

Условные обозначения

АСИ	– автоматизированная смена инструментов
ВК	– однокарбидный сплав
ЗК	– зубчатое колесо
КНБ	– кристаллический нитрид бора
МНП	– многокромочная неперетачиваемая пластина
ПКНБ	– поликристаллический нитрид бора
ПЛК (PLC)	– программируемый логический контроллер
РТК	– робототехнические комплексы
СМП	– сменная металлокерамическая пластинка
СОЖ	– смазочно-охлаждающая жидкость
СОС	– смазочно-охлаждающая среда
СОТС	– смазочно-охлаждающая технологическая смазка
СПИД	– Станок – Приспособление – Инструмент – Деталь
СТМ	– сверхтвердый материал
ТК	– двухкарбидный сплав
ТН	– безвольфрамовый сплав
ТПС	– технологическая подсистема
ТП	– технологический процесс
ТС	– технологическая система
ТТК	– трехкарбидный сплав
ЧПУ	– числовое программное управление
ЧМФ	– червячно-модульная фреза
ЭВМ	– электронно-вычислительная машина
НСМ	– высокоскоростная обработка

Введение

Обработка металлов резанием является наиболее распространенным завершающим технологическим процессом, обеспечивающим получение деталей необходимых форм, размеров и оказывающим влияние на эксплуатационные свойства машин и механизмов. В процессе механической обработки в поверхностях деталей наблюдаются изменения качества поверхностного слоя, характеризуемого шероховатостью, наклепом, напряжениями, изменением структуры металлов и другими показателями. Эти изменения определяют выбор последующих операций обработки и в конечном счете сказываются на точности размеров, надежности и долговечности изделий.

Изучение дисциплины «Теория резания материалов» («Обработка материалов резанием»), как правило, начинается на 3-м курсе. На первых курсах студенты изучают дисциплины «Механика материалов», «Технология конструкционных материалов», «Детали машин», «Материаловедение» и др.

Традиционно изложение дисциплины «Теория резания материалов» («Обработка материалов резанием»), согласно учебным программам и планам, начинается с напоминания основных видов обработки материалов резанием, геометрических и конструктивных параметров инструментов, сечений среза, сочетаний движений детали и инструмента. Далее рассматриваются инструментальные материалы, стружкообразование, силы резания, тепловые процессы, изнашивание инструментов и их стойкость, обрабатываемость различных материалов, рациональные режимы резания и их оптимизация, особенности работы на станках с ЧПУ, современные тенденции в развитии процессов резания и др.

В результате изучения дисциплины «Теория резания материалов» предусматривается освоение методик выбора режущего инструмента и расчета режимов резания для различных видов обработки на основе справочно-нормативной базы, зарубежных каталогов, использования вычислительной техники для оптимизации процессов обработки. Накопленный опыт в области обработки металлов резанием позволяет использовать системный подход при преподавании данной дисциплины с учетом взаимосвязанных факторов, сопутствующих этому процессу.

Раздел 1

РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ

Глава 1. Тенденции развития металлообработки и станкостроения

1.1. Тенденции развития металлообработки

Исходя из анализа технической литературы в области металлообработки, технической литературы, экспозиций и каталогов международных выставок в 2010–2019 гг. в Германии, Польше, России, Беларуси, можно отметить следующие тенденции развития металлообработки.

1. Разрабатываются новые материалы для режущих инструментов со специальными свойствами, влияющими на формирование изделий с учетом качества поверхностей деталей после обработки: высокая прочность; низкая или высокая теплопроводность; сложные микроструктуры поверхностных и внутренних слоев; устойчивость к резким температурным перепадам, переменным нагрузкам и др.

2. Некоторые обрабатываемые материалы имеет низкую обрабатываемость резанием по уровням допускаемых скоростей резания, качеству поверхности, силам и температурам резания, истирающему воздействию на инструмент.

3. Наблюдается усложнение форм обрабатываемых поверхностей заготовок и повышение требований к их качеству, к точности размеров деталей до 0,002–0,003 мм.

4. Разрабатываются многослойные и наноизносостойкие покрытия для режущих инструментов; специальные технологии обработки покрытий и изменений структур основы; покрытия, обеспечивающие обработку заготовок без смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

5. Совершенствуются формы как передних, так и опорных поверхностей сменных режущих пластин с учетом обеспечения дробления стружки, жесткости, точности их позиционирования, затрат времени на их замену.

6. Предлагаются практически все группы инструментов с внутренним подводом СОЖ, направленных непосредственно в зону резания под высоким давлением.

7. Расширяется использование комбинированных инструментов на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), предлагаются специальные модульные инструментальные системы для типовых деталей (шатуны, валы, корпуса и др.), имеющих сложные формы поверхностей заготовок, и т.п.

8. Осуществляются оптимизация процессов обработки и компьютеризация организации производства, сокращение сроков подготовки производства, проектирования инструментальной оснастки и технологических процессов.

9. Ведущие фирмы – производители режущего инструмента публикуют в каталогах справочные материалы по режимам резания для сталей, чугунов, цветных металлов, титана и их сплавов и др.

10. Происходят специализация производств, переделы рынка, размещение производств в иных странах.

1.2. Тенденции развития станкостроения и ведущие мировые фирмы по производству станков и металлорежущего инструмента

Исходя из анализа литературы по вопросам стойкостроения, можно отметить следующие тенденции развития станкостроения.

1. Разрабатываются многоцелевые высокоскоростные многокоординатные станки, обрабатывающие центры, станки с термозащитными рабочими зонами, с частотой вращения шпинделей до 10 000–100 000 об/мин.

2. Наблюдается дальнейшее увеличение уровня скоростей резания, в первую очередь на операциях точения, фрезерования, сверления, на заготовительных операциях.

3. Предлагаются расчеты режимов резания на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) по программам фирм – производителей режущих инструментов.

4. Сокращается вспомогательное время: скорость перемещений – 45–100 м/мин, смена инструментов – за 0,1 с.

5. Увеличивается количество инструментов в магазинах, паллетах, а также их вынос за пределы станины.

6. Повышаются точность обработки, производительность и надежность процесса обработки.

7. Предусматривается защита узлов станков от продуктов резания, температурных перепадов и пыли в цеху.

8. Возрастает внимание к технике безопасности и экологии, в том числе защита оборудования и др.

Все это в свою очередь требует особых условий в цехах (термо- и теплозащита); качественных материалов заготовок; высокоточного и быстродействующего вспомогательного, режущего инструмента и инструментальных систем; разработки соответствующих современных технологий; создания сервисных служб и др. Должен быть комплексный подход к решению этих задач. В настоящее время практически в большинстве конструкций режущих инструментов используются твердые сплавы и износостойкие покрытия.

Основные задачи в металлообработке в условиях глобализации, возрастающей конкуренции, специализации предприятий, борьбы технологий, непрерывного обновления и совершенствования продукции – обеспечение ка-

чества обработки (размеры и состояние поверхности), заданной производительности, минимизация производственных затрат.

Таким образом, имеем цепочку «технология – оборудование – качество – цена». Термин «цена – качество» вообще стал общепринятым. Все это неразрывно связано с оптимизацией процессов резания и технологического процесса в целом, с обеспечением надежности многообразных групп режущих инструментов и управлением процессами обработки по определенным критериям.

Производители станков, например в Японии, утверждают, что они повысили «уровень интеллекта» станков. Фирма OKUMA внедрила в станках ряд новшеств:

- систему *предупреждения столкновений* движущихся частей станков – Anti-kollision, обеспечивающую безопасную работу на высоких скоростях и сокращающую время обработки;

- систему *компенсации температурных деформаций станка* для высокоточной обработки, что сохраняет точностные характеристики деталей даже при работе оборудования без предварительного прогрева зоны резания и в цехах без специальной системы кондиционирования воздуха;

- систему Machining Navi, позволяющую определять *оптимальные условия резания для высокоэффективной обработки*;

- систему *предотвращения перегрузки станков* – Collision Avoidance Sistem для обеспечения безопасности работы на высоких скоростях и сокращения время обработки.

Фирма MAKINO использует инновационные технологии производства высокоскоростных шпинделей, управление перемещением и регулированием температурных режимов. Отрасли применения: космическая промышленность, автомобилестроение, энергетика. Общая задача – рост производительности при снижении расходов.

На рис. 1.1 показан станок фирмы MORISEIKI – MH 503 (обороты шпинделя – 6000 об/мин; емкость магазина – до 240 инструментов).

На рис. 1.2. показан многоцелевой горизонтальный обрабатывающий центр с боковым устройством смены инструментов фирмы HAAS.

Токарный обрабатывающий центр с ЧПУ фирмы DIAMOND 20/32 показан на рис. 1.3. В магазине центра 25 инструментов, скорость перемещений – 18 м/мин; мощность двигателя – 5,5 кВт; обороты шпинделя – 8000 об/мин; расход воздуха – 10 л/мин, давление – 5 кг. Количество инструментов в главном шпинделе: пять инструментов для наружной обработки; четыре неподвижных инструмента для внутренней обработки; шесть поперечных приводных инструментов; три фронтальных приводных инструмента; четыре неподвижных инструмента в противошпинделе для внутренней обработки; три приводных инструмента в противошпинделе для обработки с обратной стороны.

Большинство многоцелевых станков оснащаются одной или двумя револьверными головками, работающими по принципу обычного токарного

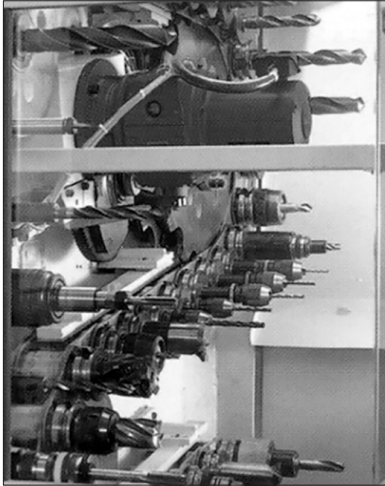
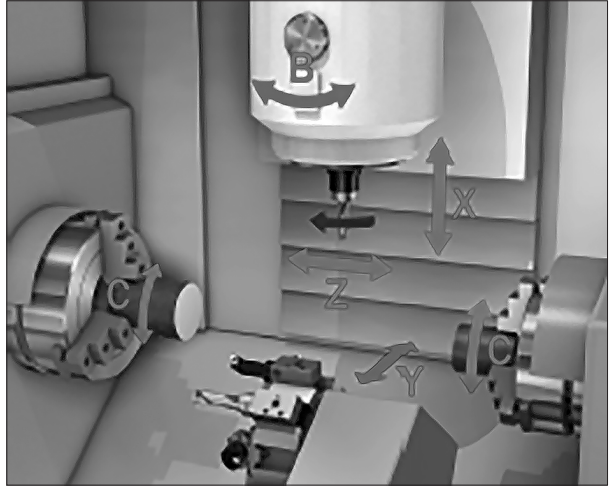
a*б*

Рис. 1.1. Станок МН 503:

a – установка и снятие инструментов с помощью двухпозиционной системы паллет; *б* – движения шпинделей и револьверной головки

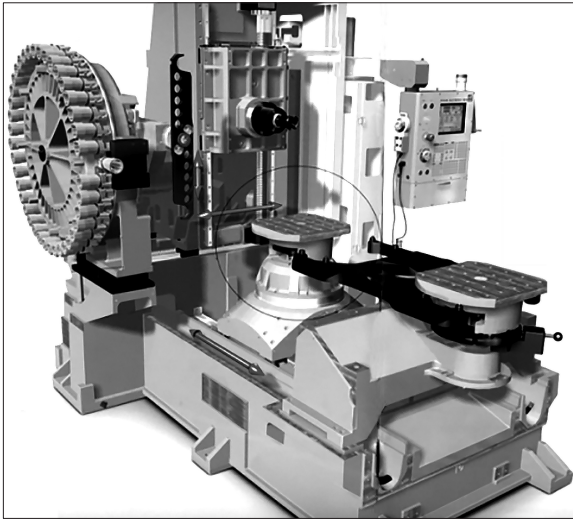
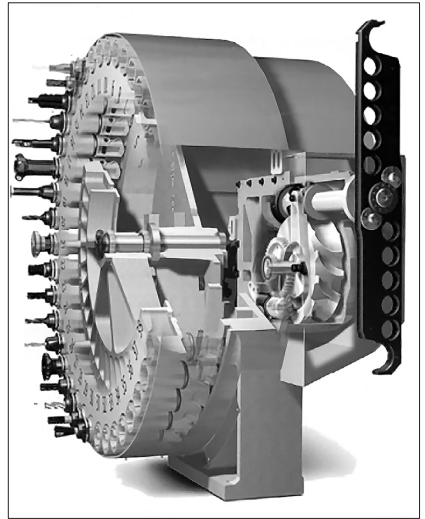
a*б*

Рис. 1.2. Многоцелевой горизонтальный обрабатывающий центр с боковым устройством смены инструментов, обеспечивающим фрезерование, сверление, нарезание резьбы и другие операции за один установ с пяти сторон:

a – общий вид станка с системами электронной тепловой компенсации для шариковых винтовых пар; *б* – устройство бокового исполнения смены инструмента емкостью 40–70 гнезд

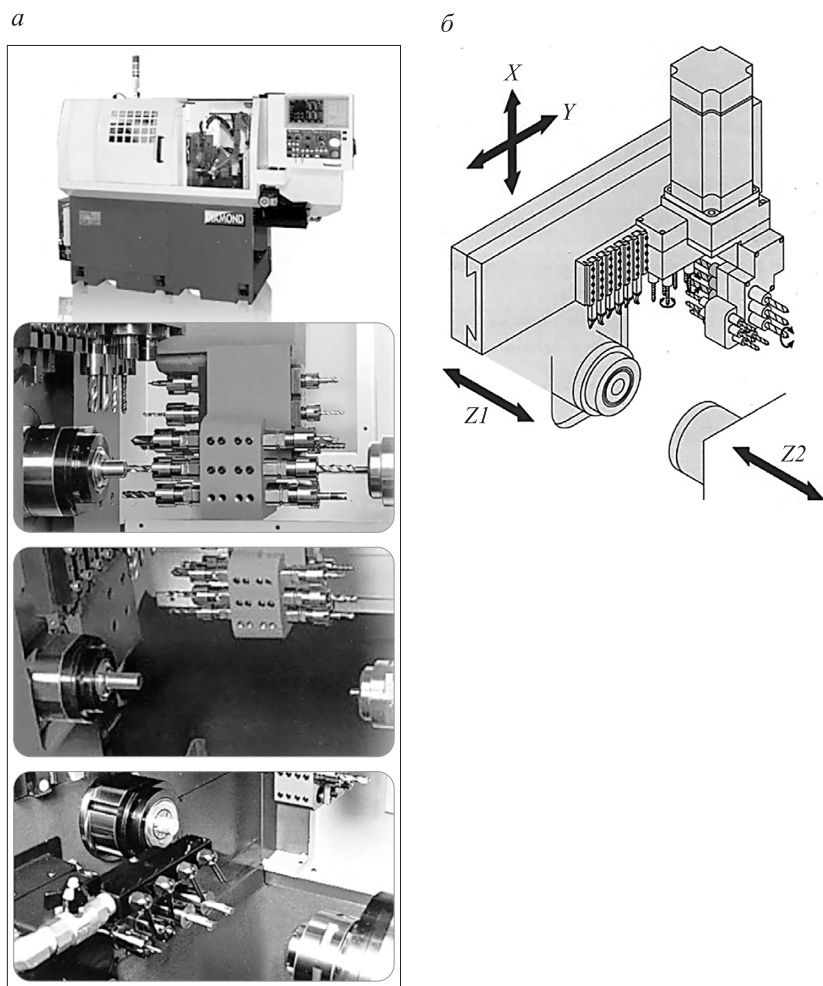


Рис. 1.3. Токарный обрабатывающий центр с ЧПУ 20/32

центра; инструментальным шпинделем; шпинделем, в котором можно использовать вращающийся инструмент и применять который можно для выполнения токарных операций.

Автоматическая смена инструмента и возможность наклона шпинделя вокруг оси предъявляют к токарному инструменту следующие требования:

- один инструмент для работы при различных подводах и траекториях;
- специализированный инструмент для установки в инструментальный шпиндель, развернутый под углом 45° ;
- достаточный вылет и геометрическая проходимость инструмента;
- быстрая и согласованная смена инструмента;
- экономия пространства инструментального магазина.

К ведущим странам – производителям металлорежущих станков на мировом рынке относятся Германия, Италия, США, Япония, Китай, Тайвань

и страны бывшей Югославии. Среди потребителей металлорежущего оборудования на первых местах находятся Китай, Япония, Германия, США, Швейцария.

По данным фирмы ISCAR, Китай, Япония, Германия, США, Италия, Южная Корея, Тайвань более 10 лет назад потребляли 68% мирового выпуска станков.

1.3. Классификация обрабатывающего оборудования

Современное обрабатывающее оборудование подразделяется на три класса (рис. 1.4):

- 1-й класс – станки с ЧПУ, самый многочисленный и представительный класс;
- 2-й класс – производственные комплексы на базе программируемых логических контроллеров (PLC – ПЛК);
- 3-й класс – робототехнические комплексы (РТК), выполненные на базе промышленных роботов.

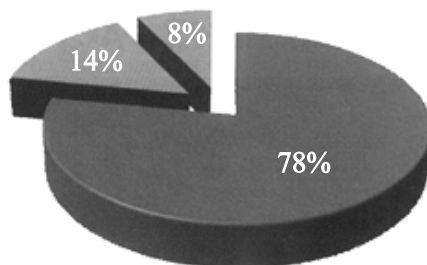


Рис. 1.4. Состав мирового рынка обрабатывающего оборудования:
78% – станки с ЧПУ; 14% – производственные комплексы на базе программируемых логических контроллеров; 8% – промышленные роботы

Технические характеристики современных промышленных роботов достигли таких значений, что это позволяет использовать их на технологических операциях, ранее выполняемых на станках с ЧПУ.

Компания KUKA ROBOTIKS первая среди производителей промышленных роботов стала развивать свою концепцию их применения в приложениях, традиционно считавшихся прерогативой станочного оборудования с ЧПУ. Обрабатывающие центры, разработанные на базе роботов, используются в различных отраслях промышленности: в аэрокосмической (сверление, обрезка, клепка, укладка слоев ленточных материалов); в металлообработке (точение, фрезерование, сверление, пиление); в литейном производстве (обрезка литников и прибылей, фрезерование, снятие заусенцев); в моделировании (фрезерование, сверление); деревообработке; обработке камня и др.

Существенное отличие систем управления РТК заключается в том, что они «понимают» привычные для программистов станков с ЧПУ CNC-коды.

В противоположность станкам с ЧПУ использование роботов обеспечивает дополнительные преимущества:

- робот «становится» станком с ЧПУ (полный набор команд DINISOCODE, G-CODE; стандартные, дополнительные функции и команды);
- огромная рабочая зона, высокая степень свободы, гибкость в установке, малые габариты, дешевизна по сравнению со станком;
- удобство использования: прямой интерфейс с CAD/CAM системами, выполнение G-кодов, копирование программ;
- высокая точность: контроллер считывает большое количество точек вперед, сплайн-интерполяция, различные компенсационные модули.

Глава 2. Технологические системы и схемы резания

2.1. Технологические системы

Обработка материалов неразрывно связана с оптимизацией процессов резания и технологического процесса в целом, с обеспечением надежности режущего инструмента и управлением процессами обработки по определенным критериям. Технологические системы (ТС) – это совокупность функционально взаимосвязанных средств оснащения, предметов производства и исполнителей, предназначенных для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций (ГОСТ 27.004–85).

Вид ТС определяется в первую очередь предметом производства (рис. 2.1). Все системы обладают общими признаками:

- система функционирует только при подведении к ней одного или нескольких видов энергии;
- функционирующая система может подразделяться на подсистемы, которые функционируют параллельно или последовательно;
- технологические системы содержат как минимум четыре основных компонента, связанных между собой.

При анализе тепловых явлений в процессе обработки системы подразделяют на технологические подсистемы (ТПС) трех уровней.

Технологическая подсистема первого уровня ТПС-1 – предусматривает получение на заготовке или детали отдельных поверхностей или изменение свойств обрабатываемого материала (рис. 2.2).

Компоненты технологической системы ТПС-1: обрабатываемая деталь или материал; оборудование; инструмент; средство контроля и управления;

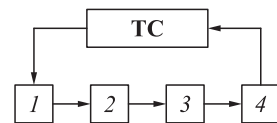


Рис. 2.1. Схема технологической системы:

1 – предмет производства; 2 – исполнитель; 3 – оснащение, оборудование; 4 – технология для выполнения технологических операций

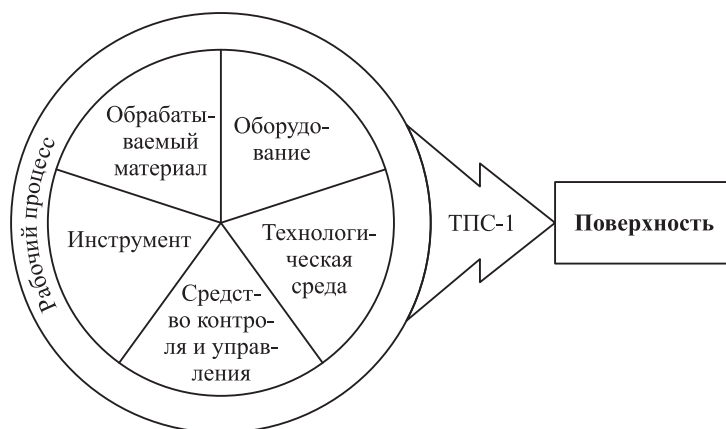


Рис. 2.2. Технологическая подсистема первого уровня ТПС-1

технологическая среда. Все объединяется рабочим процессом и обеспечивает получение поверхности детали.

Технологическая подсистема второго уровня ТПС-2 – объединение ТПС-1 в одну или несколько операций или технологическую линию (рис. 2.3). Технологическая подсистема ТПС-2, включающая ТПС-1.1, ТПС-1.2, ТПС-1.3, ТПС-1.4, ТПС-1.5, обеспечивает получение детали машины, но при этом предусматривается, что другие виды обработки, кроме осуществляемых с помощью объединенных ТПС-1, для получения готовых деталей не требуется.

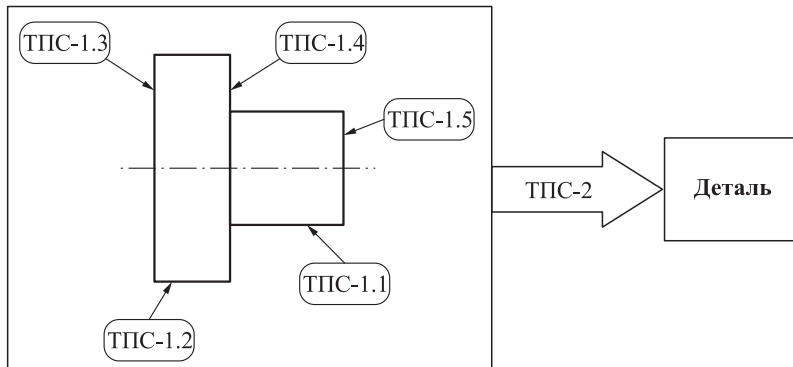


Рис. 2.3. Технологическая подсистема второго уровня ТПС-2

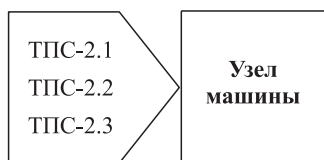


Рис. 2.4. Технологическая подсистема третьего уровня ТПС-3

Технологическая подсистема третьего уровня ТПС-3 – объединение нескольких подсистем второго уровня (ТПС-2.1, ТПС-2.2, ТПС-2.3) при той или иной организации процессов сборки, сварки или других способов соединения деталей. Данная подсистема обеспечивает получение узла машины (рис. 2.4).

Объединение нескольких ТПС-3 с помощью соответствующих процессов, контроля и управления образует технологическую систему ТС-4, результатом функционирования которой является изделие или машина.

Следует отметить, что основная часть тепловых процессов происходит в подсистемах первого и второго уровня. Именно здесь осуществляется изменение форм и свойств заготовки с целью ее превращения в деталь. В настоящее время наряду с традиционно используемыми видами энергии – механической, тепловой, электрической, химической – все большее применение в технологических системах находят энергия плазмы, лазера, заряженных частиц, атомная и др.

Теплота, внесенная внешними или внутренними источниками, распределяется между всеми компонентами ТПС. Теплообмен между компонентами подсистем осуществляется такими способами, как теплопроводность, конвекция излучением. Возможна комбинация этих способов.

Технологические системы, обеспечивающие получение детали машины, классифицируются по видам способами воздействия (рис. 2.5).

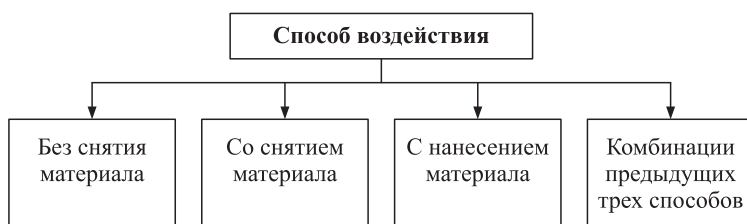


Рис. 2.5. Классификация ТС способами воздействия

Классификация способов воздействия:

- 1) без снятия материала:
 - а) холодное пластическое деформирование;
 - б) горячее пластическое деформирование;
 - в) пластическое деформирование в состоянии сверхпластичности;
 - г) комбинация способов а–в и др.;
- 2) со снятием материала:
 - а) резание лезвийным инструментом;
 - б) резание абразивным инструментом;
 - в) разрушение;
 - г) оплавление;
 - д) сочетание способов а–г;
- 3) с нанесением материала:
 - а) напыление;
 - б) наплавление;
 - в) гальванизация;
 - г) химическое осаждение;
 - д) физико-химическое осаждение;
 - е) другие способы;
- 4) комбинация способов 1–3.

Метод обработки характеризует процесс формирования параметров качества, каждый из которых зависит от ряда технологических факторов, подразделяющихся на пять групп:

- факторы, обусловленные принятым способом воздействия на обрабатываемый материал;
- кинематические факторы;
- факторы, связанные с применяемым инструментом;
- динамические факторы;
- статические факторы.

Понятие «способ воздействия» отличается от понятия «процесс обработки».

Процесс обработки включает одновременно вид воздействия на материал и определенные кинематические характеристики (траектория, направление движения, скорость относительного движения инструмента по обрабатываемой поверхности).

Отличие способа воздействия от процесса обработки состоит в том, что под способом воздействия понимают физические, механические, химические и другие способы воздействия на обрабатываемый материал изолировано от инструмента, кинематики, динамических и статических характеристик метода обработки.

Сущность способа воздействия характеризуется законами и закономерностями различных процессов и явлений, которые используются в качестве средства воздействия на обрабатываемый материал. Таким образом, устанавливается связь между фундаментальными науками и основами технологии машиностроения. При этом необходимо учитывать физико-механические свойства обрабатываемого материала при различных видах его состояния.

Способ воздействия определяет производительность и качество обработки. Производительность может характеризоваться съемом металла в единицу времени, скоростью перемещаемого металла, скоростью наносимого металла в единицу времени и др.

2.2. Схемы и системы резания

Описание схем и систем резания отражено в работах Н.Н. Зорева, М.И. Клущина, В.Н. Подураева, В.Ф. Боброва и др.

Известны различные подходы к описанию схем резания. Профессором Г.И. Грановским, например, предложены 282 кинематические схемы резания, которые не только отражают различные методы обработки металлов резанием, но и дают возможность разрабатывать новые процессы механической обработки. Академиком АН Беларуси Е.Г. Коноваловым описана универсальная схема, которая включает элементарные кинематические схемы, где обрабатываемая деталь и режущий инструмент каждый в своей системе координат имеют три вращательных и три поступательных движения. В дальнейшем принцип комбинирования кинематических схем положен в основу разработки новых способов металлообработки. Известны типовые математические модели и алгоритмы расчета оптимальных режимов для одноинструментной обработки материалов резанием.

В структурных схемах, системах и моделях процесса резания описывается многообразие связей между отдельными элементами. Эти связи могут дополнять или ослаблять друг друга, а сама связь может быть косвенной или непосредственной. Процесс резания сопровождается упругими и пластическими деформациями обрабатываемого материала, разрушениями в зоне резания, трением в зонах контакта инструмента с изделием и стружкой, адгезионным, абразивным, диффузионным и другими видами взаимодействия между инструментом и обрабатываемым материалом.

При переходе от элементарной системы к системе более высокого уровня возможен переход к системам управления процессами резания. При этом необходимо учитывать следующее:

- наличие причинно-следственных связей между элементами системы, причем обратная связь является одним из важнейших условий управления;
- динамичность системы, предусматривающая возможность перехода из первоначального состояния в иное;
- наличие управляемых и управляющего блоков;
- наличие элемента, усиливающего управляющее воздействие, а также возможность передачи, накопления и преобразования управляющей информации.

Целостность системы — это не набор отдельных элементов, а их тесная взаимосвязь. С позиции системного подхода при исследовании обработки материалов резанием характеристики системы можно представить следующим образом:

- наличие в блоках и элементах свойств, образующих единое целое в отдельности;
- представление в количественной форме процессов, происходящих внутри блоков и отдельных элементов, входящих в них;
- представление конечного результата в виде результата взаимосвязи процессов, взаимозависимостей и их взаимного влияния;
- представление системы в виде отдельных взаимосвязей блоков и возможность конкретного описания, оценки каждого блока и отдельных элементов, влияющих на конечный результат;
- возможность целенаправленного воздействия, регулирования, управления как отдельным элементом, так и всей системой для получения конкретного результата обработки.

2.2.1. Схема взаимодействия процессов при прямоугольном свободном резании

Профессор Н.Н. Зорев разработал схему взаимодействия основных факторов, сопровождающих процесс прямоугольного свободного резания, в которой были приняты следующие допущения: сдвиговые деформации сконцентрированы вдоль условной плоскости сдвига; процесс резания осуществляется без нароста; опущены некоторые второстепенные факторы, сопутствующие процессу резания (рис. 2.6).

На процессы стружкообразования наибольшее внешнее воздействие оказывают четыре фактора: передний угол, угол действия, скорость резания, свойства обрабатываемого материала.

Отмечается как непосредственное, так и косвенное влияние этих факторов на процесс резания. Косвенное влияние может осуществляться несколькими промежуточными факторами и сразу несколькими путями.

Все учтенные факторы сгруппированы по определенным признакам. На схеме, приведенной на рис. 2.6, над пунктирной линией 1–1 представлены зависимые факторы, тесно связанные с процессами в зоне стружкообразования. Ниже пунктирной линии 2–2 находятся зависимые факторы, связанные с процессами на передней поверхности инструмента.

Между линиями 1–1 и 2–2 в верхнем ряду расположены независимые факторы, каждый из которых может изменяться независимо друг от друга. Между линиями 1–1 и 2–2 в нижнем ряду расположены зависимые факторы, определяющие взаимодействие между процессами в зоне стружкообразования и на передней поверхности. Связи между отдельными факторами, обозначенными в прямоугольниках, отмечены соединительными линиями с соответствующими цифрами. На схеме отмечается как непосредственное, так и косвенное влияние этих факторов на процесс резания. Косвенное влияние может осуществляться несколькими промежуточными факторами и сразу несколькими путями.

Выполнена группировка факторов, их взаимодействие и взаимовлияние в зоне стружкообразования, отмечены процессы в области передней поверхности инструмента. Далее следуют факторы, определяющие взаимодействие между процессами в зоне резания и на передней поверхности, и рассматриваются независимые факторы, признаками которых служит то, что они могут изменяться независимо друг от друга.

Указывая на сложность и взаимовлияние многообразных связей при резании, их взаимосвязь и взаимообусловленность, Н.Н. Зорев предостерегает от попыток сведения роли многочисленных процессов к одному универсальному фактору и подчеркивает необходимость такого методического проведения исследований, которое учитывает действие многих факторов, позволяет выделять группу основных и максимально приближает к сущности происходящего явления.

2.2.2. Единая система резания

Профессором М.И. Клушиным предложена единая система резания металлов, которая учитывает взаимосвязанность и одновременное взаимодействие упругих и пластических деформаций срезаемого слоя металла, обрабатываемой поверхности, износа режущего инструмента и др.

Система включает ряд элементов, имеющих различную природу, которые сами могут рассматриваться как отдельные процессы. Поэтому весьма трудно создание достаточно содержательных моделей процессов деформации и разрушения тел при обработке их резанием.

При всестороннем анализе исследуемого объекта необходимо учитывать одновременно протекающие механические, физические, химические, физико-механические и прочие явления и процессы. В связи с этим целесообразно рассматривать полную математическую модель как состоящую из отдельных блоков, которые могут быть самостоятельными объектами исследований. Исследование физической сущности протекающих процессов во взаимосвязи с другими блоками приближают нас к познанию процесса во всем многообразии его проявлений. Путь познания систем – это нормированное изменение внешних воздействий на нее на входе и изучение ее реакций на выходе. Реакции системы на выходе принято называть функциями системы или параметрами ее функционирования.

Переменные факторы системы включают следующее:

- обрабатываемый материал (свойства);
- форма и размеры заготовки;
- операция обработки (припуск, длина обработки);
- материал инструмента (свойства);
- вид инструмента (конструктивные и геометрические параметры);
- станок (кинематические и динамические характеристики);
- жесткость системы Станок – Приспособление – Инструмент – Деталь (СПИД) (свойства);
- состав и физико-химическая активность среды;
- состав и способ применения искусственно вводимой в зону обработки внешней среды;
- режимы резания.

Параметры результатов функционирования системы:

- темп износа инструмента;
- критерий затупления инструмента;
- шероховатость обработанной поверхности;
- наклеп и напряженное состояние под обработанной поверхностью;
- точность обработанной детали;
- мощность, расходуемая на резание;
- виброустойчивость процесса;
- стружколомание и стружкозавивание;
- сохранность кромок изделия.

На каждый из параметров функционирования системы резания в большей или меньшей степени влияют все переменные факторы ее состояния. В целом система резания металлов характеризуется большим числом возможных состояний и многочисленностью связей между ее элементами.

2.2.3. Структурная система резания В.Н. Подураева

Профессор В.Н. Подураев отмечает, что «изыскание рациональных условий обработки должно проводиться комплексно на основе выяснения физи-

ко-химического механизма процесса резания, и прежде всего основных явлений, его определяющих». Предлагается общая структурная система обработки с первичными параметрами, задаваемыми конструкторами, и вторичными, определяющими результаты обработки. Первичные параметры – входные – блок с процессами резания, сопутствующими снятию стружки, вторичные параметры – выходные (рис. 2.7).

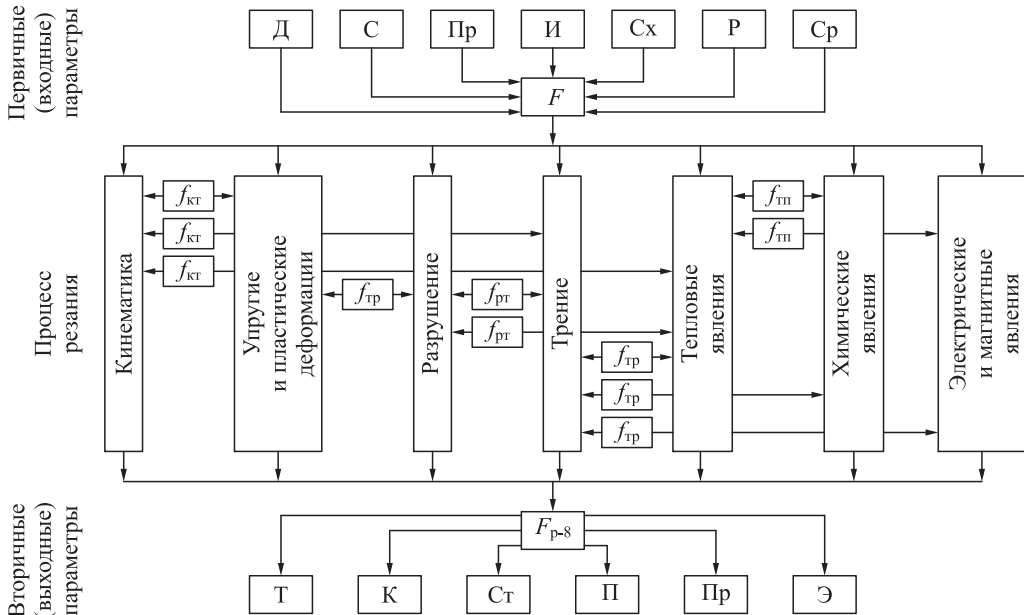


Рис. 2.7. Система резания:

входные параметры: Д – деталь; С – станок; Пр – приспособление; И – инструмент; Сх, Р, Ср – соответственно схема обработки, режим обработки, технологическая среда; выходные параметры: Т, К, С_т, П, Пр, Э – соответственно точность, качество, стойкость, прочность, производительность, экономичность

Структурная система показывает наличие не только прямой, но и обратной связи между отдельными сторонами процесса резания. Она позволяет методически правильно проводить исследования, рационально решать задачу выполнения операции с учетом производительности обработки, определять рациональные границы данного метода обработки, необходимость введения дополнительных операций и т.д.

В дальнейшем был разработан ряд структурных схем резания и предложено для них следующая формулировка: «Система обработки резанием представляет собой необходимую для обработки данной заготовки на станке регулируемую совокупность инструментов, приспособлений и технической среды, с одной стороны, и процесса резания – с другой». Вводятся понятия физической схемы резания; конструктивной модели метода обработки; структурной схемы резания; математической модели обработки резанием. Отмечается, что условия протекания процесса резания определяются кинематической схемой

Содержание

Условные обозначения	3
Введение	4
РАЗДЕЛ 1. РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ	5
Глава 1. Тенденции развития металлообработки и станкостроения	5
1.1. Тенденции развития металлообработки	5
1.2. Тенденции развития станкостроения и ведущие мировые фирмы по производству станков и металлорежущего инструмента	6
1.3. Классификация обрабатываемого оборудования	10
Глава 2. Технологические системы и схемы резания	11
2.1. Технологические системы	11
2.2. Схемы и системы резания	14
Глава 3. Материалы режущей части инструментов	24
3.1. Требования к инструментальным материалам	24
3.2. Группы инструментальных материалов и их свойства	26
3.3. Повышение износостойкости инструментальных материалов	33
Глава 4. Влияние геометрических параметров рабочей части инструментов на различные процессы при резании	41
4.1. Геометрические параметры проходного резца	41
4.2. Влияние геометрических параметров инструментов на процесс резания	43
Глава 5. Кинематика резания	47
5.1. Кинематические схемы резания	47
5.2. Методы формообразования поверхностей при обработке резанием	49
Глава 6. Стружкообразование	50
6.1. Типы стружек	50
6.2. Модели зоны резания	53
6.3. Зоны стружкообразования	53
6.4. Особенности трения при резании	56
6.5. Классификации стружек	58
6.6. Дробление стружки	61
6.7. Дислокационный механизм стружкообразования	63
6.8. Наростообразование	65
6.9. Строение нароста	67
6.10. Технологические аспекты нароста	69
6.11. Усадка стружки	70
6.12. Деформации и наклеп металла в зоне контакта инструмента со стружкой и на обработанной поверхности	72
6.13. Стружколомание	74

Глава 7. Силы резания	75
7.1. Силы резания при точении	75
7.2. Влияние свойств обрабатываемого материала на силы резания	78
7.3. Силы резания при сверлении	78
7.4. Влияние различных факторов на силы резания при сверлении	79
7.5. Силы резания при фрезеровании	80
7.6. Силы резания при шлифовании	81
Глава 8. Тепловые процессы в зоне резания	82
8.1. Теплотехника, основные термины и понятия	82
8.2. Виды теплообмена при резании металлов	83
8.3. Методы измерения температур	86
8.4. Температурные шкалы	89
8.5. Способы управления тепловыми процессами при резании лезвийным инструментом	90
8.6. Точение	90
8.7. Многолезвийный инструмент	94
8.8. Сверление	94
8.9. Фрезерование	98
8.10. Шлифование	101
Глава 9. Износ и стойкость инструментов	104
9.1. Физика процесса изнашивания режущих инструментов	106
9.2. Критерии износа	108
9.3. Стойкость инструмента и допускаемая скорость резания	109
9.4. Стойкость наибольшей производительности и стойкость наименьшей себестоимости обработки	110
Глава 10. Обрабатываемость материалов резанием	111
10.1. Обрабатываемость сталей	111
10.2. Обрабатываемость чугуна	113
10.3. Обрабатываемость железистографитовых металлокерамических материалов	113
10.4. Обрабатываемость жаропрочных и нержавеющей сталей	114
10.5. Обрабатываемость титана и его сплавов	115
10.6. Методы исследования обрабатываемости материалов	116
Глава 11. Смазочно-охлаждающие среды	117
11.1. Основные требования к смазочно-охлаждающей жидкости в металлообработке	117
11.2. Виды смазочно-охлаждающей среды	117
Глава 12. Особенности обработки на станках с ЧПУ	118
12.1. Области применения станков с ЧПУ	118
12.2. Требования к инструментам для станков с ЧПУ	118
Глава 13. Оптимизация процессов обработки резанием	121
13.1. Методология оптимизации	121
13.2. Типовые математические модели и алгоритмы расчета оптимальных режимов одноинструментальной обработки материалов резанием	127

Глава 14. Колебания и вибрации при резании металлов	131
14.1. Виброустойчивость инструментов	134
14.2. Концепция неравных углов для концевых фрез фирмы Dormer	135
14.3. Колебания шнековых сверл	135
Глава 15. Резка материалов ленточными пилами	136
15.1. Конструктивные и геометрические параметры полотен ленточных пил	137
15.2. Виды нагрузок на ленточную пилу при резании	138
РАЗДЕЛ 2. РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ	143
Глава 16. Направления совершенствования конструкций режущих инструментов	143
Глава 17. Конструктивные элементы режущих инструментов	144
Глава 18. Классификации режущих инструментов	144
18.1. Классификация по видам обработки	144
18.2. Технологическая классификация применительно к режущему инструменту	145
18.3. Классификация резцов И.И. Семенченко	145
18.4. Десятичная классификация	146
18.5. Технологии обработки типовых деталей с различными формами поверхностей инструментами зарубежных фирм	147
Глава 19. Параметры и способы крепления пластин режущих инструментов	149
Глава 20. Резцы, сменные режущие головки, модульные системы	153
20.1. Требования к резцам	153
20.2. Модульные системы и сменные режущие головки	153
20.3. Формы поверхностей режущей части инструментов	155
20.4. Зубья режущих инструментов и требования к их параметрам	156
20.5. Кинематические углы при резании	157
20.6. Влияние геометрических параметров инструментов на износостойкость и качество поверхности	158
20.7. Схемы резания при проектировании инструментов	163
20.8. Виды стружечных канавок	165
20.9. Типовые формы зубьев	167
20.10. Расчет инструментов на прочность	167
Глава 21. Соединительные части инструментов	169
21.1. Формы и способы крепления режущей части инструментов	169
21.2. Модульные, блочные системы, патроны, оправки для крепления режущей части инструментов	170
21.3. Модульные системы, патроны и оправки для крепления инструментов	172
21.4. Системы блочного инструмента и сменные головки	176
21.5. Способы подвода СОЖ в зону резания	177
Глава 22. Сборные конструкции инструментов	180
22.1. Крепления режущих элементов инструментов	180
22.2. Механическое крепление пластин	181
22.3. Разъемные соединения инструментов	182
22.4. Крепление пластин винтами и прихватами	183

Глава 23. Современные конструкции режущих инструментов	183
23.1. Формы пластин и креплений режущей части инструментов фирм ISCAR, Sandvik, Taegy Tec, Walter	184
23.2. Крепление сменной режущей части инструментов в форме тригона и инновации в точении	187
Глава 24. Режущие инструменты для автоматизированных производств	188
24.1. Токарные инструменты фирмы Sandvik для наружного и внутреннего точения	188
24.2. Расточные резцы	189
24.3. Резцы и сменные головки для наружного и внутреннего точения	190
Глава 25. Инструменты для обработки отверстий	191
25.1. Сверла, особенности конструкций, геометрические параметры	191
25.2. Формы заточек режущей части сверл	193
25.3. Сверла специальных конструкций, подвод СОЖ в зону резания	197
25.4. Сверла шнекового типа для сверления глубоких отверстий	199
25.5. Сверла с твердосплавными пластинками	200
Глава 26. Зенкеры	203
26.1. Классификация, конструктивные и геометрические параметры	203
26.2. Конструктивные и геометрические параметры зенкеров	203
26.3. Насадные зенкеры, крепление пластин	204
26.4. Крепление пластин зенкеров	205
26.5. Твердосплавные зенковки фирмы DORMER	205
Глава 27. Развертки	206
27.1. Классификации, конструктивные и геометрические параметры разверток	206
27.2. Твердосплавные развертки	210
Глава 28. Фрезы	211
28.1. Классификация фрез	212
28.2. Сборные конструкции фрез	214
28.3. Конструктивные и геометрические параметры фрез	216
28.4. Современные конструкции торцовых фрез	217
28.5. Напряжения в зоне крепления пластин и корпуса фрезы	220
28.6. Автоколебания фрез с переменным угловым шагом зубьев концевых фрез	222
28.7. Фасонные фрезы	224
28.8. Дисковые фрезы	226
Глава 29. Протяжки	227
29.1. Назначение и основные типы протяжек	227
29.2. Конструктивные элементы протяжек, схемы резания	228
29.3. Геометрические параметры протяжек	231
29.4. Шлицевые протяжки	231
29.3. Протяжки для плоских и фасонных поверхностей	232
Глава 30. Резьбообразующие инструменты	235
30.1. Методы изготовления резьб	235
30.2. Резьбовые резцы, конструкции, схемы резания	235

30.3. Метчики, классификация, конструктивные параметры	239
30.4. Комплекты метчиков, способы нарезания резьб	245
30.5. Современные резьбообразующие инструменты	246
Глава 31. Резьбофрезерование	246
31.1. Схемы работы резьбовых фрез	246
31.2. Твердосплавные резьбовые фрезы	247
Глава 32. Зуборезные инструменты	247
32.1. Инструменты для нарезания зубьев зубчатых колес	247
32.2. Способы нарезания зубьев: метод копирования; метод обкатки (обкаточного огибания)	248
32.3. Червячные модульные фрезы	250
32.4. Цельные фрезы	251
32.5. Сборные червячные модульные фрезы	253
32.6. Цельные червячные фрезы с износостойкими покрытиями	254
32.7. Червячные фрезы со сменными пластинами	256
Глава 33. Долбяки	257
33.1. Зуборезные долбяки, схемы работы	257
33.2. Конструкции долбяков и их применение	258
Глава 34. Шеверы	260
34.1. Принципы работы дисковых шеверов	260
34.2. Конструктивные параметры модульных шеверов	260
Глава 35. Инструментальное обеспечение станков с числовым программным управлением	262
35.1. Оснастка и приспособления для станков с ЧПУ	262
35.2. Вспомогательный инструмент для станков с ЧПУ	263
35.3. Вспомогательные подсистемы для машиностроительных производств	264
35.4. Инструментальные наладки для высокоскоростной обработки	265
Глава 36. Абразивные материалы	266
36.1. Абразивные материалы, виды материалов	267
36.2. Свойства абразивных материалов, шлифовальные круги	268
36.3. Шлифовальные круги, типы и формы	269
36.4. Хонинговальные головки	271
36.5. Глубинное шлифование	272
Глава 37. Ленточные пилы	274
37.1. Конструктивные и геометрические элементы ленточных пил	274
37.2. Формы зубьев, разводка зубьев	276
37.3. Разводка зубьев ленточных пил	277
37.4. Материалы ленточных пил фирмы Wikus	278
37.5. Твердосплавные пилы	280
Литература	281