханическим закреплением хвостовиков «Capto» (рис. 18). К фланцу 1, служащему для фиксации держателя в револьверной головке, присоединяется цилиндр 2, в котором размещается тяга 3.

На тяге 3 с помощью полуколец 5 устанавливаются сегменты 4, подпружиненные кольцом 6 или шестью цилиндрическими, или одной плоской пружиной 7. При подаче масла по стрелке *B* (рис. 18, *a*) тяга 3 с сегментами 4 перемещается в отверстие хвостовика «Capto», после подачи масла по стрелке *A* тяга 3 раздвигает сегменты 4 и закрепляет инструмент. Стрелками *B* показаны каналы отвода масла.

Для самостоятельного изготовления специального режущего инструмента фирмами поставляются заготовки с окончательно обработанными посадочными поверхностями хвостовика, прошедшими термообработку и шлифовку. Передняя часть заготовки позволяет легко произвести механическую обработку, так как изготавливается из стали типа 25ХМ4 с твердостью 270...325 НВ, допускающей последующую закалку и отпуск. Термическая обработка после механической обработки выполняется путем местного индукционного нагрева (рис. 19).

Для обеспечения твердости только поверхностного слоя применяют индукционную закалку токами высокой частоты, а для объемной закалки – токи средней частоты. Максимальную твердость порядка 50 HRC можно получить при следующих режимах термообработки: температура закалки – 840...870 °С, охлаждение со средней скоростью в соляной ванне, отпуск – 75 мин при температуре 200 °С.

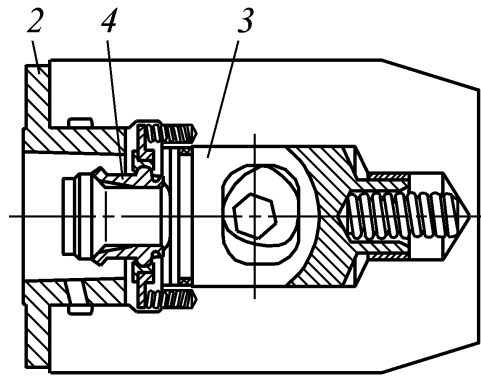


Рис. 17. Ручное закрепление хвостовиков «Сарто»
(обозначение – см. рис. 16)

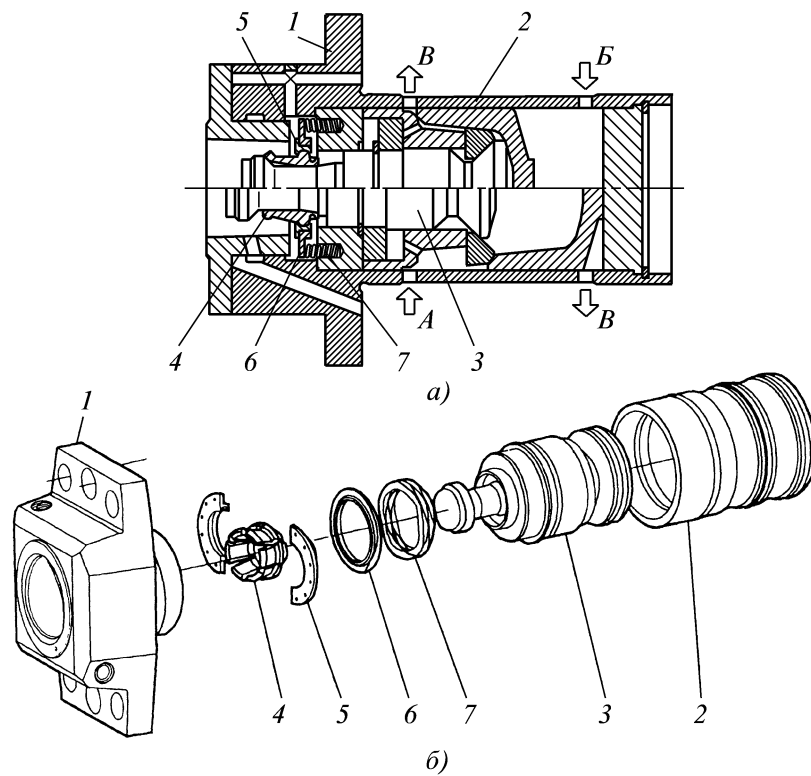


Рис. 18. Гидромеханическое закрепление хвостовиков «Сарто»:
а – держатель в сборе; *б* – детали держателя

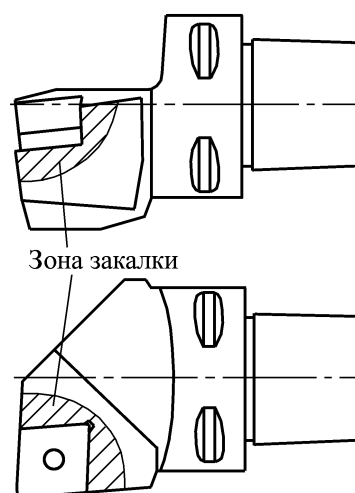


Рис. 19. Термообработка заготовок инструмента

Для установки инструмента «Coromant Capto» в шпинделях с конусом HSK станков с ЧПУ фрезерной и сверлильно-расточной групп применяют специальные переходники.

Наряду с хвостовиком «Capto» применяются специальная конструкция «KM WIDAFLEX», созданная совместно фирмами Kennametal (США) и WIDIA (Германия) и конструкция под названием «Maxiflex UTS» выпускается фирмой CERATIZIT (Люксембург). В частности, система инструмента «TIZIT Maxiflex UTS-MIY» поставляется для оснащения токарно-фрезерных станков «Mazak Integrex» типоразмеров 100, 200, 300, 400, Y и SY японской станкостроительной фирмы Yamazaki Mazak. Применение инструмента со специальными хвостовиками обеспечивает существенную экономию площадей, занимаемых станками. Высокая повторяемость положения режущих кромок позволяет сократить количество измерительных переходов, подналадок и смен инструмента.

Закрепление хвостовиков «KM WIDAFLEX» осуществляется автоматически или вручную. Схематически процесс ручного закрепления показан на рис. 20.

В положении «раскрепление» запорный стержень 5 посредством гидравлического толкателя (по стрелке) или путем поворота эксцентрика 4 перемещается в направлении резца 1. Шарики 2, свободно размещенные в

выталкивателе 7, попадают в углубления запорного стержня и не препятствуют размещению хвостовика резца *1* в коническом отверстии резцедержателя *б*.

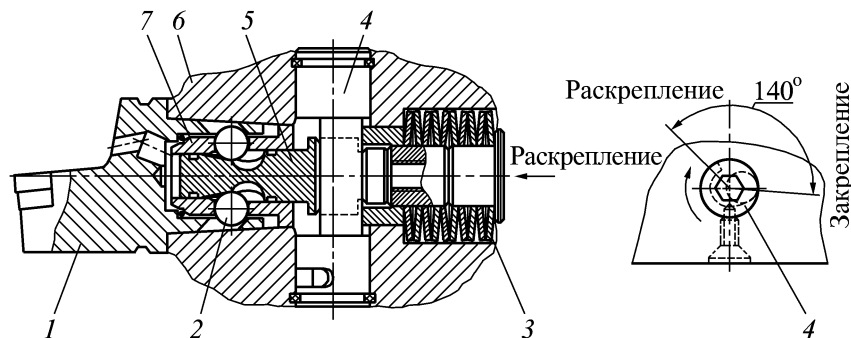


Рис. 20. Ручное закрепление хвостовиков «KM WIDAFLEX»

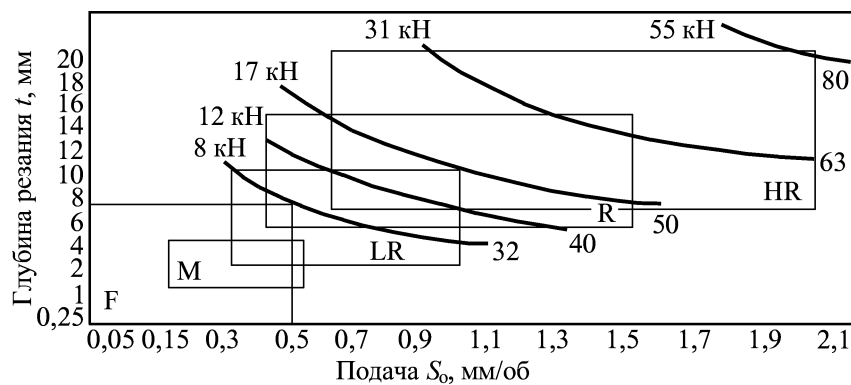
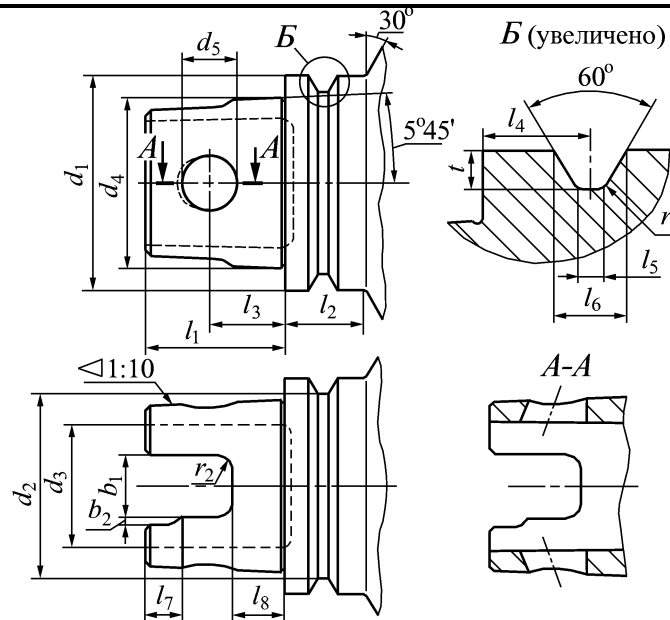


Рис. 21. Режимы резания и максимально допускаемые силы резания в зависимости от типоразмера хвостовика унифицированной конструкции

Для перехода в положение «закрепление» необходимо или повернуть эксцентрик *4* на 140° , или отвести гидравлический толкатель. Усилие закрепления создается пакетом тарельчатых пружин *3*. В результате запорный стержень *5* своими скосами выталкивает шарики *2* в радиальные отверстия диаметром d_5 (табл. 4). За счет наклона этих отверстий происходит подтяжка хвостовика резца *1* на торец резцедержателя *б*. Окончательная сила закрепления определяется пакетом пружин *3*.

Существенно, что хвостовик, имеющий прорезь шириной b_1 (см. табл. 4), упруго деформируется, что гарантирует полный контакт по всем коническим поверхностям.

4. Основные размеры, мм, хвостовика «KM WIDAFLEX»



d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	l_1	l_2 , не более	l_3	$l_4 \pm 0,1$	l_5
25	22,00	14,3	20	6,5	16	8	7,9	4,5	2,25
32	26,96	17,7	24	7,5	20	10	10,8	4,9	2,25
40	36,90	21,0	30	9,5	25	12	13,6	5,9	2,25
50	42,70	28,2	40	12,5	32	16	17,2	8,9	3,75
63	55,70	35,2	50	14,5	40	18	22,4	9,9	3,75
80	72,70	48,0	64	18,0	45	20	25,0	11,0	3,75
100	92,70	62,0	82	20,0	50	22	26,7	11,0	3,75
d_1	l_6	l_7	l_8	b_1	B_2	t	r_1	r_2	
25	2,8	4,0	5,5	8,2	1,0	1,50	0,5	3,0	
32	2,8	4,8	8,0	9,0	1,5	1,50	0,5	3,0	
40	2,8	6,0	11,0	10,0	2,0	1,50	0,5	4,0	
50	5,8	8,5	12,0	14,0	2,0	3,65	1,0	4,0	
63	5,8	9,3	18,0	16,0	2,0	3,65	1,0	4,0	
80	5,8	10,0	18,5	20,0	2,5	3,65	1,0	6,0	
100	5,8	13,0	19,0	24,0	2,5	3,65	1,0	6,0	

Конструкции хвостовиков «Capto», «KM WIDAFLEX» и «Maxiflex UTS» предназначены для работы в самых различных условиях. На рис. 21 показаны характерные области нагрузок для чистой (F), получистой (M), легкой

черновой (LR), черновой (R) и тяжелой черновой обработки (HR). Для обработки легированных сталей резцами с твердосплавной ромбической сменной режущей пластиной с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ максимальная тангенциальная сила резания P_y для хвостовика с размером 32 имеет значение (с запасом на ее рост по мере износа режущей кромки) порядка 8 кН и соответствует $t = 7,5$ мм и $S_o = 0,5$ мм/об. Из рис. 21 следует, что инструмент с хвостовиком типоразмера 32 можно без ограничений использовать для чистовой (F) и получистовой (M) обработки. Для легкой черновой обработки (LR) этот инструмент применяется ограниченно.

На режимы резания унифицированными инструментами влияет вылет резцов из резцедержателя. На рис. 22 показано, как необходимо изменить площадь сечения среза ($t \times S_o$), если по условиям обработки требуется наладка с удлиненным режущим инструментом.

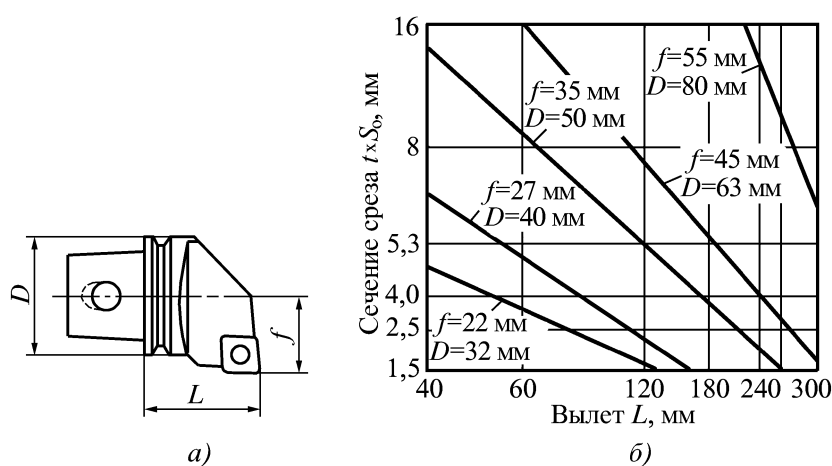


Рис. 22. Зависимость сечения среза $t \times S_o$ от вылета L инструмента:

a – резец; *b* – диаграмма зависимости

Унификация конструкций инструментальной оснастки для многоцелевых станков различной компоновки позволяет существенно упростить систему инструментального обеспечения машиностроительного предприятия.

Лекция 8. Выявление отказа инструмента

На автоматизированных ТС основной целью диагностирования процесса резания и инструмента является своевременное определение предельного состояния или отказа инструмента для его замены и тем самым восстановления работоспособности ТС. Попутная цель при этом – определение текущего состояния инструмента с целью управления процессом резания: коррекция траектории движения инструмента, изменение режима резания и т.п.

Системы диагностирования должны выполнять следующие процедуры:

- измерение параметров диагностических признаков состояния и отказа инструмента;
- распознавание текущего состояния инструмента и его отказа;
- принятие решений по замене инструмента или управлению технологическим процессом.

В действующих системах диагностирования чаще используют следующий алгоритм для распознавания отказов инструмента. Текущий диагностический сигнал Π сопоставляется с предварительно заложенным в память ЭВМ значением параметра Π , соответствующим по уровню предельному значению h при отказе из-за износа или соответствующим по уровню в форме сигналу, возникающему при поломке или выкрашивании. Алгоритм, описывающий процедуру распознавания, вытекает из результатов исследований, а обучение системы диагностирования состоит в установлении предельных границ изменения контролируемого сигнала, а также скорости его изменения. Все это выполняется в предэксплуатационный период на стендах. При диагностическом признаке Π , который возрастает с течением времени работы инструмента по мере его износа (рис. 23), отказ инструмента регистрируется тогда, когда кривая $\Pi = f(T)$ пересечет установленный в экспериментах предел, что соответствует предельно допускаемому износу h . Для определения этого момента в течение всего времени обработки детали система диагностики периодически опрашивает датчик признака Π . Текущие средние значения Π за этот отрезок времени, показанные в виде кривой на рис. 24, сопоставляются с Π_{\max}^h .

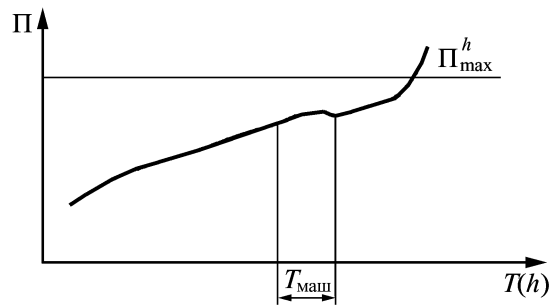


Рис. 23. График изменения диагностического признака Π в течение времени работы $T_{\text{маш}}$ или износа h инструмента

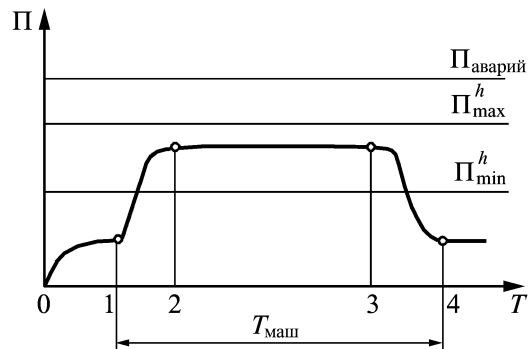


Рис. 24. Изменение диагностического признака в течение одного цикла обработки детали:

0–1 – участок подвода инструмента к детали; 1–2 – участок врезания;
2–3 – участок резания; 3–4 – выход инструмента из детали

Последний график $\Pi = f(T)$ построен по точкам, представляющим собой среднее значение Π , полученное из множества измерений, отражающих реальную картину колебания в процессе резания Π как случайного параметра. Изменения, например, силы P_z за один опрос датчика протяженностью в 100 мс показаны на рис. 25. По точкам, взятым на этом графике, рассчитывается среднее значение диагностического признака для построения графика на рис. 23. Использование усредненного сигнала возможно только при диагностировании износа, поскольку

скорость изнашивания невелика. Случайные выбросы Π (см. рис. 25) за пределы Π_{\max}^h при диагностировании износа не вызывают ложного сигнала об отказе.

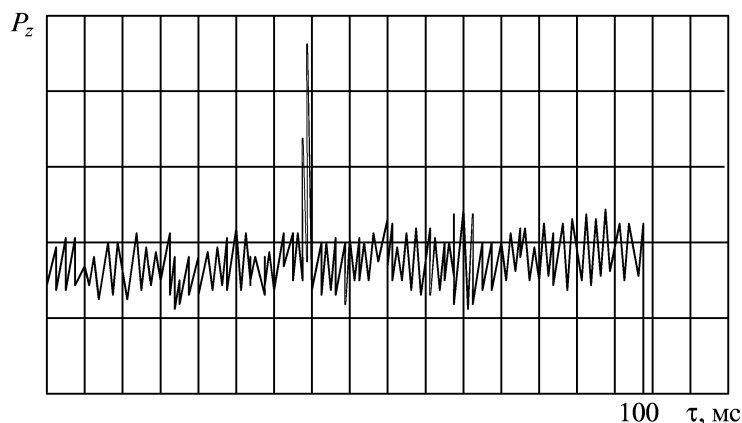


Рис. 25. Распечатка диагностического сигнала за один опрос датчика

Значение Π_{\max}^h устанавливают, умножая текущее Π , зафиксированное при работе острым инструментом, на коэффициент запаса K :

$$\Pi_{\max}^h = K \Pi$$

Коэффициент K как постоянный или зависящий от условий обработки коэффициент выбирает технолог.

При определенном характере развития очагов износа может произойти не рост, а снижение значений некоторых диагностических параметров процесса резания. Так, при превалирующем износе по передней поверхности инструмента сила резания падает. Может снижаться амплитуда низкочастотных колебаний до определенной величины износа по задней поверхности. В этих случаях для распознавания предельного состояния инструмента необходимо устанавливать не верхний, а нижний предел диагностического признака Π_{\min}^h (см. рис. 23). Порядок его назначения такой же, как для Π_{\max}^h .

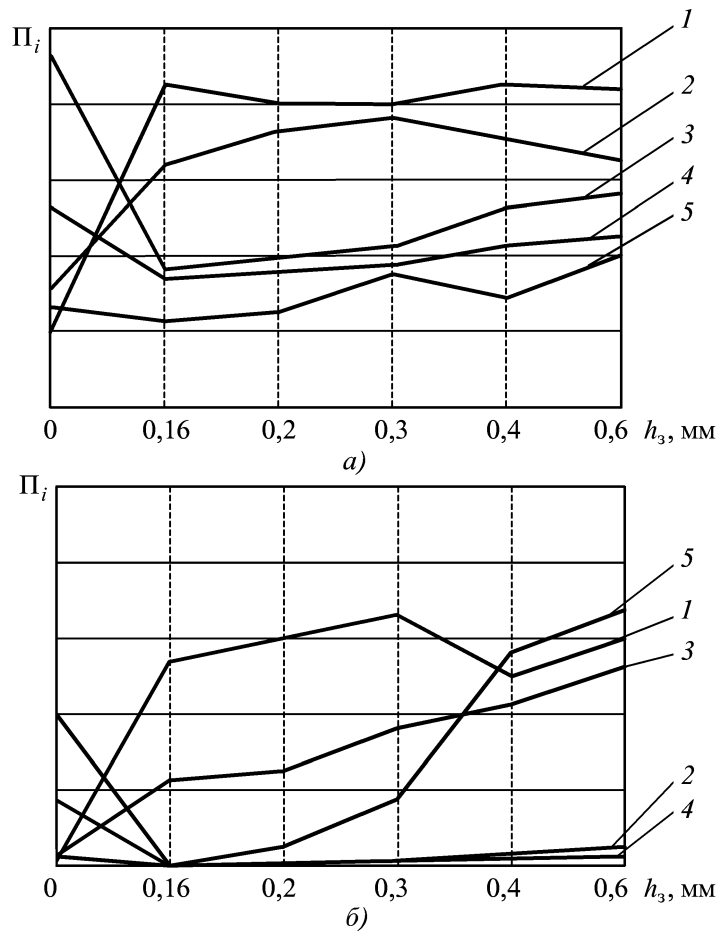


Рис. 26. Зависимости от износа h_3 математического ожидания (а) и дисперсий (б): 1 – амплитуды высокочастотных колебаний; 2 – P_x ; 3 – амплитуды низкочастотных колебаний; 4 – P_z ; 5 – P_y

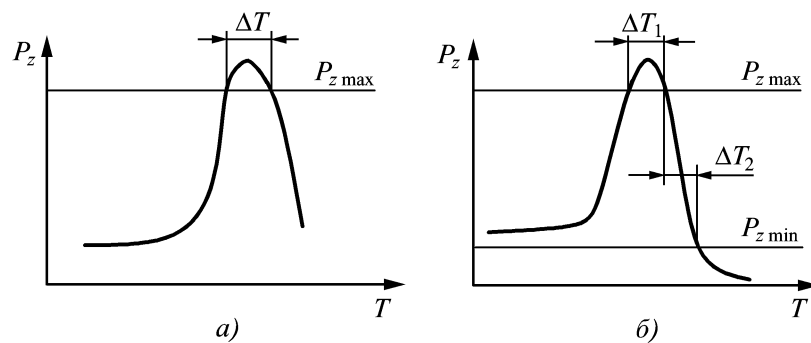


Рис. 27. Графики изменения составляющей силы резания P_z при поломке инструмента

Так, при точении стали 18Х12НЮТ на скорости резания $v = 160$ м/мин, подаче $S_o = 0,3$ мм/об и глубине $t = 1$ мм, зависимости математического ожидания составляющих сил резания P_x, P_y, P_z , амплитуд низкочастотных (до 1 кГц) и среднечастотных (до 20 кГц) колебаний от износа h_3 твердосплавного резца не позволяют выявить информативный диагностический признак износа (рис. 26, а), так как все исследуемые параметры процесса резания изменяются с износом h_3 неоднозначно и незначительно. Однако зависимости их дисперсии от износа, приведенные на рис. 26, б, показывают, что дисперсии ряда параметров, начиная с износа $h_3 = 0,16$ мм растут однозначно и существенно, что позволяет использовать их в качестве диагностических признаков.

При диагностировании поломок (скалывания) инструмента приходится сталкиваться с большими сложностями. Это связано с тем, что возможны разные причины поломок, определяющие различное проявление диагностических признаков в момент времени, предшествующий поломке. Основные причины поломок следующие:

а) постепенный до предельного значения рост силы, вызванный износом инструмента или тепловыми деформациями. Поломке по этой причине предшествует не только рост момента, но и рост интенсивности колебаний;

б) усталостные процессы механического и термоциклического происхождения в инструментальном материале. Разрушению инструмента может в этом случае предшествовать повышение амплитуды и частоты колебаний. В то время как сила резания не возрастает.

Сложность диагностирования поломок определяется также взаимодействием отделившейся при скалывании части режущей пластины с обрабатываемой заготовкой. Например, режущая пластина может сразу выйти из контакта с заготовкой или же отделившаяся часть пластины может развернуться на опорной поверхности корпуса резца, осуществляя резание, но с иными подачей и глубиной. Эта часть пластины на какой-то момент времени может заклинить между заготовкой и корпусом резца. Отсюда возникают неоднозначность сигналов из зоны резания, возникающих вслед за поломкой инструмента.

Поломка является результатом сил, действующих на режущую часть инструмента и изменяющихся в процессе разрушения. В связи с этим сила может быть информативным диагностическим признаком поломки. Поэтому большинство применяющихся на практике алгоритмов диагностирования поломок основаны на использовании силы резания как диагностического признака отказов инструмента. Исследования показали, что в наибольшей мере особенности процесса поломки отражает составляющая силы резания P_z .

Так, при поломке из-за роста силы изменение составляющей P_z во времени характеризуется зависимостью, представленной на рис. 27. После кратковременного превышения силой верхнего порогового значения $P_{z \max}$, наступает ее падение. Длительность нахождения сигнала за пределами $P_{z \max}$ составляет порядка 0,1 мс. Это время, характерное для процесса поломки, больше времени возрастания силы за счет, например, случайных всплесков сигнала. Оно позволяет отличать поломку от других случаев, вызывающих рост силы, но не приводящих к поломке.

Алгоритм диагностирования поломок по верхнему уровню силы приведен на рис. 28. В нем для исключения действия кратковременных помех вводится задержка времени ΔT между началом превышения $P_{z \max}$ и формированием информации о поломке. Информация фиксируется тогда, когда неравенство $P_z > P_{z \max}$ продолжается в течение времени $\Delta T > \Delta T_1$, определенного экспериментально. Далее подается команда на отключение движения подачи и вращения шпинделя.

Однако алгоритм, показанный на рис. 28, не обеспечивает достаточной надежности распознавания поломки (скалывания) инструмента. Это связано с тем, что не однозначно соотношение между временем ΔT , характерным для процесса поломки и временем нахождения P_z за пределом $P_{z \max}$ из-за внешних электрических помех или, например, локального повышения твердости обрабатываемой заготовки. Все эти временные параметры носят случайный характер. В результате трудно отличить случайные всплески силы от роста ее, вызывающего разрушение инструмента. Возможны ложные команды.

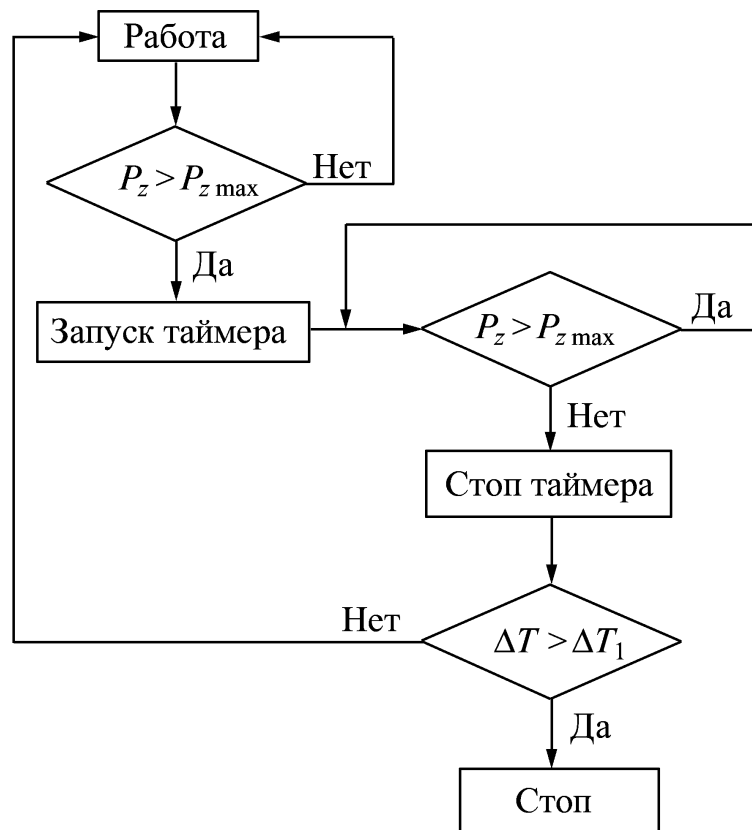


Рис. 28. Алгоритм распознавания поломки инструмента по верхнему уровню силы

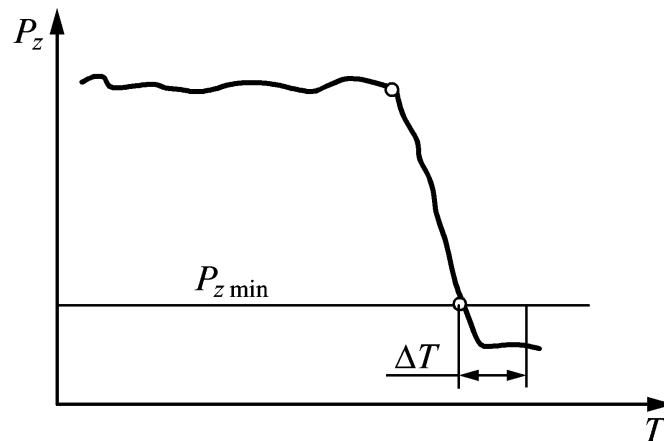


Рис. 29. График изменения составляющей силы P_z при поломке резца из-за усталостного разрушения

Для повышения надежности распознавания поломок токарных резцов принимают несколько иной подход к формированию алгоритма. Экспериментально установлено, что при поломке режущей пластины резца сила резания на малое

время превышает $P_{z \max}$, после чего быстро снижается до величины меньше $P_{z \min}$ (рис. 27, б). Фиксируются моменты перехода текущим значением P_z через границы $P_{z \max}$ и $P_{z \min}$ и отсчитывается время ΔT_1 – продолжительность превышения $P_{z \max}$ и ΔT_2 – время от момента обратного перехода до момента перехода через $P_{z \min}$. Решение о поломке принимается, если $\Delta T_1 \geq \Delta T_1^{\text{ЭТ}}$ и $\Delta T_2 \leq \Delta T_2^{\text{ЭТ}}$, где $\Delta T_1^{\text{ЭТ}}$ и $\Delta T_2^{\text{ЭТ}}$ – установленные экспериментально периоды времени.

Этот алгоритм обладает большой помехозащищенностью, так как при случайных всплесках нагрузка далее не снижается до величины меньше $P_{z \min}$.

В случае, когда разрушение инструмента носит усталостный характер, сила резания, предшествующая поломке, не возрастает. После поломки в зависимости от того, как сколовшаяся часть пластины удаляется из зоны резания, сила резко падает или постепенно уменьшается до значения ниже $P_{z \min}$ (рис. 29). Применительно к алгоритму распознавания это означает, что сигнал о поломке должен формироваться как только $P_z < P_{z \min}$. Для исключения ложных команд, вызванных выполнением этого неравенства из-за случайного падения силы, вводится задержка ΔT , в течение которой, а не менее ее, должно сохраняться неравенство.

Лекция 9. Устройства для автоматической смены инструмента

Гибкость инструментального обеспечения в значительной мере зависит от числа инструментов, хранящихся в пристаночных накопителях. Если для обработки партии одних и тех же заготовок на токарном станке АП достаточно 8–12 инструментов, установленных в одной или двух револьверных головках, то для обработки различных заготовок малыми партиями в 20–50 шт требуется значительное число инструментов. Необходимо также наличие инструментов-дублеров для замены затупившегося инструмента. В связи с этим возникает необходимость создавать системы автоматической смены инструмента (АСИ), включающие: а) пристаночные накопители готового к работе инструмента (инструментальные магазины); б) устройства автоматической транспортировки инструмента из накопителей в рабочие узлы станков; в) устройства закрепления инструмента на станках; г) идентификаторы начала смены инструмента; д) унифицированную ин-

струментальную оснастку (вспомогательный инструмент, средства настройки инструмента и его кодирования).

Для взаимодействия с АСИ на станке для обработки корпусных деталей и на многоцелевых станках применяют устройства автоматического закрепления вращающегося инструмента. Один из вариантов такого устройства показан на рис. 30.

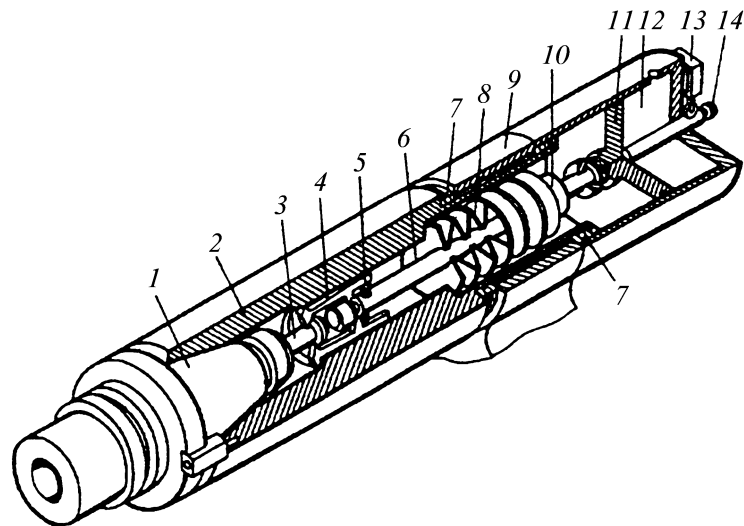


Рис. 30. Устройство автоматического закрепления инструмента в шпинделе

При закрепленном положении оправки тяга (шомпол) 6 находится в крайнем правом положении под действием тарельчатых пружин 8, которые размещены в расточке шпинделя 2 и упирается в гайку 10, связанную с тягой 6. Оправка 1 удерживается за хвостовик 3 специальными рычагами 4, которые находятся под действием пружин 5 и связаны плечом с тягой 6. Надежность захвата рычагами хвостовика 3 обеспечивается тем, что при движении тяги вправо верхние выступы рычагов 4 воздействуют с конусной расточкой переходной ступени отверстия в шпинделе.

Для раскрепления оправки служит гидроцилиндр 12 одностороннего действия. При подаче масла под давлением в правую полость гидроцилиндра его поршень 11 смещается и через подшипник воздействует на торец тяги 6, сжимая комплект тарельчатых пружин. Рычаги 4, попадая в расточку отверстия шпинделя, осво-

бождают хвостовик 3, а тяга своим торцом при дальнейшем ходе упирается в хвостовик 3 оправки 1 и выталкивает оправку с инструментом из шпинделя примерно на 5...6 мм. Автооператор системы АСИ вынимает оправку из шпинделя и заменяет ее следующей по программе. Для закрепления следующей оправки следует сигнал на снятие давления в полости гидроцилиндра и происходит втягивание оправки в шпиндель. Для надежного удерживания хвостовика на оправке рычагами 4 в конце хода тяги под действием пружин рычаги попадают в суженую часть отверстия шпинделя и тем самым удерживаются в сжатом состоянии. Чтобы исключить опасность включения вращения шпинделя при незакрепленной оправке, в системе установлен микропереключатель 13, на который воздействует удлиненный конец штока 14, связанный с поршнями 11 гидроцилиндра 12. Рассмотренная конструкция шпинделя смонтирована в шпиндельной бабке 9 на подшипниках 7.

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

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

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

В револьверных головках с вращающимся инструментом расположены соответствующие шпиндельные узлы.

Устройства АСИ с автооператорами представляют собой сочетание инструментальных магазинов, автооператоров и других устройств. В качестве автооператора используется часть устройства АСИ, которая обеспечивает автоматический обмен инструментом между накопителями и шпинделем станка. Классификация устройств АСИ приведены на рис. 31.

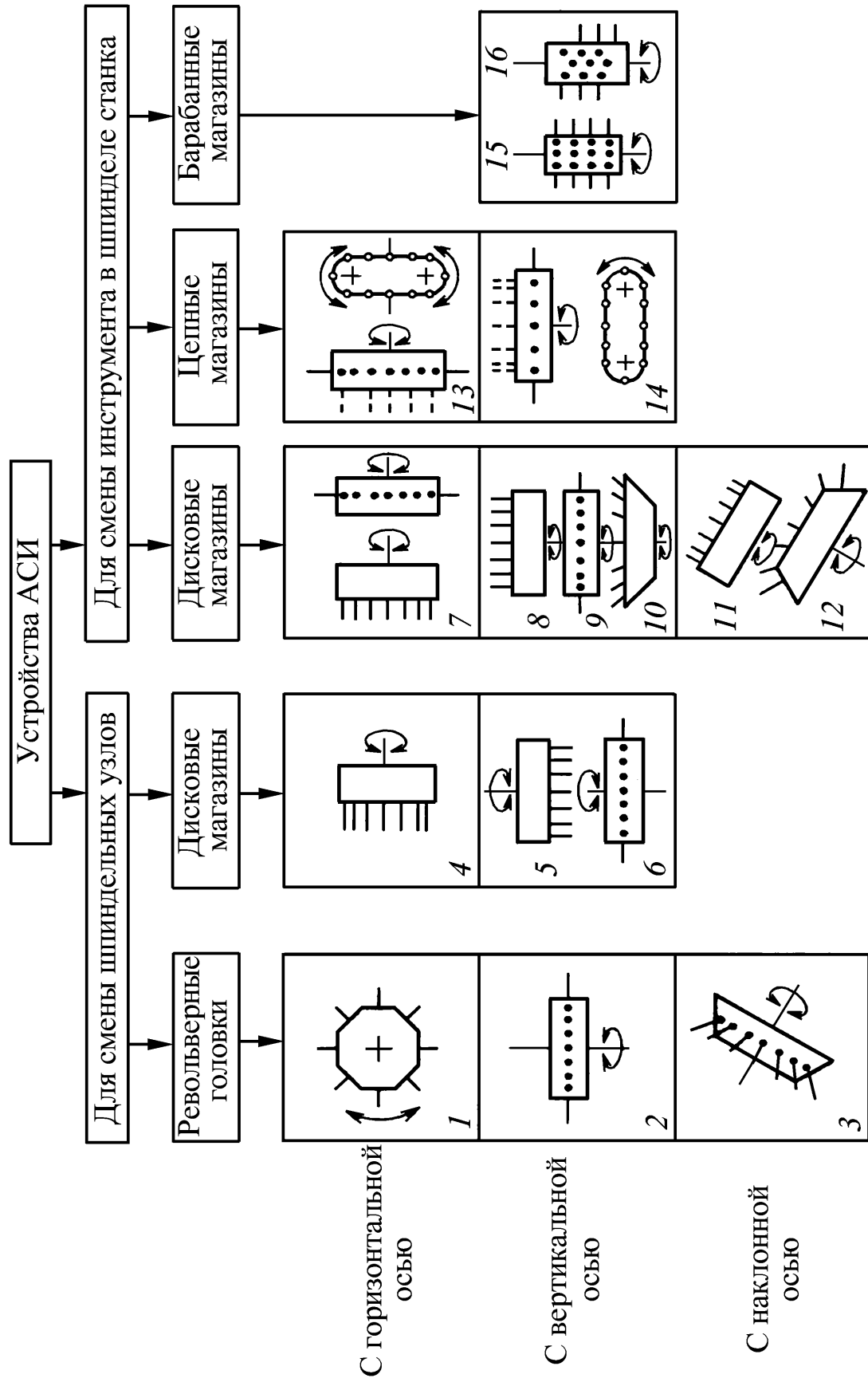


Рис. 31. Классификация устройств автоматической смены инструмента

В устройствах АСИ для смены шпиндельного узла в качестве магазинов могут быть применены револьверные головки 1–3, в которых инструменты устанавливаются в той последовательности, в которой производится обработка заготовки. Автоматическая смена инструмента осуществляется расфиксацией, поворотом и фиксацией револьверной головки. Преимуществами таких устройств являются простота конструкции, малое время, затрачиваемое на смену инструмента, недостатками – ограниченность рабочей зоны, малая емкость револьверной головки как магазина инструментов, а также невысокая жесткость шпинделей.

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

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

Наиболее простой является конструкция устройств АСИ с инструментальными магазинами дискового типа 8–12 (см. рис. 31.), установленным на шпиндельной бабке таким образом, что в одной из его позиций гнездо магазина устанавливается соосно со шпинделем станка. Автоматическая смена инструмента осуществляется поворотом магазина и осевым перемещением шпинделя. После окончания очередного перехода оправка с инструментом отсоединяется от шпинделя и закрепляется в магазине. Затем магазин поворачивается в положение, при котором очередной инструмент устанавливается соосно со шпинделем. Шпиндель с новым инструментом проходит через отверстие магазина в позицию обработки. Такая конструкция исключает необходимость в специальном автооператоре.

В магазинах цепного типа инструменты размещают в гнездах подвижной цепи 13 (см. рис. 31) и подаются в промежуточную позицию для захвата автооператором.

В барабанных магазинах 14, 15 для инструмента предусмотрено несколько рядов гнезд, обеспечивающих его радиальное расположение. Смена инструмента осуществляется с помощью автооператоров, которые вынимают инструмент из соответствующего гнезда магазина и вставляют в шпиндель станка или выполняют обратную операцию.

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

Автооператор 1 для станка с цепным магазином 2 (рис. 32) выдвигается из корпуса каретки, а вся каретка – перемещаться вверх или вниз по направляющим стойки станка и в направлении, параллельном оси магазина и шпинделя.

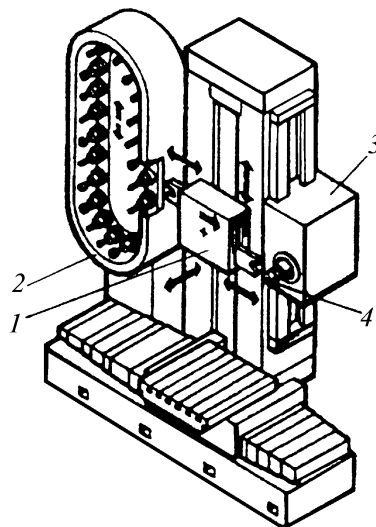


Рис. 32. Цепной магазин инструмента

В нижнем положении каретки автооператор, выдвигаясь, захватывает инструментальный блок из магазина. При ходе каретки вдоль оси инструментальный блок вынимается из гнезда магазина, и каретка передвигается по стойке в положение напротив шпиндельной бабки 3. Совершая аналогичный цикл движений, правый захват автооператора вытаскивает отработавший инструмент из шпинделя, после чего происходит поворот автооператора на 180° и смена инструментов.

Для включения в базу данных важны такие сведения, как допускаемые размеры и масса инструмента, емкость инструментального магазина (например, на рис. 32) цепной магазин 2 имеет 20 гнезд из которого автооператор 1 перемещает инструмент в шпиндель 4 при определенном положении бабки 3).

В гибких производственных системах (ГПС) применяют комбинированную схему АСИ (рис. 33).

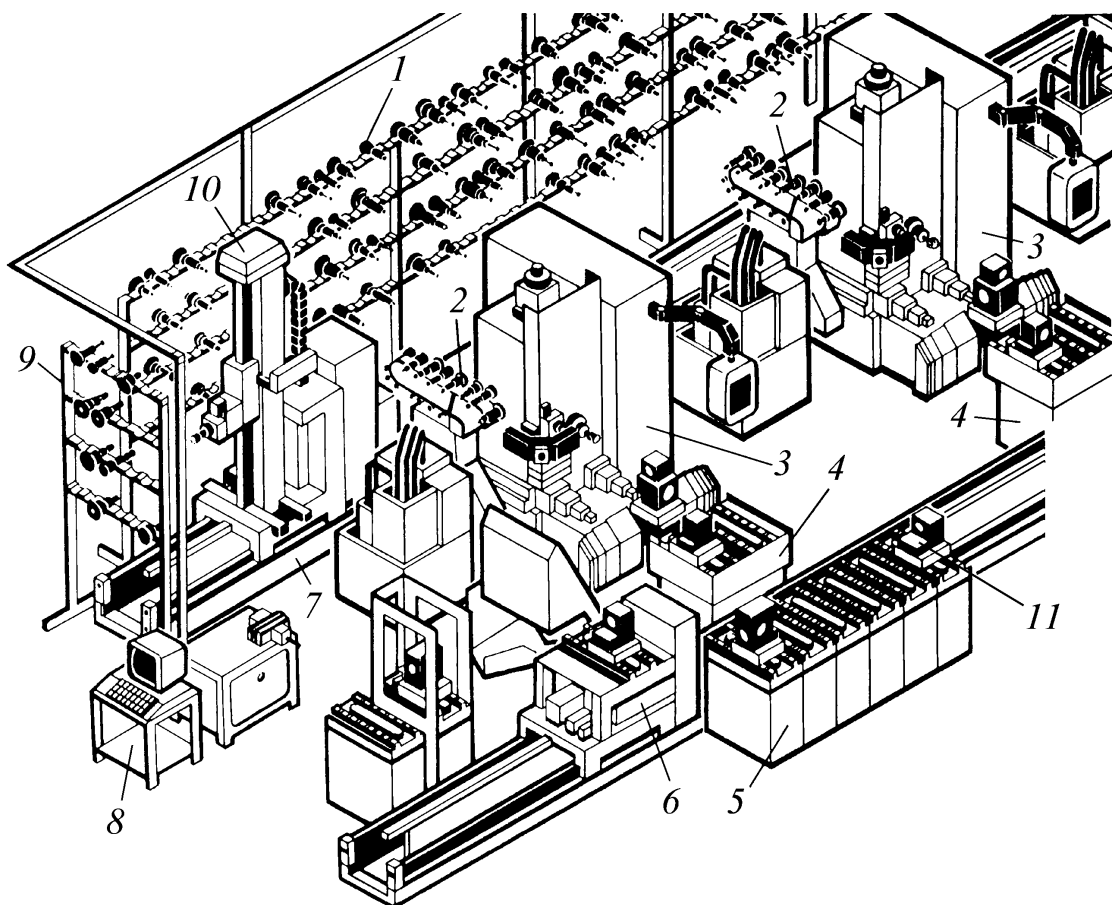


Рис. 33. ГПС с комбинированной АСИ

Главным элементом здесь является стеллажный инструментальный склад 1. Он размещен вдоль всей ГПС, составленной из нескольких многооперационных станков 3, имеющих цепные инструментальные магазины 2 с устройствами АСИ. Станки обслуживаются транспортными тележками 6, обеспечивающими подачу заготовок на столах-спутниках с загрузочной позиции 5 на приемные столы 4, размещенные перед каждым станком.

Вдоль инструментального склада, где в ячейках размещен различный инструмент по направляющим 7 может перемещаться робот 10, который по соответствующим командам из центра управления или по командам с пульта 8 оператора ГПС загружает и разгружает инструментальные цепные магазины всех станков линии. Робот заменяет изношенный инструмент на новый из номенклатуры инструмента, размещенного в ячейках инструментального склада, комплектует магазины станков инструментом в зависимости от характера предстоящих технологических операций, размещает в ячейках склада новый инструмент. Новый инструмент проходит предварительный контроль и размещается наладчиками вручную в ячейках приемного стеллажа 9 инструментального склада.

На станках токарной группы для смены инструмента применяют с револьверные головки, в которых режущий инструмент закрепляют с помощью вспомогательного инструмента. Способы установки вспомогательного инструмента в таких револьверных головках различны (рис. 34). Применяется центрирование по конусу или цилиндрическому хвостовику с креплением зажимными сухарями или рифленным клином за рифления по лыске цилиндрического хвостовика. На одной грани револьверной головки может быть закреплено несколько резцедержателей с режущим инструментом для наружной и внутренней обработки.

Базирование осуществляется по направляющим в виде призм, сфер или типа «ласточкина хвоста», а также креплением эксцентриком или прижимными планками, используют базирование по призмам с креплением прихватами. Реже выполняется базирование вспомогательного инструмента по зубчатому венцу.

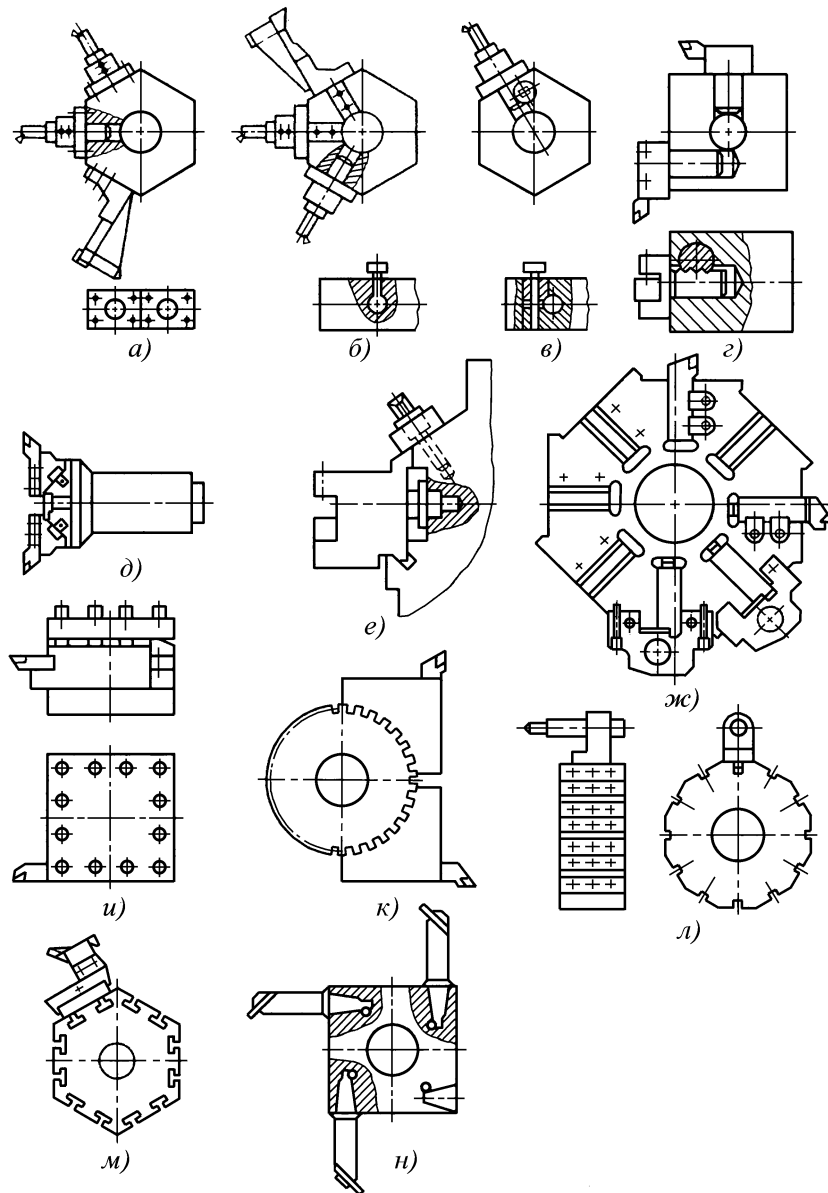


Рис. 34. Способы крепления инструмента на токарных станках с ЧПУ

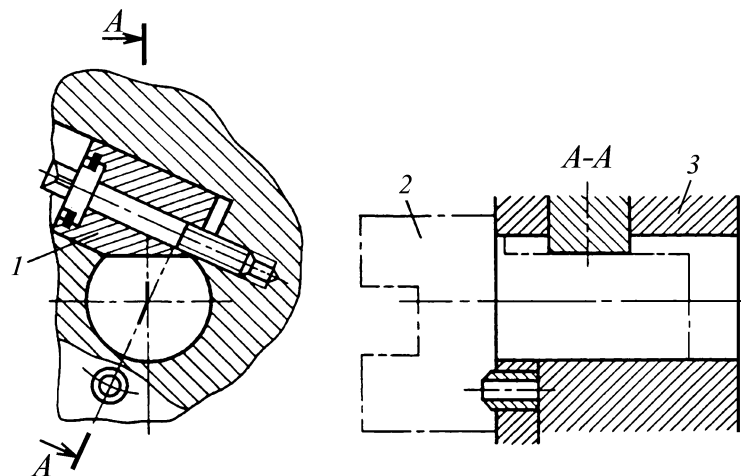


Рис. 35. Закрепление резцедержателя в револьверной головке

Применяется и непосредственное крепление режущего инструмента в револьверных головках (рис. 34, ж).

Способ базирования и закрепления с помощью цилиндрического хвостовика широко используется на станкостроительных заводах, изготавливающих и эксплуатирующих универсальные револьверные станки, токарные полуавтоматы и автоматы. Конструкция цилиндрического хвостовика у вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ для повышения надежности видоизменена: введена плоская лыска, на которой в ряде случаев выполняют рифления (рис. 35). Базирование резцедержателя проводится по цилиндру хвостовика и штифту, обеспечивающему точную угловую установку инструмента, который крепится в револьверной головке с помощью сухаря или клина, также имеющего рифления, но смещенные относительно рифления хвостовика. Вспомогательный инструмент прижимается к револьверной головке станка с усилием 5...6 кН, в результате радиальная жесткость соединения превышает жесткость соединения без рифлений в 3 раза.

В станках с ЧПУ используется также мини-револьверные головки с комбинированной установкой режущего инструмента во вспомогательном (рис. 34, д).

Для сокращения времени смены инструмента в револьверных головках на некоторых токарных станках ГПС предусмотрены револьверные головки с быстросменными инструментальными дисками, в которых вне станка во время его работы заранее устанавливаются требуемые инструменты. Диски с предварительно настроенными инструментами для обработки различных партий деталей хранятся на стеллаже около станка. Токарные станки ГПС оснащаются магазинами инструментальных головок и манипуляторами, осуществляющими замену инструментальных головок в державках револьверных головок, во время остановки станка (время смены инструмента 20...30 с).

Наличие магазинов инструментальных головок обеспечивает значительное увеличение числа инструментов и их дублеров, что обуславливает возможность обработки в ГПС большой номенклатуры различных заготовок в мелкосерийном производстве при работе по безлюдной технологии.

Магазины инструментальных головок имеют большую вместимость (до 150 головок) и выполняются плоскими, цепными или барабанными.

На рис. 36 показано устройство автоматической смены инструментальных головок из секционного барабанного магазина 2 с помощью манипулятора 1 в державки, установленные в револьверной головке.

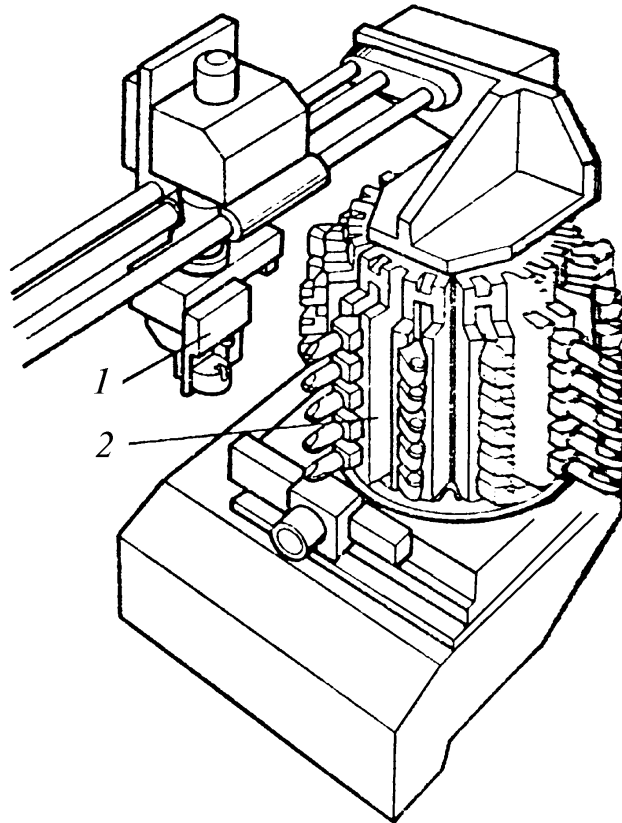


Рис. 36. Устройство автоматической замены инструментальных головок на токарных ГПМ

Вместимость инструментальных магазинов многоцелевых станков в большинстве случаев недостаточна для обработки одной заготовки по безлюдной технологии, поскольку в этом случае необходимо наличие в магазине инструментов-дублеров для автоматической замены изношенного и сломанного инструмента. Потребности в инструменте не удовлетворяются даже на станках с магазинами большой вместимости, в том числе с цепными магазинами вертикальной компоновки. Увеличение числа инструментов в магазине позволяет расширить номенклатуру деталей, которые можно обработать комплектом инструмента, находяще-

гося в магазине многоцелевых станков. Увеличение числа инструментов, дающих возможность обработки различных заготовок минимальными партиями по безлюдной технологии, обеспечивается различными способами.

Лекция 10. Управление сменой инструмента

Эффективная работа АП, в особенности при работе по безлюдной технологии, возможна лишь при наличии системы автоматического контроля состояния и наличия режущего инструмента для идентификации начала его смены. Необходимо осуществлять контроль момента достижения лимитирующего износа или поломки режущего инструмента для его замены инструментом-дублером из накопителя.

Контроль состояния режущего инструмента может быть осуществлен различными способами, основанными на использовании прямого и косвенного методов измерения. При прямом методе измеряется непосредственно величина износа режущей кромки инструмента, а при косвенном – параметр, более легко поддающийся измерению и связанный с износом определенной корреляционной зависимостью. Возможен контроль состояния режущего инструмента как непосредственно в процессе резания, так и после его окончания. Измерение может производиться посредством механических, акустических пневматических, индуктивных и других устройств. Методы измерения могут быть контактными и бесконтактными.

Наиболее простым способом определения износа инструмента является контроль каждого инструмента по его стойкости (времени его работы). Период стойкости инструмента (срок службы) определяется на основании статистических данных или на основе данных завода-изготовителя инструмента. Данные стойкости каждого инструмента (данные о допустимой длине траектории режущей кромки), зависящие от условий его применения, вводятся в память УЧПУ. В процессе обработки заготовок ведется непрерывный счет фактического времени работы каждого инструмента.

Износ инструмента контролируется путем фиксации и накопления в памяти устройства ЧПУ (УЧПУ) суммарного времени работы инструмента в зависимости от вида обрабатываемого материала. Перед началом обработки устройство УЧПУ автоматически определяет оставшееся время работы каждого инструмента путем вычитания из запрограммированного времени стойкости инструмента времени применения инструмента на предыдущих операциях и длительности цикла обработки на данной операции. Когда сумма времени работы какого-либо инструмента будет равна запрограммированной, устройство УЧПУ подает сигнал на замену инструмента. Недостатком такого способа является необходимость надежного определения периода стойкости инструмента, что достаточно сложно. Поэтому предельный период стойкости инструмента следует назначать так, чтобы, с одной стороны, исключить полный износ, а с другой – не допустить замены инструмента до истечения периода фактической его стойкости. Определение износа инструмента посредством контроля инструмента по стойкости целесообразно применять для обдирочных операций, для которых характерны большие колебания припусков на обработку и, следовательно, заданных и действительных сил резания.

Контактный способ прямого метода определения износа инструмента осуществляется непосредственно автоматическим измерением износа. Для этого режущая кромка инструмента автоматически подводится к измерительному щупу (рис. 37, а), который выдает данные об износе в систему УЧПУ, где они сравниваются с запрограммированными. Наряду с износом инструмента при этом определяется и геометрия режущей кромки: наличие нароста на режущей кромке (рис. 37, в) или скола режущей кромки (рис. 37, б). В зависимости от знака разности между фактическим и заданным значениями можно судить о сколе или об образовании нароста.

Косвенный метод контроля состояния инструмента может осуществляться автоматическим измерением обрабатываемой заготовки щупом, установленным в одном из гнезд револьверной головки станка или в гнезде магазина, откуда он автоматически устанавливается в шпиндель станка. Датчик измерительной системы измеряет в основном только те отклонения, которые зависят от износа инструмента.

При достижении запрограммированной суммы коррекций дается команда на замену инструмента.

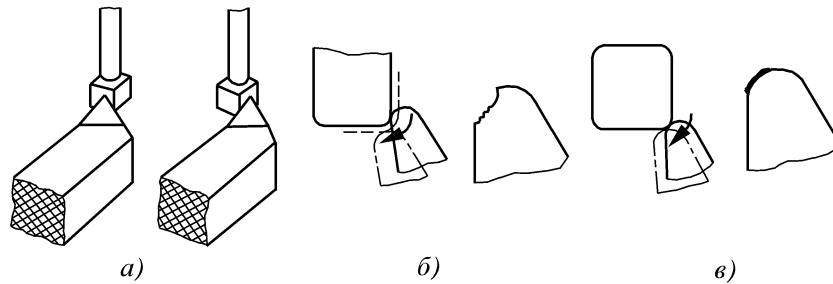


Рис. 37. Автоматическое определение износа инструмента

Контроль состояния инструмента в процессе резания является одним из основных факторов, обеспечивающих высококачественную обработку заготовок на станках с ЧПУ, особенно на станках ГПС при работе по безлюдной технологии. Одним из наиболее простых устройств для контроля косвенным методом в процессе резания, основанных на измерении потребляемой мощности, является датчик, реагирующий на мощность, затрачиваемую на резание. Принцип работы таких датчиков основан на регистрации мощности, потребляемой приводными электродвигателями станка.

При обработке эталонной детали заточенным инструментом при заданных режимах резания регистрируют мощность электродвигателя. Эти данные заносятся в память УЧПУ. Если в процессе последующей работы фактическая мощность будет превышать зарегистрированную на данном переходе, то станок отключится и выдаст сигнал на замену инструмента. Так как сила тока электродвигателя пропорциональна крутящему моменту на шпинделе, то, регистрируя на дискретном измерительном устройстве от 0 до 100 % номинального значения крутящего момента двигателя, учитывают фактическую нагрузку и сопоставляют ее с расчетной. Однако при обработке заготовок с небольшой глубиной резания этот метод не применим, так как определяемая только главной (тангенциальной) силой резания потребляемая мощность зачастую очень мала по сравнению с мощностью, затрачиваемой на преодоление сил трения и инерции.

Широкое распространение получил косвенный метод контроля состояния инструмента по силе резания и крутящему моменту на шпинделе, поскольку износ или поломка инструмента отражается на увеличении силы резания и потребляемого электроприводом тока. Для измерения сил и моментов резания применяются следующие чувствительные датчики:

- динамометрический тензодатчик, в котором зависящее от нагрузки сжатие кольцевого элемента обуславливает изменение сопротивления наклеенных тензодатчиков;

- пьезоэлектрический динамометрический датчик, в котором деформация пьезоэлектрических кристаллов обуславливает образование электрического заряда, преобразуемого посредством усилителя в пропорциональное электрическое напряжение;

- магнитоупругий динамометрический датчик (датчик сопротивления), в котором от нагрузки кольцевого элемента зависят магнитные характеристики материала и индуктивность катушки;

- магнитоупругий динамометрический датчик (датчик напряжения), в котором под действием нагрузки изменяется электрическая связь между первичной и вторичной обмотками;

- магнитоупругий датчик крутящего момента с четырьмя магнитоупругими динамометрическими датчиками, встроенными в неподвижную часть револьверной головки таким образом, что они выдают сигнал, зависящий от силы резания.

Наиболее широкое применение получили системы непрерывного контроля, построенные на базе силоизмерительных подшипников – динамометрических тензодатчиков, встроенных в подшипники, позволяющих измерять силы, действующие на опору шпинделя, либо силы подачи, которые можно оценивать по силе тока при приводе постоянного тока. Под влиянием осевой составляющей силы резания, которая передается от инструмента на опору шпинделя станка, упругий элемент, оснащенный тензодатчиками, деформируется. Преимуществом такой системы являются высокие чувствительность и разрешающая способность, обес-

печивающие надежный контроль инструмента даже малого диаметра или измерение небольших осевых составляющих силы резания.

На рис. 38, *а* показана схема тензометрического устройства для контроля осевой силы, возникающей в передней опоре инструментального шпинделя *1*. Посадочное место под упорные подшипники *2* выполнено как единое целое с деформируемым корпусом *3*, воспринимающим осевую силу резания. Корпус приварен к наружному кольцу. Тензодатчики расположены на наружной поверхности деформируемого корпуса. Конструкция обеспечивает герметичность устройства и защиту датчиков от попадания смазочного материала и влаги, а также от механических повреждений.

На рис. 38, *б* показано тензометрическое устройство с чувствительным элементом *1* датчика *2*, установленного между подшипником *3* винта *4* привода подачи. Чувствительный элемент состоит из двух концентрических колец, которые образуют прецизионный корпус для подшипников. Внутреннее кольцо имеет форму упругого элемента, несущего тензометрические датчики. Датчики защищены опорной гильзой *6*. Для изоляции соединительного кабеля *5* используется керамика.

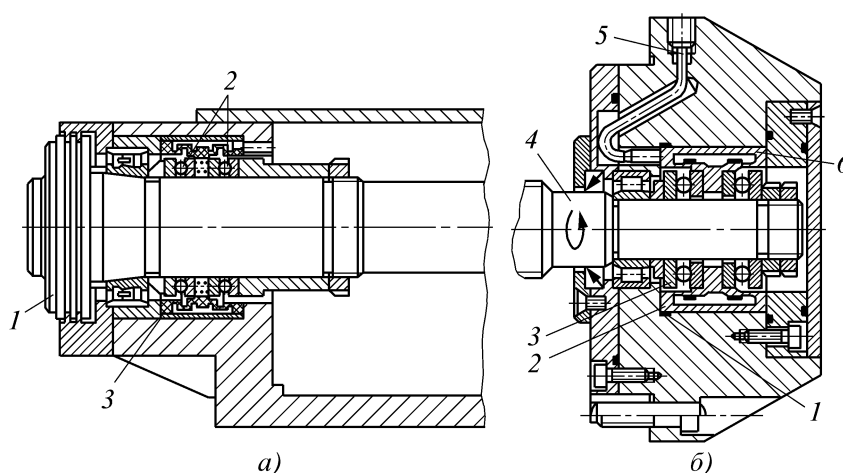


Рис. 38. Тензометрические устройства с чувствительным элементом

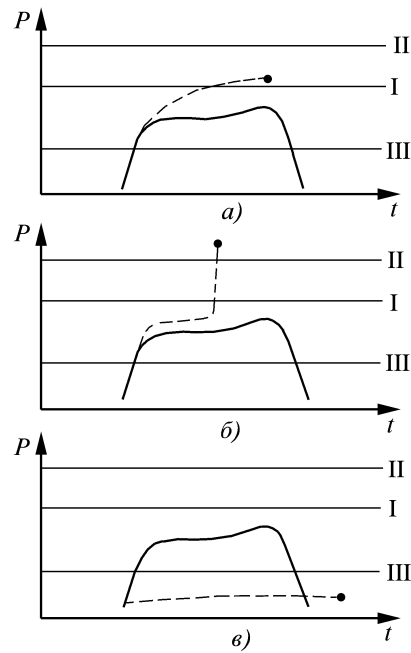


Рис. 39. Варианты измерения силы резания P в процессе обработки

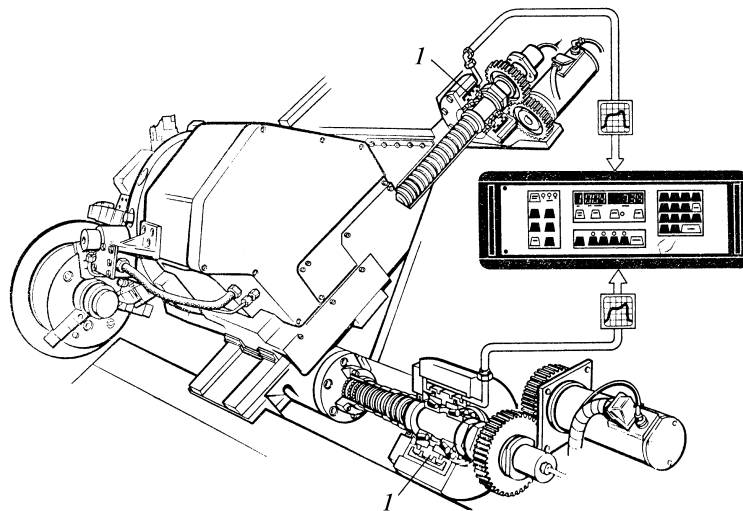


Рис. 40. Устройства для контроля состояния инструмента на токарном станке

Инструментальный монитор позволяет выявить величину износа инструмента, его поломку, а также наличие инструмента при обработке. Принцип работы прибора контроля состояния инструмента основан на изменении параметров, характеризующих процесс резания. Входные параметры регистрируются путем установки датчиков или преобразования других электрических сигналов. Система контроля работает, ориентируясь на три граничных значения осевой силы. Первая

соответствует границе износа, вторая – границе поломки, третья – границе нормальной работы.

Контроль поломок и инструмента играет большую роль при автоматической обработке. При поломке инструмента наступает быстрое увеличение силы подачи, система немедленно реагирует на этот процесс и формирует команду системы управления станком, которая выключает подачу и подает звуковой сигнал обслуживающему персоналу.

На рис. 39 показаны варианты изменения контролируемой силы резания (пунктир) в процессе резания по сравнению с заложенной в память УЧПУ стандартной зависимостью (сплошная). Возрастание сил резания свидетельствует об износе инструмента (рис. 39, а). Если износ превышает заданный уровень I, монитор дает сигнал о замене инструмента. Если сила резания внезапно превысит уровень II, монитор фиксирует поломку инструмента и станок останавливается (рис. 39, б). При отсутствии инструмента сила резания отсутствует и не превышает уровень III.

На рис. 40 показаны устройства для непрерывного одновременного контроля состояния инструмента в процессе обработки по величинам составляющих сил резания по осям X и Z при обработке заготовок на токарном станке. Тензометрические датчики I смонтированы между подшипниками ходовых винтов продольного и поперечного суппортов.

При оптоэлектронном методе измерения износа инструмента оптический датчик перемещается вдоль режущей кромки резца. Полученное в видеокамере изображение контролируемого инструмента преобразуется в цифровую форму, которая сравнивается с данными, соответствующими заранее введенному в память запоминающего устройства изображению контролируемого инструмента.

Идентификация момента начала смены инструмента в автоматическом цикле может осуществляться путем измерения параметров обрабатываемой детали методом ее непосредственного ощупывания. На токарных станках по результатам измерения автоматически рассчитывается величина коррекции, которая вводится через систему управления в виде перемещения суппорта инструмента. Вместо од-

ного из инструментов в шпиндель или револьверную головку станка вставляется резцедержатель с измерительным щупом, что позволяет после переключения из рабочей в измерительную позицию подавать управляющий сигнал в систему ЧПУ. Измерительный щуп при измерительном цикле подводится к запрограммированному месту детали, измеряет ее истинный размер, после чего система управления сравнивает его с заданным значением. Как только отклонение размера достигнет границы поля допуска, принимается решение о необходимости коррекции.

На токарных станках для автоматического измерения диаметральных размеров применяются автоматические измерительные устройства, которые могут находиться вне зоны обработки или в рабочей зоне станка. В первом случае они устанавливаются взамен инструментального блока, а во втором – измерение происходит параллельно с работой инструмента. При этом измерительные устройства могут быть установлены на суппорте станка. По величине составляющих суммарного отклонения можно оценить отклонение фактического размера детали от заданного в программе и ввести коррекцию на это отклонение.

Измерительное устройство ВБ-4195 конструкции ОАО «ВНИИИзмерения» состоит из двух измерительных блоков (для контроля наружных и внутренних диаметров и длины), токоподводящего разъема и отчетно-командного устройства. Измерительные блоки размещаются в инструментальном магазине токарного станка и по команде ЧПУ подаются на суппорт станка. Датчик измерительного блока встроен в корпус, конфигурация которого аналогична конфигурации корпуса инструментального блока.

Устройство БВ-4211 состоит из двух приборов: для измерения наружных и внутренних диаметров детали. Результат измерения в виде абсолютного размера фиксируется устройством цифровой индикации и может быть введен в систему управления станком. Особенностью измерительного устройства является возможность последовательных с инструментом действий без съема инструментального блока с суппорта. Устройство устанавливается на продольной каретке станка между инструментальным блоком и шпиндельной бабкой.

На токарных станках с ЧПУ применяются также встраиваемые в револьверные головки измерительные датчики, обеспечивающие контроль размеров в процессе обработки. Сравнение заданных и фактических величин (сигнал рассогласования) является базой для автоматической корректировки положения инструмента, осуществляемой УЧПУ станка.

Измерения могут являться не только средством, обуславливающим возможность установить степень соответствия размеров обработанной детали размерам чертежа, но и средством управления точностью обработки. Это может быть достигнуто созданием устройств активного контроля размеров деталей с обратной связью, контролирующих точность обработки в широком диапазоне размеров и вносящих соответствующие корректировки.

Применение активного контроля повышает степень автоматизации станков с ЧПУ, что особенно необходимо в гибких технологических системах при обработке заготовок по безлюдной технологии (при отсутствии обслуживающего персонала во вторую и третью смены).

Бесконтактные методы непрерывного измерения заготовки в процессе обработки без остановки станка и активный контроль деталей являются наиболее перспективными, базируются на использовании оптико-электронных датчиков вместо механических щупов. При этом обеспечивается контроль размеров и формы деталей, а также их сортировка.

Оптико-электронные измерительные устройства реагируют на интенсивность излучения света. Полупроводниковые фотодетекторы генерируют световые сигналы, сканирующиеся электронным измерительным устройством. Электрический сигнал генерируется пропорционально интенсивности падающего светового потока. Устройство измерения состоит из строчечной камеры, источника света, системы измерения перемещений, микроЭВМ. От источника света через оптическую систему световой поток проектируется на строку диодов, воздействуя на каждый отдельный фотодиод. Интенсивность освещения пропорциональна входному напряжению.

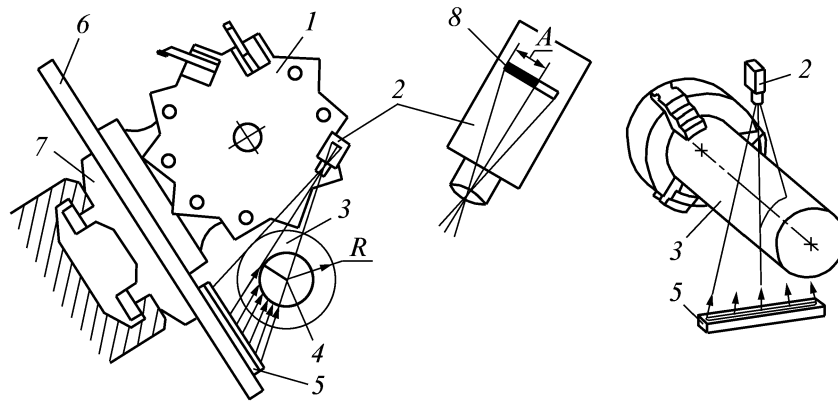


Рис. 41. Схема расположения прибора в рабочей зоне токарного станка

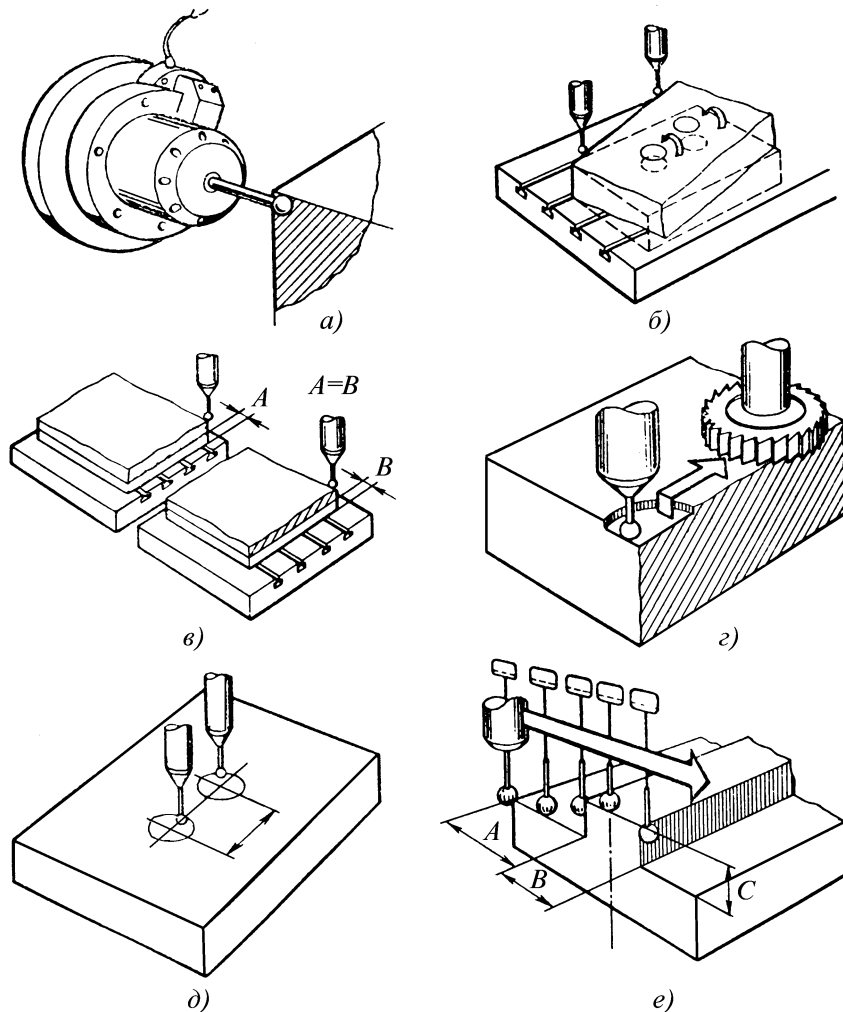


Рис. 42. Схемы контроля деталей головкой - щупом:

a – установка головки в нулевое положение; *б* – контроль непараллельности стороны заготовки перемещению стола станка и корректировка в процессе обработки; *в* – контроль припуска на обработку; *г* – контроль глубины обработки; *д* – контроль межосевого расстояния; *е* – контроль размеров детали

На рис. 41 показана схема расположения прибора в рабочей зоне токарного станка. Строчечная камера 2 установлена в гнезде револьверной головки 1 токарного станка, револьверную головку перемещают посредством поперечного 6 и продольного 7 суппортов в направлении осей X и Z . Источник света 5 освещает обрабатываемую заготовку 4. Затененная заготовкой зона 3 проектируется на чувствительный элемент 8 камеры. Число неосвещенных фотодиодов A позволяет определить радиус R детали. Перед обработкой контролируются размеры зажатой заготовки и определяется фактический припуск. При продольном перемещении суппорта тень от заготовки попадает на камеру, что обеспечивает контроль размеров заготовки. По результатам измерения припуска производится контроль программы.

В последние годы ведутся работы по использованию лазерной техники для измерения обрабатываемых деталей. Принцип измерения состоит в следующем. Луч лазера, совмещенный с осью, проходящей через центр фотоэлемента, сфокусирован в общей точке пересечения; линза концентрирует на фотодетекторе луч, отраженный от детали. Фотоэлемент определяет положение фокальной точки в трех положениях: перед поверхностью детали, за этой поверхностью или непосредственно на поверхности. С помощью передачи винт-гайка головка перемещается таким образом, чтобы фокальная точка совместилась с поверхностью обрабатываемой заготовки. Оптический прибор активного контроля для станков с ЧПУ, выполненный на основе лазера, обеспечивает контроль геометрических параметров детали непосредственно в процессе обработки. Данные измерения фактических размеров детали используются для управления положением инструмента с помощью обратной связи. При этом возможно скорректировать ряд погрешностей обработки. Принцип измерения основан на особенности деталей – их незеркальной поверхности. В приборе использован модулированный лазерный источник малой мощности, функционирующий на основе гелий-неоновой смеси.

На многоцелевых станках наибольшее распространение получил метод измерения деталей посредством индикаторов контакта (датчиков касания) – измерительных головок - щупов, шариковые наконечники которых перемещаются

в заданную точку, и считывания координат измерительной системы станка. Наконечник может легко перемещаться под действием силы, действующей в любом направлении. Обработка данных результатов измерения осуществляется ЭВМ. Разрешающая способность измерительных головок – 0,001 мм. Такие трехкоординатные головки (триггерные щупы) аналогичны датчикам, применяемым в трехкоординатных измерительных машинах. Контроль детали на станке осуществляется трехкоординатной головкой - щупом, сигнальная система которой связана с системой измерения перемещения. Наличие в системе ЭВМ позволяет обработать результаты измерений с учетом систематических погрешностей станка.

Трехкоординатная головка - щуп состоит из измерительного шарикового щупа, измерительной головки и системы передачи сигнала. Сигнальная система головки связана с системой измерения перемещений. Подналадка станка и корректировка программы осуществляются в ходе обработки по результатам измерения первой детали. В головках индуктивного типа беспроводная передача сигнала от измерительного устройства к щупу передается индуктивно. В качестве сигнала, соответствующего измеряемому размеру, используют частоту, изменяющуюся от 11 до 5 кГц.

В хвостовой части головки размещена батарея или аккумулятор для привода осциллятора, который включается автоматически при вводе головки - щупа в шпиндель станка. Головка содержит аналоговую индуктивную измерительную систему и устройство, бесконтактно передающее сигнал, соответствующий измеренной величине, в преобразователь, состоящий из приемника, микропроцессора для переработки входных данных, печатного устройства для регистрации отклонений и устройства вывода информации для передачи коррекции в систему ЧПУ. Беспроводная передача сигнала от измерительного устройства к станку осуществляется индуктивно при возможном зазоре в пределах 0,5...1,5 мм. При оптической передаче сигнала в головках - щупах используется инфракрасное излучение. Результаты измерений могут быть переданы также с помощью радиоволн в соответствующий приемник сигнала.

Измерительное задание	Изображение	Измерительное задание	Изображение
Расстояние в координатном направлении		Плоскость	
Пространственное расстояние (длина)		Круглость	
Расстояние до оси отверстия		Плоскостность	
Центр круга		Параллельность	
Диаметр круга		Угол	
Точка сечения		Перпендикулярность	
Прямая пересечения		Точка пространства	
Прямая		Учитывание шарикового наконечника	
		без учета	
		+D	
		-D	
		+D/2	
		-D/2	

Рис. 43. Автоматические циклы измерения деталей головкой - щупом

На многоцелевых станках для выполнения измерений необходимо предусматривать в управляющих программах выделение специальных измерительных циклов. Измерения могут производиться по каждой из координат. Измерительная головка на этих станках хранится в инструментальном магазине и автоматически подается манипулятором в шпиндель станка. Головки - щупы проверяют положение заготовки перед обработкой и между отдельными проходами. По команде ЧПУ измерительный наконечник головки приводится в соприкосновение с поверхностью детали и перемещением узла станка вдоль одной из координатных осей. В момент соприкосновения шарового наконечника головка выдает импульс (сигнал), по которому УЧПУ фиксирует координатный размер в измерительной системе станка.

На рис. 42 показаны схемы контроля деталей головкой - щупом, а на рис. 43 – автоматические циклы измерения этой головкой.