

ГОУВПО «Воронежский государственный
технический университет»

И.А. Чечета

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
В МАШИНОСТРОЕНИИ:
КУРС ЛЕКЦИЙ

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2008

УДК 621.91.002

Чечета И.А. Технологические процессы в машиностроении: курс лекций: учеб, пособие / И.А. Чечета. – Воронеж.: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. 96 с.

Учебное пособие содержит краткое изложение лекций по ряду основных разделов курса «Технологические процессы в машиностроении». Изложены обобщенные сведения о терминологии и производственных понятиях, характерных для наиболее распространенных в машиностроении основных технологических процессов. Обобщения выполнены с учётом современных стандартов и результатов достижений отечественной и зарубежной науки и техники в рассматриваемой области. Издание соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 151000 «Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств», специальности 151001 «Технология машиностроения», дисциплине «Технологические процессы в машиностроении».

Предназначено для студентов всех форм обучения.

Ил. 3. Библиогр.: 15 назв.

Рецензенты: кафедра «Автоматизация производственных процессов» Воронежской государственной лесотехнической академии, зав. кафедрой д-р техн. наук, профессор Петровский В.С.; д-р техн. наук, проф. М.И. Чижов.

© Чечета И.А., 2008

© Оформление. ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008

ВВЕДЕНИЕ

В перечне дисциплин учебной программы для подготовки специалистов по специальности 151001 «Технология машиностроения» указана дисциплина «Технологические процессы в машиностроении», предназначенная для изучения студентами первого и второго курсов.

Эта дисциплина необходима для формирования у студентов общего представления о специфике осваиваемой специальности. Соответственно, в излагаемых материалах основное внимание уделено особенностям технологических процессов, терминов и понятий, характерным для технологических процессов, а также представлена общая характеристика тех технологических процессов, которые наиболее распространены и составляют основу машиностроительного производства. В результате у студентов формируются исходные предпосылки для успешного более подробного изучения основополагающих специализированных и специальных дисциплин по инженерной специальности 151001 «Технология машиностроения».

Применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий всегда регламентированы стандартами с целью создания условий для однозначного восприятия и понимания протекающих процессов, направленных на создание намечаемой продукции. Исходным стандартом в рассматриваемом случае является Единая система технологической документации (ЕСКД).

Все термины и определения основных понятий, упомянутые в учебном пособии, сверены с этой системой.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ ИЗЛАГАЕМОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

(Выписка из Государственного стандарта высшего профессионального образования по специальности 151001 «Технология машиностроения»)

Изделия машиностроения, служебное назначение и показатели качества. Изделие как объект производства. Жизненный цикл изделия. Материалы, применяемые в машиностроении. Чёрные и цветные металлы и сплавы. Неметаллические материалы. Основные методы получения конструкционных материалов. Классификация способов получения заготовок. Получение заготовок методами литья, пластическим деформированием. Получение заготовок из порошковых, композиционных и других неметаллических материалов. Формообразование поверхностей деталей. Классификация методов формообразования. Механическая обработка деталей резанием. Электрофизические и электрохимические методы обработки. Средства технологического оснащения при разных методах обработки. Особенности обработки деталей на станках с ЧПУ. Термическая обработка в технологическом процессе изготовления изделий. Износостойкие, антикоррозионные и декоративные покрытия. Содержание технологических процессов сборочных работ. Выполнение подвижных и неподвижных соединений. Сварные, паяные, клеевые и комбинированные соединения. Вопросы автоматизации процессов получения заготовок, изготовления деталей и сборки изделий. Проблемы обеспечения качества изделия. Содержание технологической подготовки производства изделия. Задачи проектирования технологических процессов, оборудования, инструмента и приспособления. Технологическая документация. Методы обеспечения технологичности и конкурентоспособности изделий машиностроения.

Цель – сформировать основу для предварительного анализа технико-экономических возможностей технологических процессов машиностроительного производства.

Задача – проанализировать структурные параметры и особенности технологических процессов, базовых для машиностроительного производства.

2. ПРОИЗВОДСТВО

2.1. Общие сведения о производстве

2.1.1. *Производство и его признаки.* Производство (материальное,) в общем случае представляет собой процесс, посредством которого люди, используя вещества и силы природы, создают продукты как средства своего существования и развития. Соответственно производство, удовлетворяя потребности людей в материальных благах, составляет основу жизни. В результате производство оказалось общественным, непрерывным и находящимся в постоянном потоке своего возобновления.

Применительно к машиностроению *производственный процесс* представляет собой совокупность действий, связанных с организацией, планированием, снабжением, изготовлением, контролем, учётом и другими мероприятиями, прямо или косвенно связанными с превращением поступающих на предприятие предметов труда в виде *материалов* и *полуфабрикатов (заготовок)* в готовую продукцию этого предприятия.

При этом любой производственный процесс предопределяет такие последующие процессы *как распределение, обмен и потребление.* Эти процессы, находясь в зависимости от производства, оказывают на него активное обратное воздействие, способствуя развитию производства или тормозя это развитие.

Так как производство не может осуществляться вне и помимо общества, то этим обстоятельством предопределена необходимость учитывать, что производство имеет две неразрывно связанных между собой стороны в виде *производительной силы* и *производственных отношений*.

Основой *производительной силы* являются люди, обладающие развитой способностью к труду, определёнными трудовыми навыками и знаниями.

Совокупность физических и духовных способностей, которые человек применяет в производстве, представляет собой *рабочую силу*, а сам человек является *личностным фактором* производства.

В состав *производительной силы* также входят *вещественные факторы* и *условия труда*.

2.1.2. *Техника и наука.* Вещественными факторами являются орудия производства труда (то есть *средства труда*: машины, инструмент), предметы труда (материал, сырьё), сооружения. Они же предопределяют *условия труда*.

Средства труда имеют обобщенное название — *техника*. Содержание понятия «*техника*» исторически менялось с развитием производства. Так, в период возникновения понятия «*техника*» основным его содержанием было индивидуальное *искусство, мастерство*. И в настоящее время этот термин часто встречается в его исконном смысле. Например, говорят: техника игры на скрипке, техника танца, техника шахматной игры, техника безопасности и т.д.

Каждый этап постоянного развития техники как структурной составляющей средств производства соответствует определённому этапу развития общественного производства.

В основе развития техники лежит применение законов природы, выявляемых естествознанием. Решая тот или иной вопрос на основе имеющихся известных законов природы,

человек открывает новые свойства вещей и этим продвигает вперёд естествознание. Таким образом, техника постоянно даёт науке средства, необходимые для проведения дальнейших исследований. То есть техника является необходимым условием для развития науки.

По мере развития техники и усложнения средств воздействия человека на природу в науке выделилась область *технических наук*, опирающихся на закономерности природных явлений, изучающих процессы и явления в вещах, созданных руками человека.

Проблемы, решаемые техническими науками, как правило, являются широко комплексными, заставляющими использовать достижения разнообразных областей естественных наук.

Техника в общем смысле представляет собой материальное воплощение накопленных человеческим обществом знаний в деле освоения сил природы. Но решающим фактором, определяющим развитие техники, являются экономические условия. Техника, будучи элементом производительных сил, неразрывно связана со способом производства, включающим и производственные отношения. Поэтому нельзя понять развитие техники, исходя только из естественнонаучной основы её и отвлекаясь от законов, определяющих развитие данного способа производства, от производственных отношений конкретной общественной формации.

Только экономические законы данного общественного строя дают ответы на вопросы о темпах развития техники и о направлениях, в которых реализуется новая техника.

О значимости техники красноречиво говорит тот факт, что чередующиеся социально-экономические эпохи человеческого общества различаются не тем, что именно производилось, а тем, как и посредством чего получали результаты труда (продукт).

История техники знает немало примеров того, как производственные отношения, пришедшие в противоречие с развитием производительных сил, тормозят разработку и внедрение изобретений и открытий или, наоборот, примеров того, как производственные отношения, соответствующие достигнутому уровню производительных сил, создают благоприятные дополнительные условия для быстрого развития новой техники.

Зависая в своём развитии от экономических условий, техника в то же время способствует изменению этих условий, являясь ранее всего изменяющимся элементом производительных сил. В связи с этим важной рекомендацией является необходимость корректировки степени соответствия производительных сил производственным отношениям.

Здесь имеется в виду, что объективно действующий закон соответствия производственных отношений характеру производительных сил постоянно предопределяет переход от одного способа производства к другому: первобытнообщинный, рабовладельческий, феодальный, капиталистический, социалистический.

2.1.3. Производственный и производительный труд. Для производства характерно понятие – *производственный труд*. Под *производственным трудом* понимают физический или умственный труд, непосредственно направленный на создание материальных благ и потому образующий основу жизни общества

Результатом производственного труда является продукт труда, который по своей натуральной форме и роли в обществе состоит из двух частей: *средства производства* и *предметы личного потребления*

Способ соединения *рабочей силы* со *средствами производства* отражает социальный строй общества, в котором реализуется производство.

Для производства также характерно понятие – *производительный труд*.

Производительный труд нельзя смешивать с трудом *общественно полезным*, но *непроизводительным* (например, труд врача, учителя и т.п.). В то же время любой труд оценивают его *производительностью*, (час, смену, месяц, год), или же количеством времени, затрачиваемого на производство единицы продукции или выполнения определённой работы.

2.1.4. Производительность труда – это один из важнейших показателей эффективности производственного процесса. Под *производительностью* понимают результативность труда, определяемую количеством продукции или работы, производимой в единицу рабочего времени. Этот показатель может быть рассчитан как на одного рабочего, так и на одного работающего (включая рабочих и служащих).

В зависимости от методов расчёта показатели *производительности труда* бывают *стоимостные* (ценностные), *натуральные* (вес, штуки и т.д.) и *трудовые* (минуты, часы).

На всех ступенях общественного производства действует *закон повышающейся производительности труда*. Замечено, что на каждой последующей общественно-экономической формации *производительность труда* возрастала. Главнейшим фактором повышения производительности труда является применение более совершенной техники и надлежащего уровня *производительного труда*, то есть с учётом технической грамотности непосредственных исполнителей.

2.1.5. Производственный цикл. Период пребывания предмета труда в производственном процессе с начала изготовления до выпуска готового продукта называется *производственным циклом*. Производственный цикл состоит из рабочего периода, то есть из количества времени, необходи-

мого для получения готового продукта, и перерывов в процессе производства, обусловленных либо самой природой продукта и способом его изготовления (сушка, естественное старение и т.п.), либо условиями организации, главными из которых являются перерывы между рабочими сменами, перерывы между стадиями процесса.

Сокращение производственного цикла ускоряет как выпуск продукции, так и движение оборотных средств, дающее дополнительную их экономию. Важнейшим средством сокращения производственного цикла является внедрение передовых технологий и автоматизация производственных процессов.

2.1.6. Производственная площадь. Территория производственных зданий и сооружений предприятия, на котором создают продукцию, называется *производственной площадью*. Различают *полезную* производственную площадь и *общую*.

На *полезной производственной* площади расположено технологическое оборудование, осуществляется процесс производства и находятся полуфабрикаты, как ожидающие передачи на следующие стадии производства, так и те, в которых производственный процесс реализуется в естественных условиях (сушка, остывание и др.).

Общая производственная площадь включает *полезную* площадь, а также проходы, проезды, склады и т.д. Степень использования производственной площади определяется количеством продукции, выпущенной предприятием в среднем с одного её квадратного метра.

2.2. Промышленность

Промышленность (индустрия) является важнейшей и ведущей областью общественного материального производст-

ва и представляет собой совокупность предприятий (заводов, фабрик, шахт, рудников, электростанций, мастерских), в которых создаются орудия производства и преобладающая часть предметов потребления.

В промышленности осуществляется добыча топлива, сырья и материалов, заготовка леса и обработка промышленного и сельскохозяйственного сырья. Промышленность выполняет ведущую роль в создании орудий производства для всех отраслей хозяйства. При этом вся продукция промышленности делится на две группы:

- группа «А» (сюда входят отрасли, производящие средства производства);
- группа «Б» (здесь отрасли, производящие предметы потребления).

В свою очередь, вся промышленность делится также на *добывающую* (добыча руды, нефти, газа, угля, рыбы и т.д.) и *обрабатывающую* (переработка промышленного и сельскохозяйственного сырья) промышленность.

2.3. Материал для производства

2.3.1. Общие сведения. Материалом для производства является исходные предметы производственного труда. При этом различают *основной материал* (англ. – basic material) и *вспомогательный материал* (англ. – auxiliary material)

К *основному материалу* относится материал, масса которого входит в массу изготавливаемой детали, а *вспомогательным* считается материал, который дополнительно расходуется при обработке основного материала, но не входит в общую массу изготавливаемой детали.

Наряду с термином «*материал*» в машиностроении широко применяется термин «*конструкционный материал*». Этот термин в ряде случаев является синонимом понятия «*основной материал*».

2.3.2. Конструкционные материалы. Все конструкционные материалы, применяемые человеком для решения своих жизненных задач, имеют прямое природное происхождение или являются результатом частичной или существенной предварительной переработки природных ресурсов.

Укрупнённо все материалы подразделяются на группы:

- материалы в виде чистых металлов и их сплавов;
- неметаллические материалы.

Независимо от того, к какой из этих групп относятся материалы, практическое значение материалов оценивают по их основным свойствам: *механическим, физическим, химическим, технологическим и эксплуатационным.*

К *механическим свойствам* материалов, прежде всего, относят прочность, пластичность, твёрдость и ударную вязкость.

В числе *физических свойств* обычно значатся температура плавления, температурный коэффициент расширения, электросопротивление и теплопроводность.

Главным *химическим свойством* является способность к химическому противодействию агрессивным средам.

Технологические свойства – это способность материала подвергаться существующим методам горячей и холодной обработки. Здесь имеются в виду литейные свойства, деформируемость, свариваемость, обрабатываемость режущим инструментом.

Эксплуатационные, или служебные свойства оценивают по коррозионной стойкости, хладостойкости, жаропрочности, жаростойкости, антифрикционности.

2.4. Характеристика металлов и сплавов

2.4.1. *Общие положения.* В машиностроении технически чистые металлы *применяются* сравнительно редко из-за недостаточных прочностных свойств. Поэтому в качестве конструкционных материалов главным образом применяют *сплавы*.

Сплав представляет собой вещество, состоящее из двух компонентов и более и полученное в процессе смешивания этих компонентов в жидком виде.

Компонентами сплава могут быть металлы и неметаллы. Кроме основных компонент в сплаве могут содержаться *примеси*.

Примеси бывают как полезными, улучшающими эксплуатационные свойства сплава, так и вредными, ухудшающими эти свойства. Кроме того, примеси бывают случайно попадающими в сплав при его приготовлении, и специально добавляемыми с целью придать сплаву нужные свойства.

Компоненты после отверждения сплава могут образовывать *твёрдый раствор*, *химическое соединение* или *механическую смесь*.

В *твёрдом растворе* компоненты взаимно растворяются один в другом. Причем, один из компонентов обычно сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а другой в виде отдельных атомов распределяется внутри этой решетки.

В *химическом соединении* компоненты вступают в химическое взаимодействие с образованием новой кристаллической решетки. При этом компоненты имеют определённое соотношение по массе.

В *механической смеси* компоненты обладают полной нерастворимостью и сохраняют каждый свою кристаллическую решетку, и сплав состоит из смеси кристаллов своих компонент.

Механическая смесь имеет постоянную температуру плавления. Та механическая смесь, которая образуется одновременной кристаллизацией из расплава, называется эвтектикой.

Сплавы металлов всегда имеют конкретную *основу*. Соответственно, все сплавы различают по группам:

- сплавы на *основе железа*; называются *чёрными*, к ним относятся стали и чугуны;
- сплавы на *основе алюминия, магния, титана и бериллия*, имеющие малую плотность; называются *лёгкими* цветными сплавами;
- сплавы на *основе меди, свинца, олова и ряда других* – это *тяжёлые* цветные сплавы;
- сплавы на основе *цинка, кадмия, олова, свинца, висмута* – это *легкоплавкие* цветные сплавы;
- сплавы на основе *молибдена, ниобия, циркония, вольфрама, ванадия* и ряда других металлов – это *тугоплавкие* цветные сплавы.

2.4.2. Сплавы на основе железа. Все сплавы на основе железа с содержанием углерода (С) до двух процентов имеют одно обобщенное наименование – сталь. Важнейшим классификационным признаком сталей является их химический состав. По химическому составу стали, подразделяются на следующие группы:

- а) углеродистые стали; сюда входят
 - низкоуглеродистые стали с 0,09 – 0,20% С,
 - среднеуглеродистые стали с 0,0 – 0,45 % С,
 - высокоуглеродистые стали, содержащие более 0,5 % С;
- б) легированные стали; сюда входят
 - низколегированные стали с суммой легирующих элементов до 2,5 %,
 - среднелегированные стали с суммой легирующих элементов 2,5 – 10,0 %,

– высоколегированные стали с суммой легирующих элементов более 10 %.

Здесь под легированием [от лат. *ligare* – связывать, соединять] понимают ввод в основной металл добавок других металлов для улучшения его свойств.

В обозначениях марок легированных сталей используют следующие обозначения химических элементов:

Г – Mn (марганец), С – Si (кремний), Н – Ni (никель),
Х – Cr (хром), М – Mo (молибден), В – W (вольфрам),
Ф – V (ванадий), Т – Ti (титан), Д – Cu (медь), Р – В (бор),
Ю – Al (алюминий), Б – Nb (ниобий), К – Co (кобальт),
П – P (фосфор), А – N (азот), Ц – Zr (цирконий).

Первые цифры в марке стали, указывают содержание углерода в сотых долях процента. Цифра после буквы указывает среднее, округленное до 1 % , содержание легирующего элемента, при этом единица опускается. В отдельных случаях может быть указано более точно содержание легирующего элемента. Например, сталь 32Х06Л содержит в среднем 0,32 % С (углерода) и 0,6 % Cr. Последняя буква Л указывает, что сталь литейная.

При определении степени легирования содержание углерода во внимание не принимают, марганец и кремний считаются легирующими элементами при их содержании более 1,0 и 0,8 %, соответственно.

В отечественной практике содержание марганца выдерживают в пределах (0,35 – 0,65) % в низкоуглеродистых сталях и (0,5 – 0,8) % в средне- и высокоуглеродистых. Многие зарубежные фирмы предпочитают иметь в углеродистых сталях (0,9 – 1,1) % Mn.

Фосфор и сера являются вредными примесями и содержание каждого из них в любой марке стали свыше 0,03 % нежелательно (кроме некоторых специальных сталей).

2.4.3. Чугуны. Чугун представляет собой многокомпонентный сплав железа с углеродом (более 2,14 % C), а также с кремнием, марганцем, серой и фосфором. Широкое использование чугуна в машиностроении обусловлено оптимальным сочетанием технологических и эксплуатационных свойств и приемлемыми для практики технико-экономическими показателями.

В процессах получения чёрных металлов чугун занимает особо важное место, так как является первичным продуктом плавки из руд в доменных печах. По назначению доменные чугуны делятся на:

- передельные чугуны, то есть идущие в переработку на сталь;

- литейные – для производства фасонного литья;

- специальные, или доменные ферросплавы.

Основная особенность чугуна в ряду железоуглеродистых сплавов заключается в том, что углерод в чугуне может находиться в структуре, либо в виде графита – это так называемые *серый* и *ковкий* чугун, либо в виде *цементита*, то есть карбида железа Fe_3C – так называемый *белый чугун*.

2.4.4. Медные сплавы. Чистая медь относится к числу дорогостоящих и дефицитных конструкционных материалов. Поэтому в чистом виде она применяется сравнительно редко, а более распространёнными материалами являются медные сплавы. Они обладают более высокими механическими свойствами, в том числе и пластичностью. Благодаря хорошей электрической проводимости, теплопроводности, коррозионной стойкости, хладостойкости медные сплавы в ряде случаев незаменимы в электротехнических установках, аппаратах криогенной техники, теплообменных устройствах, электронно-лучевых и плазменных печах.

Медные сплавы подразделяют на *бронзы* и *латуни*.

Бронзы в свою очередь делят на *оловянные* и *безоловянные*. *Латуни* представляют собой сплавы меди с цинком или многокомпонентные системы с добавками алюминия, кремния, марганца, никеля, железа, свинца.

Медные сплавы обозначают буквами и цифрами, непосредственно определяющими наименование сплава и его химический состав. Так, оловянные литейные бронзы обозначают следующим образом: БрО5Ц5С5, где Бр – бронза, содержащая олово (О), цинк (Ц) и свинец (С), а цифры показывают среднее содержание этих элементов в процентах. Таким же образом обозначают и безоловянные бронзы.

2.4.5. Алюминиевые сплавы. Алюминиевые сплавы широко применяют в авиационной, автомобильной, тракторной и в других отраслях промышленности. Эти сплавы обладают высокой прочностью, хорошими литейными свойствами, коррозионной стойкостью, теплопроводностью и электрической проводимостью.

Алюминиевые сплавы не имеют единой системы маркировки. В большинстве марок первая буква А указывает на принадлежность к металлу-основе (алюминиевый сплав), вторая буква Л обозначает, что сплав литейный; за буквами стоят цифры, обозначающие нумерацию сплава, обычно не связанную ни с его химическим составом, ни с его свойствами. Так, АЛ2, АЛ4, АЛ9 и др. (А – алюминиевый сплав, Л – литейный, номер 4).

Другую группу алюминиевых сплавов обозначают буквами и цифрами, непосредственно определяющими наименование сплава и его химический состав. Например, АК7М2 (алюминиевый сплав, содержащий 7 % кремния и 2 % меди).

2.4.6. *Магниеые сплавы.* В качестве конструкционного материала магниевые сплавы выгодны тем, что они при достаточно высокой плотности в 4,5 раза легче железа и в 1,6 раза легче алюминия. По своей удельной прочности они превосходят некоторые конструкционные стали, чугуны и алюминиевые сплавы, обладают хорошей демпфирующей способностью, что очень важно, например, для авиации и других видов транспорта.

Магниевые сплавы обозначают буквами, указывающими на принадлежность к основному металлу (М – магний) и назначение сплава (Л – литейный). За буквами стоят цифры, которые обозначают нумерацию сплава, обычно не связанную ни с его химическим составом, ни с его свойствами.

Сплавы системы Mg – Al – Zn (МЛЗ, МЛ4, МЛ5, МЛ6), за исключением марки МЛЗ, относятся к числу высокопрочных. Они предназначены для изготовления высоконагруженных деталей, работающих в атмосфере повышенной влажности. Сплав МЛЗ предпочтителен для изготовления деталей, работающих в условиях средних статических и динамических нагрузок. МЛ4 используют для повышенно нагруженных деталей, кроме того этот сплав имеет высокую коррозионную стойкость. Сплав МЛЗ применяют для нагруженных деталей, работающих в условиях вибрации и ударов.

Сплавы системы Mg – Zn – Zr (МЛ8, МЛ 12, МЛ 15) также относятся к числу высокопрочных. При этом отличаются от других магниевых сплавов повышенными механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью резанием. Используются для деталей, работающих при температуре 200 – 250 °С и высоких нагрузках.

Сплавы, легированные редкоземельными элементами (МЛ9, МЛ 10, МЛН, МЛ 19), обладают высокой жаропроч-

ностью и хорошей коррозионной стойкостью. Они предназначены для длительной работы при 250 – 350 °С и кратковременной – при 400 °С; детали могут надёжно работать при одновременном воздействии статических и усталостных нагрузок.

2.4.7. Сплавы на основе никеля, титана, ниобия.

Никелевые сплавы подразделяют на жаропрочные, жаростойкие, коррозионностойкие и специальные (с особыми физическими свойствами).

К *жаропрочным* относятся сплавы серий ЖС и ВЖЛ (ЖСЗ, ЖС6, ЖС6К, ЖС6У, ВЖЛ 12 и др.), которые способны стабильно работать при температуре до 1100 °С. Из этих сплавов отливают рабочие лопатки, диски и камеры сгорания газотурбинных двигателей.

Кроме хрома, алюминия и титана жаропрочные сплавы на никелевой основе содержат ещё 6 – 8 легирующих элементов, способствующих повышению жаропрочности, коррозионной и эрозионной стойкости сплавов.

Жаростойкие сплавы, как правило, имеют двухкомпонентную основу Ni + Cr . Сплавы никеля с хромом получили название *нихромов*. К ним относятся Х10Н90, Х20Н80, ХЗОН70, Х40Н60, Х50Н50 и др. Их нихромов отливают детали печного оборудования, а также изготавливают нагревательные элементы.

Сплав НМЖМц 28–2,5–1,5 получил название «монель». Он обладает высокими коррозионными свойствами и соответственно применяется в нефтяной промышленности, в химическом машиностроении и судостроении. Кремнистая монель обладает высокой износостойкостью.

Никель-кремниевые сплавы, содержащие около 40 % Мо и 5 % Fe, стойки в соляной кислоте любой концентрации при высоких температурах.

Хорошей коррозионной и антифрикционной стойкостью в ряде агрессивных сред обладают детали, изготовленные из сплавов никеля с алюминием, бериллием и титаном.

2.4.8. Титановые сплавы. Эти сплавы имеют совокупность свойств, которые выгодно выделяют их из остальных сплавов. По прочности они не уступают сталям. Детали из титановых сплавов, имея одинаковую массу, по сравнению с деталями из других конструкционных материалов примерно в два раза прочнее. С увеличением температуры это различие существенно возрастает. Этот показатель очень важен для таких отраслей техники, как авиация, ракетостроение, космонавтика.

Титановые сплавы также отличаются высокой химической стойкостью при температуре до 500 °С. Во влажном воздухе, морской воде, азотной кислоте они противостоят коррозии не хуже, чем высоколегированные коррозионно-стойкие стали, а в соляной кислоте – во много раз лучше.

2.4.9. Ниобиевые сплавы. Применяются в основном для деталей турбин, работающих при температуре 1100–1400 °С. Жаропрочность и жаростойкость ниобиевых сплавов выше, чем любых других известных сплавов.

Ниобий не взаимодействует с расплавленным натрием и висмутом, которые применяются в качестве теплоносителей в ядерных реакторах, не образует хрупких соединений с ураном, имеет малое сечение захвата тепловых нейтронов. Эти качества ниобия позволяют применять его для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) в ядерной энергетике.

Наиболее существенно повышают прочность и жаростойкость ниобиевых сплавов цирконий, гафний, вольфрам, ванадий.

Известны сплавы ниобия с железом, хромом, титаном, алюминием, бериллием, кобальтом, никелем, кремнием и другими элементами. Каждый из сплавов обладает той или иной особенностью. Так, сплав, содержащий 5 – 35 % Сг и 5 – 30 % Т1, при температуре 1000 °С имеет наибольшую окалиностойкость. Временное сопротивление этого сплава при 20 °С составляет 1650 МПа, а при 1300 °С – 740 МПа. Наибольшей жаропрочностью отличаются сплавы ниобия, содержащие 15 % W, 5 % Мо, 1 % Zr и 5 % Ti.

2.4.10. Сплавы на основе цинка, олова, свинца. Основными легирующими элементами *цинковых сплавов* являются алюминий, медь и магний. Алюминий повышает механические и литейные свойства, медь – прочностные и антифрикционные свойства, а также коррозионную стойкость, одновременно снижая пластичность сплава. Магний повышает твёрдость сплава, но содержание магния не должно превышать 0,1 %. К числу наиболее вредных примесей относятся олово, свинец и кадмий. Даже тысячные доли процента этих элементов приводят к межкристаллитной коррозии и саморазрушению отливок без нагрузки. Железо и кремний резко ухудшают обрабатываемость и повышают хрупкость цинковых сплавов.

Цинковые сплавы используют в автомобиле-, приборе- и тракторостроении, в электротехнике и бытовой технике. Эти сплавы также заменяют оловянные бронзы при изготовлении подшипников, работающих при малых скоростях и высоком давлении (до 20 МПа).

Оловянные сплавы в основном применяют в качестве антифрикционных материалов (*баббиты*) для изготовления подшипников скольжения.

Применяемые в промышленности *свинцовые сплавы* делят на три группы: антифрикционные, типографские и припои.

2.5. Механические свойства металлов и сплавов

2.5.1. *Качественные показатели прочности.* Применение конструкционных материалов постоянно сопряжено с разработкой инструментария, как для предварительных технико-экономических расчётов, так и для окончательной оценки полученных результатов.

Соответственно, все качественные характеристики материалов должны быть представленными числовыми показателями и параметрами. Например, в практике машиностроения широко представлены понятия, отражающие свойства обрабатываемых материалов. Основными из этих свойств являются следующие свойства.

1) *Прочность*, то есть свойство материала сопротивляться разрушению под действием внешней деформирующей силы.

2) *Хрупкость* – свойство материала разрушаться без заметной пластической деформации.

3) *Вязкость* – свойство материала поглощать в заметных количествах, не разрушаясь, механическую энергию в необратимой форме.

4) *Твердость* – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого тела, не получающего остаточных деформаций.

5) *Ползучесть* – свойство материала медленно и непрерывно пластически деформироваться («ползти») при постоянном напряжении.

6) *Текучесть* – свойство некоторых материалов за пределами упругости пластически деформироваться при постоянном или незначительно меняющемся напряжении.

7) *Выносливость* – свойство материала выдерживать, не разрушаясь, повторно-переменные напряжения.

8) *Усталость* – постепенное разрушение материала при большом числе повторно-переменных напряжений.

В указанном перечне *прочность* является основным решающим свойством материала, и по сравнению с другими свойствами в лабораторных условиях её исследуют в первую очередь.

Хрупкость, вязкость и текучесть характеризуют работоспособность материала при динамических нагрузках.

Сведения о *выносливости* и *усталостные* характеристики необходимы для оценок поведения материалов при повторно-переменных нагрузках.

Сведения о *твёрдости* и *ползучести* материала могут понадобиться лишь в специальных случаях.

Любое свойство материала является качественной сопоставительной характеристикой, а для инженерной практики требуются конкретные исчисляемые параметры.

2.5.2. *Количественные показатели прочности.* В основе перехода от *качественных* характеристик к *количественным* (исчисляемым) показателям, всегда лежит предварительное формирование условий, предпосылок и нормирующих единиц, достаточных для сравнения и отсчёта.

В случае внешнего силового воздействия на конструкционный материал необходимо заранее знать степень его способности противостоять этому воздействию. Противостояние материала сопровождается появлением в нём *деформации* и *напряжений*. Под *напряжением* понимают сопротивление материала деформированию. Условно напряжение представляют в виде проявляющихся в материале рассредоточенных элементарных сил, суммарный вектор которых равен вектору внешней деформирующей силы. Соответственно, средством для перехода от качественных характеристик прочности к количественным её показателям является создание математической модели, способной установить связь между

внешним силовым воздействием и сопротивлением материала этому воздействию.

Процесс создания математической модели физического процесса всегда имеет ряд этапов:

а) предварительное формирование исходных условий и предпосылок;

б) аналитический анализ;

в) выбор нормирующих единиц измерения, достаточных для сравнений и расчета;

г) логико-вероятностное составление конструктивной схемы испытательного стенда для экспериментальных проверок;

д) создание испытательного стенда;

е) проведение экспериментального исследования и обработка результатов исследования;

ж) последующая экспериментальная проверка степени пригодности сформированной математической модели для инженерных расчётов.

В соответствии с перечнем указанных этапов в своё время было установлено, что для получения численных показателей механической прочности конструкционных материалов надо вести испытания на растяжение (сжатие) образцов, изготовленных из испытываемых материалов, прикладывая измеряемую, а потому – известную возрастающую величину деформирующей силы и доводя образец до разрушения. В этих условиях под воздействием внешней деформирующей силы в материале возникают исчисляемые значения *деформации* и *напряжения*.

2.5.2.1. Деформация – изменение формы или размеров тела (или его части), обусловленное изменением относительно положения частиц тела в результате их перемещения. Изменяются межатомные расстояния и перегруппировываются блоки молекул и зерен.

В общем случае материал деформируется под действием механических сил, электрического и магнитного полей, из-за изменения температуры, усадки материала.

Деформация называется *упругой*, если она исчезает после удаления вызвавшей ее нагрузки, и *пластической*, если она после снятия нагрузки не исчезает.

Как *упругую*, так и *пластическую* деформацию можно свести, в конечном счете, к двум наиболее простым видам:

1) *растяжение* (или *сжатие*), то есть деформация, при которой удлиняется (или укорачивается) тело вдоль какой-либо оси;

2) *сдвиг*, то есть деформация, при которой искажаются углы между осями (направлениями перемещений).

Для тел, имеющих форму бруса, в теории сопротивления материалов различают 4 основных *вида* деформации: *растяжение* (или *сжатие*); *сдвиг*; *изгиб*; *кручение*.

Численные значения деформации находят в результате измерений конкретных геометрических параметров испытываемых образцов, подвергаемых испытаниям, назначаемых для определения *механических свойств* материалов. При этом различают:

а) *абсолютную* деформацию, представляющую собой величину, например, фактического удлинения (или укорочения) Δl исследуемого размера l_0 ;

б) *относительную* деформацию δ в виде отношения

$$\delta = \Delta l / l_0; \quad (1.1)$$

в) *истинную относительную* деформацию ε , исчисляемую в каждый текущий момент времени по уравнению

$$d\varepsilon = dl / l, \quad (1.2)$$

где дифференциал dl представляет собой бесконечно малую величину абсолютной деформации, возникающей в каждый момент времени деформирования.

Конечную величину ε находят интегрированием уравнения (1.2) в пределах изменения размера l , а именно: в диапазоне от конечной (увеличившейся) длины l_K до начальной длины l_0 :

$$\varepsilon = \ln(l_K / l_0). \quad (1.3)$$

Связь между относительной δ и истинной относительной ε деформациями имеет вид

$$\varepsilon = \ln(1 + \delta). \quad (1.4)$$

Из уравнения (1.4) следует, что численный результат расчета по уравнениям (1.1) и (1.3) практически одинаков только в случаях, когда $\delta \leq 0,1$. Кроме того, удобство использования истинной относительной степени деформации ε в кривых упрочнения заключается в том, что она обладает свойством *аддитивности* (это свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин его частей при любой разбивке объекта на части). В свою очередь, истинные относительные деформации, выраженные через изменения линейных размеров, при растяжении и сжатии являются эквивалентными по упрочняющему эффекту.

2.5.2.2. *Напряжение*, возникающее в материале, условно представляют в виде некоторого силового поля, рассредоточенного в деформируемом материале. Это силовое поле создаёт противодействие внешней деформирующей силе. Силовое поле охватывает каждую единицу площади поперечного (или продольного) сечения деформируемого материала. При этом имеется в виду, что упоминаемое сечение расположено

перпендикулярно (или продольно) к направлению внешней деформирующей силы P , измеряемой в процессе испытаний.

Для расчётов принимают условие, что в каждый момент времени интегральная сила, предопределяемая напряжениями материала, равна величине внешней деформирующей силы. То есть руководствуются *третьим законом Ньютона* о равенстве действия и противодействия между двумя телами.

Возникающая в деформируемом материале пластическая деформация в реальности распределена по объему материала неравномерно. Соответственно, неравномерно распределяется и напряжение. Математически корректно учесть эту неравномерность не представляется возможным. Поэтому при составлении модели деформирования условно считают, что любой бесконечно малый в виде кубика объем материала, взятый в очаге деформации, при произвольной ориентации относительно координатных осей имеет на своих гранях нормальные (перпендикулярные к граням) напряжения σ и касательные (лежащие в плоскости граней) напряжения τ .

Когда направления нормальных напряжений σ совпадают с направлением внешней деформирующей силы, нормальные напряжения получают свое максимальное значение и считаются главными, а касательные напряжения исчезают. То есть складываются условия для разрушения материала (отрыв). И наоборот, когда касательные напряжения совпадают с направлением деформирующей силы, они считаются главными, а исчезают нормальные напряжения σ . Здесь создаются условия для чистого сдвига в толще материала.

При формировании технологических процессов часто математический анализ поведения материала обрабатываемого тела ведут, пользуясь прямоугольной системой координат X , Y , Z . При этом в общем случае считают, что в материале деформируемого тела всегда возникают, например, нормальные напряжения, действующие вдоль каждой из осей координат.

Но все тела по соотношениям своих геометрических размеров подразделяются на три группы:

1) объёмные тела со значительными габаритными размерами относительно каждой из координатных осей;

2) плоские тела типа листов и полос;

3) осесимметричные тела типа прутков малых поперечных сечений.

Соответственно считают, что для первой группы тел характерной является объёмная схема напряжений; для второй группы схема напряжений плоская, так как утонением листов чаще всего можно пренебречь; для третьей группы – осевая (линейная), если уменьшением диаметра в процессе деформирования можно пренебречь:

Стандартные испытания материалов на прочность (по методу растяжения) ориентированы на линейную схему напряжений в материале испытываемого образца. То есть при испытаниях полагают, что направление главного нормального напряжения σ совпадает с направлением внешней деформирующей силы.

Этими испытаниями устанавливают следующие характеристики, которые дают возможность получить количественную оценку ранее перечисленным основным свойствам материалов.

1) *Предел прочности (временное сопротивление) σ_s* – напряжение при наибольшем силовом воздействии, предшествующим разрушению испытываемого образца. При этом наибольшим называют напряжение, при котором в материале растягиваемого образца начинает развиваться процесс шейкиобразования (в этот момент начинается переход от одноосного напряженного состояния к объёмному напряженному состоянию).

2) *Предел упругости σ_e* – напряжение, при котором остаточные деформации впервые достигают некоторой малой

величины, устанавливаемой техническими условиями на материал (обычно при удлинении образца на 0,002 % от l_0).

3). *Предел текучести σ_T* . Для ряда металлов и сплавов существует понятие о *физическом* пределе текучести, определяемом как наименьшее напряжение, при котором, несмотря на продолжающуюся пластическую деформацию испытываемого образца, не происходит заметное увеличение деформирующей силы. Но для очень большого числа металлов *понятие* о физическом пределе текучести *отсутствует*. Для таких металлов введено понятие о *техническом* (условном) пределе текучести, определяемом величиной напряжения, при котором остаточная деформация образца достигает некоторой величины, устанавливаемой *техническими условиями*. Наиболее распространенным в технике условием является выбор напряжения, соответствующего увеличению базовой длины образца l_0 на 0,2 %.

4) *Предел ползучести* – напряжение, при котором деформация через определенные промежутки времени от начала ползучести получает весьма малые значения, определяемые техническими условиями.

Анализ смыслового содержания всех упомянутых формулировок о численных величинах основополагающих напряжений показывает, что все эти величины условны, так как все они сформированы с учётом вполне конкретных исходных условий.

При этом следует иметь в виду, что началом отсчёта во всех известных системах измерения являются условные величины и понятия (метр, секунда, ангстрем, вольт, ампер и т.д.).

2.5.2.3. *Связь между напряжениями σ и τ* . Между нормальными и касательными напряжениями установлена математическая связь [6,7]. Эта связь положена в основу сформированного условия пластичности (гипотеза Сен-Венана – Треска). Суть гипотезы в следующем: под действием внеш-

ней деформирующей силы материал начинает переходить в пластическое состояние, когда одно из главных касательных напряжений получает максимальное значение, равное половине предела текучести, найденного при испытаниях на растяжение. То есть

$$\tau = 0,5\sigma_T. \quad (1.5)$$

По мере роста степени деформации в процессе испытаний образцов на растяжение начинает нарушаться условие о линейной (одноосной) схеме напряженного состояния.

Для того, чтобы учитывать конкретную схему напряженного состояния, зависимость (1.5) скорректирована, а именно: по условию Мизеса – Губера в эту зависимость введен коэффициент Лодэ β учитывающий возможное наличие как плоской, так и объемной схем напряженного состояния:

$$\tau = 0,5\beta\sigma_T. \quad (1.6)$$

Коэффициент β находится в диапазоне

$$1,0 \leq \beta \leq 1,15. \quad (1.7)$$

В результате при линейной схеме напряженного состояния, когда ещё не наблюдается существенного утонения базового участка растягиваемого образца, $\beta = 1,0$; а при объемной схеме, когда на утоняющемся базовом участке образца появляется утонение в виде шейки, – $\beta = 1,15$.

Так как наиболее реальным считается существование объемной схемы напряженного состояния материала, то с учетом зависимостей (1.6) и (1.7) зависимость (1.5) получает вид

$$\tau = 0,57\sigma_T. \quad (1.8)$$

2.5.2.4. *Связь между прочностью и твердостью.* Твердость материала определяют по результатам вдавливания в его поверхность специального инструментального тела в виде шарика заданного диаметра или пирамиды, рабочим элементом которой является её вершина.

В процессе вдавливания измеряют величину деформирующей силы прибора (твердомера), которую затем сопоставляют с характерными последеформационными геометрическими параметрами очага деформации. Результатом сопоставления является конкретное число с размерностью напряжения. В зависимости от шкалы твердомера, получаемые численные значения твердости сопровождают наименованием шкалы (твердость по Бринеллю, Роквеллу, Шору и др.).

Так как природа прочности и твердости материалов едина, то экспериментально установлены соотношения между этими величинами. Эти соотношения являются справочными данными. Например, при сопоставлении ряда характеристик углеродистых сталей обычно принимаемой за эталон сталь Ст. 45. У этой стали предел прочности $\sigma_{\sigma} = 650$ МПа при твердости $НВ \leq 179$. Соответственно $\sigma_{\sigma} \cong 3,6$ НВ.

2.5.2.5. *Диаграмма «напряжение – деформация».* Численные показатели механической прочности конструкционных материалов определяют преимущественно на основе испытания лабораторных *образцов* материала на растяжение.

Конструктивно испытываемый образец чаще всего представляет собой цилиндрическое тело с утолщёнными законцовками, предназначенными для прикладывания к образцу внешней деформирующей силы. Срединная рабочая часть образца диаметром до 10 мм в соответствии со стандартом обычно имеет длину $l = 5,65\sqrt{F}$. Здесь F – площадь поперечного сечения образца. Отклонение по диаметру базовой рабочей части образца не должно превышать $\pm 0,1$ мм.

Чтобы в процессе деформирования исключить влияние инерционных сил на величину сопротивления материала, скорость приложения внешней деформирующей силы ограничивают до $(2 \div 10)$ мм/мин.

При испытаниях принимают условие, что образец в процессе растяжения находится в одноосном напряженном состоянии вплоть до момента, когда по мере удлинения начинается шейкообразование на испытываемом образце.

Автоматически записываемая графическая зависимость между деформирующей силой P и абсолютной деформацией Δl образца представляет собой *кривую растяжения*. Эта кривая является характеристикой прочности испытываемого образца из конкретного материала. Для того, чтобы перейти от показателей прочности конкретного образца к показателям прочности самого материала, кривую растяжения перестраивают в координаты относительных напряжений ($\sigma = P / F_0$) и относительных деформаций ($\delta = \Delta l / l_0$). Здесь F_0 – площадь начального поперечного сечения образца. l_0 — начальная длина базовой части испытываемого образца.

Перестроенная таким образом кривая получила название *кривая упрочнения* материала, исследуемого на механическую прочность.

Так как на практике часто при силовом воздействии на материал имеет место очень большой объем пластической деформации, то для корректности последующих расчётов кривую упрочнения перестраивают в координаты «условное напряжение - истинная относительная деформация», то есть « $\sigma - \varepsilon$ ».

2.5.2.6. Сущность упрочнения. Действие внешней деформирующей силы приводит в движение мельчайшие частицы во всём объёме деформируемого объекта, приводя их к скольжению в нескольких плоскостях. Как правило, скольжение сопровождается двойникованием, то есть образованием

закономерных сростков кристаллов. В этих сростках какая-либо важная грань одного кристалла, называемая двойниковой плоскостью, накладывается на такую же грань другого кристалла.

Двойникование происходит при статическом деформировании и сравнительно чаще – при деформировании ударом. Оно сопутствует деформации скольжения и в ряде случаев способно влиять на величину силы, необходимой для деформирования.

Есть специальная теория дислокаций, то есть перемещения в плоскости скольжения отдельных несовершенств пространственной кристаллической решетки. Предметами внимания этой теории являются краевые и винтовые дислокации, перемещение дислокаций, их возникновение и размножение, скорость движения и взаимодействие и т.д.

Под действием скольжения и двойникования возникающие в материале напряжения несколько возрастают. Эффект этого роста получил название *упрочнение материала*, которое основывается на нарушении естественного взаимного расположения атомов в кристаллической решетке материала, на изменении межатомных расстояний, увеличении плотности дислокаций.

Энергия, затрачиваемая на деформирование, частично аккумулируется в кристалле в виде потенциальной энергии и частично выделяется в виде тепла. Таким образом, вблизи плоскости скольжения, то есть вблизи пачки атомных слоев, принимающих участие в сдвиге при скольжении или двойниковании, атомы отклоняются от положения своего устойчивого равновесия и по окончании деформирования остаются в напряжённом, неустойчивом положении. Соответственно, с позиций дислокационной теории *пластическая деформация* представляет собой *эстафетное перемещение дислокаций* (несовершенств кристаллической решётки) в плоскости скольжения. Накопление дислокаций на различных направле-

ниях приводит к усилению их взаимодействия и сопровождается упрочнением монокристалла (*наклёпом*).

2.5.2.7. Математическая модель испытаний на прочность. Кривая упрочнения материала является основным, экспериментально получаемым источником сведений о прочности конструкционного материала. Наиболее важные показатели прочности в табличном виде представлены в справочной литературе, где указаны пределы прочности, текучести, упругости и другие параметры. То есть в справочниках представлены главнейшие (отправные) точки кривых упрочнения. В то же время в производственных условиях часто требуется иметь полную кривую упрочнения. Это объясняется уровнем жесткости требований, предъявляемым к служебной работоспособности изготавливаемых деталей. Так, исходя из эксплуатационных требований к деталям, все заготовки для изготавливаемых деталей разделены на четыре группы контроля.

Соответственно, все заготовки, входящие в *1-ю группу контроля*, должны иметь дополнительную массу с объёмом и конфигурацией, достаточными для изготовления стандартных образцов к испытаниям материала на прочность. Предприятие-потребитель самостоятельно вырезает из дополнительной массы образцы и экспериментально получает кривую упрочнения для своих нужд, связанных с технико-экономической оценкой изготавливаемой продукции.

Заготовки, входящие во *2-ю группу контроля*, поставляются малыми партиями (обычно $5 \div 10$ штук). Одна из заготовок этой партии имеет дополнительную массу для изготовления образцов к испытаниям на прочность, а проверке на твердость подвергается вся партия заготовок, так как показатель твёрдости является достаточным для идентификации прочности материала всех заготовок данной партии.

Заготовки *3-ей группы контроля* подвергаются только проверке на твердость, а для идентификации прочности исполь-

зуют справочные сведения о показателях прочности (в первую очередь имеются в виду предел прочности и предел текучести).

Заготовки *4-й группы контроля* проверяют только по наличию клейма и другим вспомогательным сопроводительным документам, подтверждающим марку материала.

Таким образом, у заготовок *3-ей и 4-й группы контроля* нет экспериментально полученных кривых упрочнения. Соответственно, нет сведений о величине напряжений, которые могут возникать в обрабатываемом материале заготовок в основном диапазоне деформаций (от предела текучести до предела прочности), но могут быть необходимыми для проектирования технологических процессов обработки.

Это отсутствие объясняется тем, что эксплуатационные требования к деталям, изготавливаемым из заготовок *3-ей и 4-й групп контроля*, допускают возможность пользоваться неполными усредненными справочными данными. Например, даны только численные значения основных прочностных показателей. В этом случае отсутствие в справочниках сведений о соотношении напряжений и соответствующих им деформаций в диапазоне между пределом текучести и пределом прочности компенсируют тем, что формируют посредством *аппроксимации* математическую модель кривой упрочнения.

Термин «*аппроксимация*» происходит от латинского «*approximo*», что означает – «приближаю».

В рассматриваемом случае сущность *аппроксимации* в том, что экспериментально получаемую кривую упрочнения заменяют такой теоретической кривой, которая имеет своё конкретное математическое описание и имеет форму графика очень близкую форме типовой экспериментальной кривой.

Очень близкой по форме к экспериментальной кривой упрочнения является кривая степенной зависимости типа

$$y = Bx^n. \quad (1.9)$$

Цель *аппроксимации* – установить прямую функциональную математическую связь между напряжением и деформацией.

Применительно к имеющимся обозначениям переменных параметров кривой упрочнения зависимость (1.9) принимает вид

$$\sigma = B\varepsilon^n \quad (1.10)$$

где величины B и n являются коэффициентами аппроксимации.

Коэффициенты аппроксимации представляется возможным вычислять на основании предварительного условия: две точки на экспериментальной и теоретической кривой являются общими. Такими точками берут имеющиеся в справочниках точку А с координатами предела текучести $[\sigma_T; \varepsilon_T]$ и точку Б – с координатами предела прочности $[\sigma_B; \varepsilon_B]$.

Указанные координаты являются местом расположения предела текучести (точка А) и предела прочности (точка Б) на кривой упрочнения.

Наличие координат двух точек даёт возможность на основе уравнения (1.10) получить систему, состоящую из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{aligned} \sigma_T &= B\varepsilon_T^n; \\ \sigma_B &= B\varepsilon_B^n. \end{aligned}$$

В соответствии с этим коэффициенты вычисляют по следующим уравнениям:

$$B = \sigma_T / \varepsilon_T^n; \quad (1.11)$$

$$n = [\ln(\sigma_B / \sigma_T)] / [\ln(\varepsilon_B / \varepsilon_T)]. \quad (1.12)$$

Тогда, вычислив для конкретного случая коэффициенты B и n , а также, располагая значением истинной относительной деформации ε , находят по уравнению (1.10) напряжения σ , возникающие в обрабатываемом материале под действием внешней деформирующей силы.

2.5.2.8. Напряжения, обусловленные высокоскоростным ударом. В ряде случаев конструкционный материал в процессе обработки, а также эксплуатируемые изготовленные детали подвергаются высокоскоростному удару. В машиностроении к такой категории удара относят случаи, при которых силовое взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом начинается при скоростях $5 \div 100$ м/с.

Практика показывает, что под действием высокоскоростного удара материал (металлы и сплавы) ведут себя иначе, чем при медленном (статическом) силовом взаимодействии. Возникающие в материале напряжения, противодействующие удару, резко изменяются: возрастают или падают. Это определяется физическими свойствами материала и ростом инерционных сил, сопутствующих как быстро перемещающемуся инструменту, так и покоящемуся деформируемому материалу.

Так как величина напряжений является показателем прочностных свойств деформируемого материала, то естественным стремлением была попытка выявить закономерности роста напряжений и установить числовые значения этих напряжений в зависимости от степени деформации, аналогично обычным испытаниям материалов по методу испытаний на растяжение. Однако результаты отечественных и зарубежных исследований [8] показали неприемлемость метода высокоскоростных испытаний на растяжение. Основным доводом явилась невозможность идентифицировать возникающей в процессе удара величину деформирующей (разрушающей) силы, так как предварительное статическое взвешивание си-

лы в процессе тарировки измерительной системы не учитывает инерционных сил., сопутствующих удару.

В то же время рациональный выбор *исходных условий и предпосылок* даёт возможность установить математическую зависимость между возникающим напряжением и степенью пластической деформации. При этом интенсивность удара следует оценивать удельной энергией, то есть количеством энергии, приходящимся на единицу пластически деформируемого объёма [9,10] в процессе свободной осадки испытываемого образца.

Исходные предпосылки и условия. 1). Накопленный практикой машиностроения опыт проверки и испытаний конструкционных материалов на их работоспособность [10] показывает, что для установления математической зависимости между напряжением и деформациями, возникающими под действием высокоскоростного удара, наиболее предпочтительным является процесс свободной осадки цилиндрических образцов со стандартными размерами диаметра d_0 и высоты h_0 . В этом случае представляется возможным:

а) принимать величину истинной относительной деформации $d\varepsilon$ в каждый момент деформирования как отношение бесконечно малой абсолютной деформации dh , к текущему значению высоты h :

$$d\varepsilon = dh / h,$$

а в течение всего процесса деформирования брать интегральное значение истинной относительной деформации:

$$\varepsilon = \ln(h_0 / h);$$

б) легко доступным способом измерять скорость v_0 подлёта инструмента к деформируемому образцу [11]. Это даёт возможность при известной наносящей удар массе M вычислять величину номинальной энергии удара $E = 0,5 M v_0^2$ и переходить к нормирующей единице в виде удельной энергии (то есть приходящейся на каждую единицу деформируемого объёма) $e_{y0} = E/V$, где V – объём испытываемого цилиндри-

ческого образца. Значимость понятия «удельная энергия» состоит в следующем:

– с одной стороны, эта относительная величина способна предопределить минимально необходимое количество вводимой энергии, достаточной для выявления предельной возможности деформируемого материала сопротивляться деформирующей силе удара;

– с другой стороны – удельная энергия физически связана с сопротивлением материала, которое предопределяется величиной напряжения σ_s , представляющим собой элементарный вектор и являющимся структурным элементом возникающего в материале силового поля, суммарный вектор которого эквивалентен внешней деформирующей силе P удара.

2) Весь объём упругих деформаций отнесен к элементам конструкции, которые передают силу удара, обрабатываемому объекту.

3) Весь объём пластических деформаций сосредоточен в материале деформируемого образца. Соответственно, образец рассматривается как идеальное жесткопластичное тело, имеющее напряжение σ_s , постоянное для каждой скорости v_0 удара.

4) Масса пластически деформируемого образца достаточно мала, и этой массой при аналитическом анализе можно пренебречь.

5) Образец подвергается двухстороннему удару верхней массы m_1 и нижней массы m_2 . Движение масс кинематически связано, и приведенная масса составляет:

$$M = m_1 m_2 / (m_1 + m_2). \quad (1-13)$$

6) Векторы скоростей v_1 и v_2 масс m_1 и m_2 совпадают с прямой, соединяющей центры тяжести этих масс, то есть реализуется центральный удар.

Уравнения движения рассматриваемых масс в соответствии со вторым законом Ньютона имеют вид:

$$m_1 (dv_1 / dt) = -P; \quad (1.14)$$

$$m_2 (dv_2 / dt) = -P, \quad (1.15)$$

где v_1 и v_2 – скорость первой и второй массы, соответственно.

Так как $v_1 + v_2 = v$; $v = dh / dt$; $P = \sigma_s f$, где v – мгновенная скорость, t – время, P – сила удара, σ_s – напряжение в материале, f – текущая площадь поперечного сечения образца, то при этом совместное решение уравнений движения приводит к уравнению деформирования:

$$v dv = (\sigma_s / M) V (dh / h). \quad (1.16)$$

Интегрирование полученного уравнения даёт закон гашения скорости удара в процессе пластического деформирования:

$$v = v_0 \sqrt{(1 - \sigma_s \varepsilon / e_{y0})}. \quad (1.17)$$

Найденное решение справедливо для холодного деформирования таких материалов, как чистое железо, медь, свинец, сталь с малым содержанием углерода, алюминиевые сплавы В96, АК6, некоторые титановые и другие сплавы. У перечисленных металлов и сплавов при динамическом нагружении широкому диапазону изменения степени деформации соответствует неизменная для каждой скорости удара величина сопротивления деформации (то есть возникающего в материале напряжения). Это и даёт основание считать, что высокоскоростным ударом деформируемый материал можно рассматривать как идеальное жестко пластичное тело.

К концу движения инструмента, когда $v = 0$, из уравнения (1.17) следует:

$$\sigma_s = e_{y0} / \varepsilon_m, \quad (1.18)$$

где ε_m — максимальная степень деформации, получаемая в конце удара:

$$\varepsilon_m = \ln(h_0 / h_k). \quad (1.19)$$

Здесь h_k — конечная высота образца после удара.

В результате, зная массу M , наносящую удар, скорость v_0 удара, геометрические размеры обрабатываемого образца и конечную величину степени деформации ε_m , представляется возможным определять максимальную силу P удара, возникающей в конце процесса:

$$P = \sigma_s f_v, \quad (1.20)$$

где f_v — площадь поперечного сечения осаженного образца.

Величина P необходима для проектирования работоспособной системы силовых элементов, которые по исходному условию должны работать исключительно в диапазоне упругой деформации.

2.6. Технологический процесс в машиностроении

2.6.1. *Общие сведения.* В машиностроительном производстве *технологический процесс* (англ. – manufacturing process) – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования, сборки.

Основной составной частью технологического процесса является *технологическая операция* (англ. – operation), выполняемая на одном рабочем месте. Она является структурной исходной единицей для расчёта времени и денежных затрат на технологический процесс в целом.

Параллельно существующее понятие «*технологический метод*» представляет собой *совокупность правил*, определяющих последовательность и содержание действий при выполнении формообразования, обработки или сборки, перемещения, включая технический контроль, испытания в технологическом процессе изготовления или ремонта, установленных безотносительно к наименованию, типоразмеру или исполнению изделия.

2.6.2. *Технологическая документация.* Технологический документ – это графический или текстовый документ, который отдельно или в совокупности с другими документами определяет технологический процесс или операцию изготовления детали.

Оформление технологического документа представляет собой комплекс процедур, необходимых для составления и подготовки технологического документа в соответствии с порядком, установленным на предприятии. К подготовке документа относится его подписание, согласование и т. д.

2.6.3. *Комплектность технологических документов.*

Комплект документов технологического процесса (операции) представляет собой совокупность технологических документов, необходимых и достаточных для выполнения технологического процесса (операции).

Комплект проектной технологической документации – это совокупность технологической документации для проектирования и реконструкции предприятия.

Стандартный комплект документов технологического процесса (операции) состоит из комплекта технологических документов, установленных в соответствии с требованиями стандартов государственной системы стандартизации.

2.6.4. *Степень детализации технологических процессов.*

Маршрутное описание технологического процесса представляет собой сокращенное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения, но без разделения операций на составные элементы (переходы) и без указания режимов обработки.

Режим обработки – это набор условий, при которых реализуется обработка. Основными параметрами, составляющими режим, например обработки резанием, являются глубина резания, то есть толщина срезаемого слоя за один приём; подача (перемещение) *инструмента*, например, за каждый оборот обрабатываемой детали; скорость резания, предопределяющая степень интенсивности ухода стружки из очага резания; принятый способ отвода тепла из очага резания и ряд других параметров

Маршрутно-операционное описание технологического процесса представляет собой сокращённое изложение технологических операций с сохранением их последовательности при полном описании отдельных операций.

2.6.5. *Влияние организации производства* на технологические процессы и операции. Технологические процессы по своему составу и глубине проработки отдельных элементов процесса существенно зависят от типа машиностроительного производства. Имеются в виду *массовое, серийное и единичное* производства.

Каждый тип машиностроительного производства имеет свои характерные особенности, определённым образом влияющие на проектируемый технологический процесс. Так, в *массовом производстве* за каждым станком постоянно закреплена только одна технологическая операция. Поэтому все составные части проектируемого технологического процесса прорабатывают очень подробно, и от рабочих, выполняющих каждую операцию, не требуется высокая квалификация. В свою очередь, оборудование в цехе располагают по ходу действий, указанных в технологическом процессе. Этим упрощается передача обрабатываемой детали от станка к станку. Складываются условия для организации *поточного* (непрерывного) производства. Длительность каждой операции, а также степень равномерной и полной загрузки станков обеспечивают технологическими приёмами, закладываемыми в проектируемый технологический процесс. Здесь имеют в виду кратность отрезка времени, затрачиваемого на каждую операцию, число станков на одну и ту же операцию и т.п.

Однако следует иметь в виду, что полностью загрузить большое количество станков обработкой одной детали можно только при достаточно большой программе выпуска продукции. Само собой разумеется, что программа должна быть устойчивой, то есть ориентированной на достаточно длительный период спроса продукции, по крайней мере достаточный для самоокупаемости затрат на организацию массового производства.

Одним из основных критериев массового производства является *такт выпуска* продукции.

Такт выпуска (англ. – production time) – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определённых наименования, типоразмера и исполнения.

Определённое значение имеет также *ритм выпуска* (англ. – production rate) – количество изделий или заготовок определённых наименований, типоразмеров и исполнения, выпускаемых в единицу времени.

В *серийном* производстве за каждым станком закреплено больше одной операции, а цех и каждый его участок заняты обработкой нескольких или многих деталей. Но программа выпуска каждой детали мала для того, чтобы организовывать поточное производство.

Подбирая номенклатуру деталей для каждого участка, стараются подобрать детали примерно одинаковых габаритных размеров со схожей конфигурацией (валы, зубчатые колёса, корпусные детали и т.д.), одинакового материала (сталь, алюминиевые сплавы, магниевые сплавы).

Однородность перечисленных характеристик предопределяет сходство технологических процессов. Это позволяет уменьшить разнообразие станков на участке и способствует возможности максимально загрузить станки.

Закрепление за станком нескольких технологических операций предопределяет неизбежность последующей переналадки, то есть замены технологической оснастки для того, чтобы перейти к обработке других деталей. Поэтому в *серийном* производстве детали обрабатывают партиями, то есть группами одноименных деталей. Выполнив одну операцию для партии деталей, станок переналаживают для выполнения очередной операции.

Чем разнообразнее технологические процессы, выполняемые на участке, тем труднее на участке расположить станки в наиболее выгодном порядке. Поэтому в серийном производстве чаще всего представляется целесообразным располагать станки в большем соответствии с последовательностью этапов технологического процесса (черновые операции, чистовые, окончательные).

В серийном производстве заняты рабочие главным образом средней квалификации.

По сравнению с массовым производством в серийном производстве увеличен объём так называемого *незавершённого* производства, то есть накапливаются детали, ждущие очередного передвижения к местам дальнейших этапов обработки. Соответственно, возрастает длительность производственного *цикла*,

Цикл технологической операции (англ. – operation cycle) – интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий.

Единичное производство характерно тем, что оно ориентировано на изготовление чрезвычайно широкой номенклатуры самых разнообразных деталей, каждая из которых выпускается единицами экземпляров. По этой причине все используемые средства производства отличаются повышенной универсальностью с применением рабочей силы высокой квалификации. За каждым станком закрепляется максимальное возможное количество технологических операций.

По принципу единичного производства организованы опытные цехи и заводы, находящиеся в непосредственном распоряжении опытно-конструкторских организаций, занятых созданием и разработкой новой продукции.

Наличие высококвалифицированной рабочей силы исключает необходимость подробной детализации, как технологических операций, так и технологического процесса в целом. То есть технологический процесс в ряде случаев достаточно представлять в виде сокращённого маршрутного описания всех действий, составляющих технологический процесс. Этим сокращается объём работы инженерно-технического персонала на составление технологической документации, а также в определённой мере компенсируются расходы, связанные с привлечением высококвалифицированной рабочей силы.

В свою очередь, независимо от типа машиностроительного производства, сформировались конкретные наименования технологических процессов.

Единичный технологический процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Групповой технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками

Типовая технологическая операция, характеризующаяся единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Групповая технологическая операция совместного изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

2.7. Технологическая система

2.7.1. *Структура технологической системы.* В общем случае *технологическая система* состоит из обрабатываемого и обрабатывающего начал, находящихся в *техническом окружении*, необходимом и достаточном для того, чтобы при вводе *энергии* реализовывался запланированный технологический процесс.

Структурными основными единицами технологической системы являются следующие её элементы.

Технологическое оборудование (англ. – manufacturing equipment) – средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также *технологическая оснастка*. Примерами технологического оборудования являются литейные машины, прессы, станки, печи, гальванические ванны, испытательные стенды и т.д.

Технологическая оснастка (англ.– tooling) – средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определённой части технологического процесса. В состав технологической оснастки входят режущий *инструмент* и *приспособления*.

Инструмент (англ. – tool) – технологическая оснастка, предназначенная для воздействия на предмет труда с целью изменения его состояния. Состояние предмета труда определяется при помощи меры и (или) измерительного прибора.

В свою очередь, различают *основной инструмент*, непосредственно взаимодействующий с обрабатываемым объектом (например, резец) и *вспомогательный инструмент* (например, оправка, несущая на себе этот резец и являющаяся связующим звеном между резцом и местом крепления этого резца на станке).

Приспособление (англ. – fixture) – технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета труда или инструмента при выполнении технологической операции. Фактически приспособление является устройством для расширения технологических возможностей применяемого оборудования.

Перечисленные структурные элементы показывают, что термин «*технологическая система*» по своей сути эквивалентен понятию «*вещественные факторы производительных сил*», используемому экономическими теориями при анализе процессов развития общественного производства.

В то же время в машиностроении вещественные факторы производительных сил часто называют *средствами технологического оснащения* (СТО). При этом имеют в виду, что в составе этих средств значатся только *технологическое оборудование, технологическая оснастка и средства механизации и автоматизации* реализуемого технологического процесса. Таким образом, инструмент и предмет труда не входят в состав СТО. Тем не менее, при выборе каждого из структурных составляющих системы СТО неизбежно учитывают основные факторы, относящиеся и к инструменту, и к предмету труда. Это следует из стандартных рекомендаций, касающихся выбора каждого их структурных составляющих системы СТО.

а) Выбирают *технологическое оборудование* на основании анализа подлежащих обработке поверхностей изготавливаемых деталей и перечня методов обработки, каждый из которых реально может быть использован в рассматриваемом случае. Выбор наиболее эффективного метода обработки определяют технико-экономические и эксплуатационные требования к изготавливаемой детали.

Оборудование должно обеспечивать высокопроизводительный процесс за счёт

- одновременной обработки несколькими инструментами;
- одновременной обработки одним инструментом нескольких деталей (или нескольких поверхностей);
- совмещения нескольких операций.

При этом действия, связанные с контролем геометрических параметров детали, с контролем станка и состоянием обрабатывающего инструмента, а также с коррекцией точности обработки и переналадкой станка стремятся по времени совместить с основным действием, а именно: обработкой поверхностей изготавливаемых деталей.

б) *Агрегатирование средств технологического оснащения.* При частой сменяемости изготавливаемой продукции (в среднесерийном и мелкосерийном производствах) необходима быстрая замена состава средств технологического оснащения. Быстрота замены и переналадки оснащения характеризуется понятием «гибкость производства».

Для сокращения времени па переналадку все элементы СТО проектируют и изготавливают, применяя принцип *агрегатирования*. То есть все элементы СТО изготавливают в виде унифицированных многоцелевых, и в ряде случаев, обратимых модулей

Принцип агрегатирования предполагает выполнение комплекса работ в последовательности:

- анализ планируемых технологических операций с целью выявить возможность применения известных типовых методов обработки;
- анализ объектов обработки, классификация их с выделением типовых представителей (например, поверхности плоские, криволинейные; детали - болты, гайки и т.д.);
- составление схем рабочих движений обработки и перемещения предметов труда;
- разделение конструкций СТО на элементы и узлы обратимой конструкции;

- установление необходимых условий связи между элементами и узлами по соответствующей компоновочной схеме;
- определение номенклатуры входящих в СТО деталей, узлов и агрегатов многократного применения;
- издание альбомов и каталогов деталей, узлов и агрегатов СТО.

Основным критерием целесообразности любых решений по агрегатированию СТО является технико-экономическая эффективность от их создания и практического применения.

в) Комплектуют *технологическую оснастку*, опираясь на предварительный анализ:

- характеристики изготавливаемых деталей (конструкция, размеры, материал, требуемые точность и качество);
- технологических и организационных условий изготовления детали (схема ориентации и закрепления детали в зоне обработки);
- оптимизации степени загрузки и интенсивности работы, как самой оснастки, так и используемого оборудования вплоть до условий для непрерывного труда;
- полного соответствия оснастки её целевому назначению и техническим характеристикам применяемого оборудования;
- способности оснастки обеспечивать интенсивность эксплуатации и полную загрузку станка.

В общем случае оснастка может быть выбрана из перечня имеющейся номенклатуры, либо оснастку следует спроектировать и изготовить вновь. Но всегда оснастка должна обеспечивать труд с высокой производительностью.

г) *Средства механизации.* Выбор этих средств ведут с учётом того, что *механизация* предполагает главным образом вытеснение ручного труда и замену его машинным трудом в тех звеньях, где он до сих пор остаётся как среди основных технологических операций, так и среди операций вспомогательных, зачастую отличающихся большой трудоёмкостью и наличием ручной работы. Механизация ведёт к сокращению производственного цикла, повышению производительности труда и к улучшению экономических показателей.

При выборе средств механизации учитывают

- плановые сроки и трудоемкость выпуска продукции;
- плановую продолжительность выпуска продукции;
- организационные формы производства в период освоения и выпуска продукции.

Выбор средств всегда сопровождается технико-экономическими расчётами затрат на производство в течение всего периода его реализации.

2.7.2. Роботизация оснастки. По мере развития техники на смену механизации отдельных технологических действий постоянно приходит автоматизация с целью повысить производительность труда и освободить оператора от тяжелых и утомительных операций. В первую очередь это коснулось массового производства, ориентированного на выпуск большого количества однородной продукции, где не требуется частых переналадок технологического оснащения. А в малосерийном и серийном производствах темп автоматизации заметно сдерживается из-за высокой стоимости, как самих разработок автоматизированных устройств, так и из-за длительности переналадки этих устройств на выпуск очередных партий другой продукции. Однако высокий темп

роста производительности станочного оборудования постоянно ставит вопрос о необходимости сокращать время на выполнение сопутствующих вспомогательных операций, характеризующихся для оператора трудоёмкостью, утомляемостью, плохими условиями труда. Автоматизированное устройство для вспомогательных операций получило название *робот*. Соответственно, в машиностроении возникла новая отрасль – *робототехника*.

Роботы, предназначенные для замены человека на опасных для здоровья, физически тяжёлых и утомительных ручных работах, получили название *промышленные роботы* (ПР). Первый ПР появился в США в 1961 году под названием «Рука Эрнста». В нашей стране первый ПР «Универсал-50» разработан в 1969 году.

В 1980 году общий парк ПР в мире составлял около 25 тыс. штук, а через 5 лет их стало в мире около 200 тыс. штук, что свидетельствует об уже тогда возникшей потребности быстрого роста производительности труда.

В зависимости от участия человека в процессе управления роботом выделяют группы *биотехнических* и *автономных (автоматических)* роботов [13, 14, 15].

К *биотехническим роботам* относятся дистанционно управляемые копирующие роботы; роботы, управляемые человеком с пульта управления, и полуавтоматические роботы.

Дистанционно управляемые копирующие роботы снабжены задающим органом (например, манипулятором, полностью идентичным исполнительному органу), средствами передачи сигналов прямой и обратной связи и средствами отображения информации для человека-оператора о среде, в которой функционирует робот.

Копирующие роботы выполняются в виде антропоморфных конструкций, обычно «надеваемых» на руки, ноги или корпус человека. Они служат для воспроизведения движений человека с некоторыми необходимыми усилиями и

имеют иногда несколько десятков степеней подвижности.

Роботы, управляемые человеком с пульта, снабжаются системой рукояток, клавиш или кнопок, связанными с исполнительными механизмами, соответствующими каналами по различным обобщённым координатам. На пульте управления устанавливаются средства отображения информации о среде функционирования робота, в том числе и поступающей к человеку по радиоканалу связи.

Полуавтоматический робот характеризуется сочетанием ручного и автоматического управления. Он снабжён супервизорным управлением для вмешательства человека в процесс автономного функционирования робота путём сообщения ему дополнительной информации (указание цели, последовательности действий и т.д.).

Роботы с автономным (или автоматическим) *управлением* обычно подразделяют на производственные и научно-исследовательские роботы, которые после создания и наладки в принципе способны функционировать без участия человека.

По областям применения производственные роботы подразделяют на промышленные, транспортные, строительные, бытовые и т.п.

В зависимости от элементной базы, структуры, функций и служебного назначения роботы подразделяют на три поколения.

1) *Роботы первого поколения* (программные роботы) имеют жёсткую программу действий и характеризуются наличием элементарной обратной связи с окружающей средой, что вызывает определённые ограничения в их применении.

2) *Роботы второго поколения* (очувствленные роботы) обладают координацией движения с восприятием. Они пригодны для малоквалифицированного труда при изготовлении изделий.

Программа движений робота требует для своей реализации управляющей ЭВМ. Неотъемлемая часть робота второго поколения – наличие алгоритмического и программного обеспечения, предназначенного для обработки сенсорной информации и выработки управляющих воздействий.

3) *Роботы третьего поколения* – это роботы с искусственным интеллектом. Они создают условия для полной замены человека в области квалифицированного труда, обладают способностью к обучению и адаптации в процессе решения производственных задач. Эти роботы способны понимать язык и вести диалог с человеком, формировать в себе модель внешней среды с той или иной степенью детализации, распознавать и анализировать сложные ситуации, формировать понятия, планировать поведение, строить программные движения исполнительской системы и осуществлять их надёжную отработку.

Появление роботов различных поколений не означает, что они последовательно приходят на смену друг друга. Исходя из технико-экономических соображений роботы всех поколений находят свою так называемую «социальную» нишу, применительно к которой робот подвергается совершенствованию его функциональных назначений.

2.7.3. *Техническое окружение.* Опыт машиностроения и анализ многочисленных технологических процессов показывает, что, как понятие СТО, так и понятие «технологическая система», будучи вещественным фактором, не являются исчерпывающими, так как не отражают необходимость учитывать целый ряд явлений, без учёта которых технологический процесс не может состояться. По этой причине наряду с понятием «технологическая система» применяется более общее понятие «техническое окружение», которое рассматривается как своеобразная инфраструктура технологического процесса. Она в присутствии материальных веществ и

предметов в полной мере проявляется ещё и определённым свойством материального мира: силовым полем, магнетизмом, температурой, интервалом времени, положительным или отрицательным катализатором и другими свойствами материи [12]. В результате структурные вещественные элементы, входящие в состав технического окружения (технологическое оборудование, технологическая оснастка, инструмент, приспособления), должны быть способными проявлять определенные явления или иные свойства материи, необходимые для достижения намеченной цели, а именно: для реализации запланированного технологического процесса. Так, для магнитно-импульсной штамповки комплект технического окружения должен располагать условиями для возникновения вихревых токов достаточной интенсивности, то есть высокой электропроводностью заготовки. Если электропроводность мала, то на поверхность заготовки со стороны индуктора укладывают тонкий слой металла с высокой электропроводностью (алюминий или медь). То есть вводят в техническое окружение дополнительный элемент, способный вызвать дополнительное свойство материи, нужное для реализации проектируемого технологического процесса.

2.7.4. Отладка и настройка технологической системы. Присутствие в технологической системе упомянутых явлений и иных свойств материи представляется возможным рассматривать как *внутренние технологии* формируемого технического окружения.

Опробование спроектированных технологических процессов, для реализации, которых требуется определённое техническое окружение, всегда связано с необходимой наладкой внутренних технологий. На примере термоимпульсного удаления заусенцев это выглядит следующим образом,

Заусенцы образуются на пересечениях поверхностей в процессе механической обработки деталей.

Сущность прогрессивного процесса термоимпульсного удаления заусенцев состоит в том, что деталь с заусенцами помещают в герметизируемую камеру и сжигают там заряд горючей газовой смеси. Возникающий фронт пламени, оmyвая деталь, сжигает заусенцы. Особенность этого технологического процесса в том, что горючая смесь, как правило, сгорает быстрее, чем успевают разогреться заусенцы до температуры своего воспламенения. Эта особенность – временной период несоответствия скоростей — указывает на недостаточность технического окружения для реализации термоимпульсного процесса. Практическая применимость этого процесса обеспечена внесением в техническое окружение дополнительного элемента в виде отрицательного катализатора, способного сдерживать темп горения топливной смеси на время, достаточное для разогрева и сжигания заусенцев. Таким катализатором является дополнительно вводимый в камеру азот. Взамен азота сдерживать темп горения топлива представляется возможным за счёт дозированного сброса давления, нарастающего в камере по мере горения топливного заряда. Тогда технологическую систему надо дополнить устройством для дозированного сброса давления.

2.7.5. Влияние технологической системы на технологический процесс. Технологическую систему формируют для реализации конкретного *технологического процесса*.

В общем случае *технологический процесс* представляет собой набор способов и действий, результатом которых является получаемая продукция. В свою очередь, получаемую продукцию оценивают по ряду показателей. Основными из них являются *себестоимость, производительность труда*

и ряд эксплуатационных показателей (точность, качество, надёжность, степень полезного использования вводимой энергии, конкурентная способность).

2.7.5.1. *Себестоимость* оценивают по объёму расходов (в денежном выражении), приходящихся на каждую единицу продукции. На первичном этапе расчёта себестоимости берут во внимание так называемую *технологическую* себестоимость, учитывающую только минимально необходимые расходы на производство без каких-либо неизбежных впоследствии начислений на стоимость продукции. В таком случае структурными основными элементами для расчета технологической себестоимости (С) являются следующие расходы на единицу продукции:

- расходы М на материал для изготовления продукции;
- заработная плата З основному рабочему;
- стоимость И инструмента и необходимых приспособлений к нему;
- отчисления А от применяемого оборудования, отнесенные к единице продукции;
- стоимость Э энергии, израсходованной на единицу продукции;
- отчисления П от стоимости производственной площади, необходимой для создания продукции.

То есть себестоимость С является суммой перечисленных расходов:

$$C = M + Z + I + A + E + P.$$

Основной рабочий и производственная площадь не входят в перечень структурных элементов технологической системы, но являются необходимым условием для реализации технологического процесса.

В настоящее время современное машиностроение располагает широким ассортиментом инструмента, технологического оборудования и видов применяемой энергии. От выбора этих структурных элементов технологической системы зависит выбор квалификации основного рабочего (влияние на параметр З) и размеры требуемой производственной площади (показатель П), что в свою очередь предопределяется типоразмером требуемого технологического оборудования (показатель А). Таким образом формированием технологической системы оказывают существенное влияние на себестоимость С изготавливаемой продукции В свою очередь, несколько вариантов технологической системы, отличающихся типами и типоразмерами структурных элементов, для получения одной и той же продукции могут обеспечивать одинаковую себестоимость этой продукции. В этом случае предпочтение отдают тому варианту технологической системы, который сопровождается более высокой *производительностью труда*.

2.7.5.2. *Точность и качество* получаемой продукции. В общем случае под *точностью* понимают степень соответствия изготовленной продукции тем условиям и требованиям, которые изложены в документации на изготовление этой продукции. В практике машиностроения степень такого соответствия используется в качестве критерия для оценки уровня *технологической дисциплины* на предприятиях (наряду с *административной дисциплиной* и *ответственностью*).

По мере необходимости понятие *точность* конкретизируют и указывают, например, точность геометрической формы, точность геометрических размеров, точность взаимного расположения обработанных поверхностей и т.д.

Диапазон требований, охватываемых понятием *качество*

обработки, достаточно широкий и многообразный. Например, при обработке металлов резанием из-за силового воздействия инструмента на обработанной поверхности детали остаются следы инструмента в виде микронеровностей — *шероховатость*. Высота шероховатости зависит от инструмента и параметров способа резания. По этой высоте судят о качестве обработанной поверхности.

К качеству обработки относят и появления наклепа (то есть повышенной твёрдости на некоторую глубину в тело детали вдоль под обработанной поверхностью), также являющегося следствием силового воздействия инструмента на обработанную поверхность. Величину наклёпа устанавливают, измеряя твёрдость обработанной поверхности.

В машиностроении очень часто все точностные и качественные показатели получаемой продукции характеризуют единым общим понятием *качество* продукции. Широко распространенные в производстве приёмы контроля качества направлены на то, чтобы тиражируемые объекты производства были бы между собой идентичными по основным эксплуатационным параметрам и характеристикам. Систематическая бурная созидательная деятельность человечества, как ни странно, замыкается всего лишь на трех создаваемых объектах производства. Это – вещество, предмет (устройство) и технология. Исходные для получения объекта материалы и полуфабрикаты характеризуются наличием определенных качественных характеристик, предопределяющих свойства, и количественных параметров, сопутствующих этим свойствам.

Соответственно, создаваемый объект тоже получает в каких-то соотношениях определенное число этих характеристик и свойств, которые получили обобщенные названия – качество и количество. Находясь в создаваемом объекте в определенном соотношении, качество и количество составляют меру, то есть создаваемый объект.

Соотношение между количеством и качеством может изменяться в некотором диапазоне, который в практике называют допуском на отклонения количественных и качественных характеристик. Тиражируемые объекты, находящиеся в пределах этого допуска, считаются идентичными и пригодными для работы в задаваемых эксплуатационных условиях. При выходе параметров из этого допуска исходное соотношение качества и количества нарушается и возникает *новая мера* (новый объект). Чаще всего в инженерной практике этот новый объект представляет собой *брак исправимый*, если остается возможность довести объект до требуемой кондиции, или *окончательный брак*, то есть получен негодный для намеченной цели объект. Во избежание брака и для повышения эксплуатационных свойств выработалась система мероприятий, направленных на контроль качества создаваемых объектов. Сюда вошли технические требования, виды достаточного контроля, стандартизация системы мер, проверок и применяемого технического и технологического оснащения. Сущностью всех этих мероприятий является стремление создавать тиражируемые объекты идентичными и способными надежно обеспечивать назначенный ресурс работы.

Соответственно вопросу контроля качества стали уделять внимание на всех этапах создания объектов, начиная с проектных работ и кончая передачей объектов в эксплуатацию.

Появившаяся в обиходе компьютерная техника дала возможность накапливать большие объемы информации (базы данных) и на этапе проектных работ эффективно ее анализировать для выбора оптимальных соотношений качественных и количественных параметров у создаваемых объектов. В результате предположительно выявилась возможность расширить функции контроля качества тиражируемой продукции, а именно: преобразовать этот контроль в один из

приемов, способствующих созданию объектов с новым уровнем свойств. Здесь имеются в виду свойства, необходимые и достаточные, чтобы техническое решение о создании объекта соответствовало нормам, предъявляемым к изобретениям.

Широкие возможности компьютерной техники явились основой для мнения о том, что именно компьютерная техника придет на смену творческому коллективу проектных организаций, создающих объекты с новым уровнем свойств по сравнению с аналогами.

Однако статистика показывает, что бесспорной оказалась только резко возросшая производительность проектных работ, а количество технических решений, полученных на основе системы автоматического проектирования (САПР) в проектных организациях и закрепляемых патентами на изобретение объектов с новым уровнем свойств, заметно меньше, чем в организациях, дополнительно располагающих мощной экспериментальной базой. Это объясняется, по крайней мере, двумя основными причинами.

1) Мощность любого банка данных никогда не может быть исчерпывающей, потому что производство как одна из составляющих материального мира под активным воздействием человека развивается постоянно и достаточно стремительно, всегда опережая скорость восполнения банков данных.

2) Новый уровень свойств создаваемого объекта никогда не является простым сложением количественных и качественных параметров, характерных для исходных компонент создаваемого объекта. Поэтому предварительные расчетно-теоретические прогнозы, как правило, не подтверждаются экспериментально. Это относится, прежде всего, к тем объектам, новизна которых состоит в качестве, предопределяющем новый принцип действия.

Когда принцип действия объекта известен и этот принцип задействован в других объектах, служащих аналогами, то представляется возможным составить морфологическую таблицу, охватывающую все известные объекты и те, которые можно разрабатывать и закреплять патентами на изобретение. Другими словами, грамотно составленная морфологическая таблица охватывает всё количество объектов-аналогов одного и того же принципа действия, то есть единого качества. Если исчерпывается возможное количество объектов данного качества, то этим исчерпывается и само качество. А для решения тех задач, ради решения которых создавались объекты, требуется другое новое качество, на основе которого и будут созданы новые объекты. Именно в этом проявляется действие объективного закона развития материального мира – переход качества в количество, а количества – в качество.

Таким образом, отслеживая и сохраняя базовое (для объектов, составляющих морфологическую таблицу) качество и формируя нужное для него число количественных показателей, представляется возможным создавать объекты с новым уровнем количественных показателей. При этом существенное значение имеет накапливаемая статистика.

Так, почти сорокалетняя история разработки полупроводников показывает, что процесс ускорения работы компьютеров и их удешевление за счет сокращения размеров кремниевых транзисторов, ориентирован исключительно на повышение плотности размещения транзисторов на кристалле. Причем, Гордон Мур, один из основателей корпорации Интел, установил закономерность, согласно которой плотность размещения транзисторов на кристалле за каждые полтора года увеличивалась вдвое. Этим одновременно повышалась производительность микропроцессоров и снижалась их себестоимость.

Однако выявленная тенденция повышения плотности транзисторов на кристалле имеет физическое ограничение дальнейшего развития кремниевых транзисторов. В частности, следующая стадия прогресса по существующей схеме должна привести к появлению транзисторов, состоящих менее, чем из 100 атомов. Но производство не готово для работы с микросхемами такого размера. По этой причине на смену накопившемуся количеству типов транзисторов должно придти новое качество (новый принцип действия). Существующие программы САПР самостоятельно не располагают возможностью предопределить объективно необходимое новое качество. Дальнейшие разработки микросхем, скорее всего, предполагают использование новых материалов и соответствующих нововведений, что сопряжено с необходимостью выполнить широкий круг теоретических и экспериментальных исследований.

В машиностроении была очень похожая тенденция развития движителя легковых автомашин. Известно, что для автомашины движителем, то есть устройством для превращения энергии двигателя в работу движения самой машины, является колесо.

Примерно, в течение 40-х — 50-х годов XX века наблюдалась тенденция систематического уменьшения диаметра колес вновь появляющихся типов легковых авто. Стремление уменьшать диаметр колес предопределяется целым рядом факторов (попытка снизить лобовое сопротивление воздуха, сместить центр тяжести вниз поближе к опорной поверхности земли и т.д.). Соответственно, тенденция уменьшения диаметра колес была объективно обоснованной. Расчеты, учитывающие эту тенденцию, показывали, что, при установившейся тенденции развития движителя автомашины, примерно, через 20 лет диаметр колеса должен оказаться равным нулю. Нормально такой вывод представлялся

противоестественным. А вскоре появились автомобили на воздушной подушке – транспорт без колес. Движителем стал поток прокачиваемого воздуха под днищем.

Таким образом, на определенной стадии развития объекта заложенный в него базовый принцип действия может вступить в противоречие с тенденцией развития этого объекта. При этом сначала основное качество объекта переходит в количество (выраженное многообразием вариантов конструкции), а затем это количество переходит в новое качество – в новый объект с новым уровнем свойств (выраженных в новом принципе действия).

Все современные системы в соответствии с действием объективных законов развития материального мира проходят упомянутые этапы преобразований. Этим предопределяется значимость тех или иных приемов, необходимых для контроля качества.

2.7.5.3. Надёжность работы в течение назначаемого срока эксплуатации. Представление о *надёжности* любого технического объекта (создаваемой системы, технологии) базируется на измерениях и оценках параметров и характеристик всех структурных элементов, составляющих этот объект. Целью измерений и оценок является стремление выбрать тот диапазон неизбежно возможных отклонений *номинальных* значений параметров, при котором объект способен выполнять своё техническое предназначение при назначенных эксплуатационных условиях.

2.7.5.4. Коэффициент полезного использования энергии, вводимой в технологическую систему. *Энергия*, вводимая в технологическую систему, может быть тепловой, механической, электрической, магнитной, электромагнитной, лучевой, химической.

Для реализации назначенного технологического процесса надо затратить определённое количество энергии. При этом в зависимости от того, что именно является энергоносителем и в каком виде энергия накапливается в приводе выбранного технологического оборудования, а также в каком виде энергия должна быть передана для воздействия на предмет труда (на заготовку), складывается определённое число звеньев, участвующих в передаче энергии. Практика машиностроения показала, что увеличение количества звеньев, участвующих в передаче энергии от привода к обрабатываемому объекту, ведёт к большим потерям энергии, то есть снижается коэффициент полезного использования вводимой энергии.

Поэтому при формировании технологических систем всегда ищут такое сочетание структурных элементов в системе, при котором складывается возможность кратчайшего пути для передачи энергии к обрабатываемому объекту.

2.7.5.5. Конкурентная способность. Фактические трудовые затраты на производство продукции оценивают в стоимостном выражении. При этом само собой подразумевается, что продукция годная и обладает конкурентной способностью. Однако следует иметь в виду, что понятие «конкурентная способность» в определённой мере затеняет тот факт, что потребитель созданной продукции является не менее существенным фактором формирования в обществе стоимостного отношения, чем производитель. Товар, не удовлетворяющий потребителя, не обладает, стоимостью, то есть затраченный в производстве труд не оказался общественно необходимым трудом с вытекающими последствиями для производителя. Соответственно, говоря о конкурентной способности, следует помнить о различии между индивидуальной стоимостью продукции, воплощающей в себе

фактические затраты труда производителя, и общественно необходимыми затратами труда на производство, выражающимися в том, что продукция кем-то куплена.

Повышению конкурентной способности заметно возрастает, когда товар производителя закреплён патентом на изобретение. В этом случае появляется возможность продать товар по более высокой цене, что способствует росту объёмов продаж и увеличению прибыли товаропроизводителя. Кроме того, патент на изобретение является государственным охранным документом, Он помогает своему обладателю защищать производимый товар от неправомерных действий других производителей такого же товара и запрещать неопределённому количеству лиц использование в своих интересах запатентованного технического решения.

В то же время история знает много случаев, когда другое лицо первым получает патент, чем подлинный изобретатель, который создал тождественное техническое решение, но не поторопился запатентовать результат своей интеллектуальной деятельности.

В свою очередь, патент является инструментом в борьбе с недобросовестной конкуренцией и промышленным шпионажем, а также в определённой мере гарантирует, что конкуренты не смогут, не нарушая закон, использовать в своих интересах объекты патентообладателя без его ведома и согласия на определенных условиях.

3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПРЕДМЕТОВ ТРУДА

3.1 Формообразование (англ. – primary forming) – изготовление полуфабриката (заготовки) или изделия из газообразных+жидких, жидких, порошковых или волокнистых материалов.

3.2 Литъё (англ. – casting) – процесс, для которого предметом труда является жидкий материал, которым заполняют полость заданных размеров и формы с последующим затвердеванием. В результате получают твёрдый полуфабрикат – *отливку* или окончательное изделие.

3.3 Формование (англ. – forming). Здесь порошком или волокнистым материалом заполняют полость матрицы заданных размеров и формы с последующим прессующим сжатием и спеканием.

3.4 Обработка (англ. – working) – действие, направленное на изменение свойств предмета труда при выполнении технологического процесса.

В зависимости от цели и технического окружения технологического процесса понятие «*обработка*» конкретизируется. Например, *механическая обработка* представляет собой обработку *давлением* или *резанием*.

Специальные и специфичные виды обработки тоже имеют своё наименование. Так, обработке резанием и обработке давлением, как правило, предшествует *раскрой материала*, который представляет собой разделение материала на отдельные заготовки (мерные части). При этом сплошные твердые предметы труда (заготовки) могут быть разделенными на мерные части как обработкой давлением, так и резанием.

3.4.1. *Обработка резанием* (англ. – machining) заключается в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки или, в зависимости от вида обработки, других измельченных отходов, а именно: мельчайших капелек металла, окислов анодного растворения металла и т.п.

Поверхность полуфабриката, которая подвергается обработке, называется *обрабатываемой поверхностью*; поверхность, с которой удалён слой материала, называется *обработанной поверхностью*. Эта поверхность подвергается как силовому воздействию со стороны режущего инструмента, так и воздействию тепла, выделяющемуся в процессе резания за счёт внутреннего и внешнего трения или протекающей электрохимической реакции. В результате изменяются структура и свойства материала на некоторой глубине вдоль обработанной поверхности.

Обработка резанием осуществима следующими двумя способами.

1) Резание инструментом, имеющим острую режущую часть. При этом заготовке и инструменту кинематически обеспечивают движения, позволяющие режущему инструменту рядом последовательных приближений, представляющих собой этапы предварительной и окончательной обработки, обойти все обрабатываемые поверхности.

Этот способ резания сопровождается стружкообразованием. Следы силового взаимодействия инструмента с обработанной поверхностью определяют уровень шероховатости обработанной поверхности.

2) Обработка посредством копирования формы инструмента, то есть здесь инструмент является носителем формы обработанных поверхностей.

Для реализации этого способа обработки достаточно одного движения инструмента (или заготовки), чтобы обеспечить внедрение инструмента в заготовку. Направление съема металла (или деформации его) совпадает с направлением поступательного перемещения или с нормалью к обрабатываемой поверхности.

Этот способ резания характерен *обработке давлением, электроэрозионной и электрохимической обработке.*

В машиностроении есть примеры комбинирования указанных двух способов обработки резанием (например, резание протягиванием, электроэрозионное резание с обкаткой).

При резании различают *черновую обработку*, в результате которой снимается основная часть *припуска*, и *чистовую обработку*, в результате которой достигается заданная точность размеров и степень шероховатости обработанной поверхности.

Под *припуском* понимают толщину поверхностного слоя, специально предусмотренного для *механической обработки.*

3.4.2. Обработка давлением. Производственный процесс в машиностроении имеет три основные стадии: *заготовительную, обрабатывающую и сборочную.*

Первая стадия охватывает производство заготовок (поковки, штамповки, отливки, сортового проката, в виде стандартизированного полуфабриката, получаемого обработкой давлением). Вторая стадия – это изготовление деталей обработкой резания полученных заготовок. Третья стадия – сборка и испытания готовых изделий.

Эффективная деятельность предприятия строится на целесообразном использовании всех элементов производственного процесса – труда, предметов труда и средств труда.

Успешное решение задач производства зависит от правильного выбора и взаимного соотношения этих элементов.

Конечной целью является достижение наименьшей себестоимости продукции при максимально возможной производительности труда.

Обработка давлением (англ. – forming) заключается в пластическом деформировании или разделении материала без образования стружки.

Укрупнённо обработка давлением подразделяется на две группы операций: *ковка* и *штамповка*. Каждая из этих групп имеет набор своих специфических операций, но обеим группам операций всегда предшествует *раскрой материала*.

3.4.3. Раскрой материала. Материал, поступающий в заготовительные цеха машиностроительного производства, чаще всего представляет собой крупногабаритный сортовой полуфабрикат металлургического производства (прутки, трубы, плиты, полосы, листы, швеллеры, тавры, двутавры и другие поперечные сечения). Поэтому, исходя из технико-экономических соображений, анализируют следующие основные способы и средства труда, предназначенные для раскроя материала.

3.4.3.1 Способы обработки давлением, реализуемые на кривошипных ножницах, прессах, ломкой на прессах-хладноломах, ломкой, рубкой и сдвигом на высокоскоростных молотах;

3.4.3.2 Способы резания на токарных и фрезерных станках, на механических ножницах и пилах, на абразивных отрезных станках;

3.4.3.3 Электрофизическая обработка (англ. – electro-physical machining) с применением электрических разрядов, магнитоstrictionного эффекта, электронного или оптического излучения (*лазер* – аббревиатура английской фразы «Light Amplification by Simulated Emission of Radiation»), что означает «Усиление света посредством стимуляции эмиссионного излучения»), плазменной струи;

3.4.3.4. Плазменная обработка. В практике отечественного и зарубежного производства успешно эксплуатируются плазменные аппараты для резки и сварки конструкционных материалов. Эти процессы осуществляются за счёт того, что воздух сжимают компрессором и подают в рабочую форсунку, внутри которой постоянно горит электрическая дуга. За счёт этой высокотемпературной дуги (температура порядка $6000 \div 8000$ °С — температура поверхности Солнца) воздух разогревается и превращается в струю *плазмы*, воздействию которой не может противостоять ни один конструкционный материал. Воздух также образует и рабочую среду, то есть своего рода оболочку для плазменной струи.

В общем случае *плазма* представляет собой сильно ионизированный газ, в котором плотности пространственных зарядов, созданных положительно и отрицательно заряженными частицами, одинаковы или почти одинаковы, а хаотическое тепловое движение этих частиц преобладает над их направленным перемещением под действием внешнего электрического поля. Это так называемая *изотермическая плазма*. Она обнаружена в атмосфере горячих звёзд с температурой порядка 35000 °С и выше.

Изотермическая плазма играет существенную роль в космических процессах.

Кроме *изотермической плазмы* существует *газоразрядная плазма*, отличающаяся тем, что она устойчива только при наличии в газе электрического поля, способного ускорить электроны.

В газоразрядной плазме, создаваемой для реализации технологических процессов машиностроения, средняя энергия и средняя скорость движения электронов существенно превосходит среднюю энергию нейтральных частиц газа. При прекращении действия внешнего электрического поля газоразрядная плазма исчезает практически мгновенно.

Интерес к газоразрядной плазме особенно обострился в связи с разработкой проблемы управляемых термоядерных реакций.

Для предотвращения контакта плазменной струи со стенками сосуда, в котором она возникает, плазменной струе создают оболочку (рабочую среду). Первоначально, когда исследовались возможности применения плазменного луча в качестве инструмента для воздействия на обрабатываемый конструкционный металл, например с целью резки металла, в качестве оболочки для плазменного луча использовали сжатый воздух. При этом выявленным недостатком взаимодействия плазмы с металлом в присутствии с воздухом оказались избыточное окисление и шлакообразование. Этот дефект обусловлен наличием в воздухе кислорода и азота.

Дальнейшие научно-технические исследования показали, что лучшие результаты обеспечивает замена воздуха водой. В 1986 году новый водоплазменный аппарат «Плазма» (разработчик – ОКБ «Алмаз», г. Зеленоград) прошёл успешные испытания на орбитальной станции «Мир», когда возникла проблема ремонта и замены узлов и агрегатов станции в открытом космосе.

Основные характеристики аппарата «Плазма»:

– напряжение питающей сети	220 В;
– частота питающей сети	15 Г;
– потребляемая мощность	1,8 кВт;
– габариты	10,5 × 23 × 18 10,5 см;
– вес	3,5 кг;
– температура факела (макс.)	6000 °С;
– регулирование тока в дуге	4 ÷ 8 А;
– толщина разрезаемого листа	до 5 мм;
– ширина реза листовой стали	0,5 мм;
– время непрерывной работы	до 25 мин.

Водоплазменный аппарат «Плазма» предназначен для технологических процессов резки, прожигания отверстий, плавления, локального нагрева чёрных и цветных металлов, резки бетона, работ по камню и других отделочных операций и ориентирован на использование воды в качестве *рабочего тела* для плазмы.

Исследования показали, что для выполнения сварочных работ необходима изоляция сварочного шва от воздушной атмосферы. Для этой цели вместо воды применима любая углеродосодержащая жидкость (ацетон, этиловый спирт и подобные). Так как пары ацетона вредны для здоровья, преимущество получил водный раствор этилового спирта (водка). Концентрация спирта в воде зависит от рода свариваемого металла. Жидкостная ёмкость ориентирована на 50 грамм воды или раствора.

По технологическим возможностям водоплазменный аппарат «Плазма» способен заменять сварочный трансформатор, газосварку с присущим ей баллонным оснащением, в том числе аргонодуговую сварку, паяльную лампу, автоген, электролобзик, ножовку, ножницы отрезные и вырубные, электродрель и тому подобное режущее и сварочное оснащение.

В 2001 году во Всемирном салоне изобретений водоплазменный аппарат «Плазма» занял первое место и завоевал приз «Гран-при» – Золотой кубок, оставив позади 1500 экспонатов аналогичного назначения из 120 стран мира.

3.4.4. Электрохимическая обработка (англ. – electrochemical machining) вследствие анодного растворения материала в электролите под действием электрического тока.

Выбор приемлемого для конкретных условий способа раскрытия материала опирается на предварительный качественный и последующий количественный анализы.

Пример анализа. Основным и наиболее производительным способом раскроя материала является резка на сортовых ножницах. Она выгодна тем, что резка не сопровождается отходом металла в стружку, характерным для резки механическими пилами, фрезерными дисками и токарными резцами. В то же время при методах резки, сопровождающихся стружкообразованием, заготовки получают с более точным взаимным расположением плоскости среза и продольной осью заготовки. Однако, производительность этой резки очень низкая. А если материал прутка – высокопрочный сплав, то преимущество, в том числе и по производительности, имеет электрохимическая резка на основе анодного растворения материала в плоскости резания. Но технологическое оснащение электрохимической резки более сложное.

Точность резки пруткового материала можно повысить при резке в штампах по методу сдвига с предварительным зажимом прутка по обе стороны относительно плоскости сдвига. При этом следует иметь в виду, что предварительный зажим требует увеличения количества энергии, вводимой в технологическую систему. По сравнению со способом резки сдвигом лучший результат обеспечивает холодная ломка на высокоскоростном молоте, так как здесь при высокой производительности ломки и точности образующейся плоскости излома требуется менее материалоемкое технологическое оснащение и оборудование.

На основании качественного анализа, подобного изложенному, и с учётом объёма выпускаемой продукции приступают к количественному анализу, то есть к численной оценке расходов, связанных с реализацией выбранного способа раскроя конкретного материала.

3.4.5. *Ковка* – обработка материалов давлением с воздействием на полуфабрикат значительной деформирующей силой, передаваемой упрощенным инструментом: плоскими бойками, боковыми цилиндрическими поверхностями ковочных валков и т.п.

3.4.6. *Штамповка* – обработка материалов давлением специальным инструментом, способным существенно приблизить конфигурацию исходного полуфабриката к конфигурации, требуемой детали.

3.4.7. *Поверхностное пластическое деформирование* — это обработка давлением, при которой пластически деформируется только поверхностный слой материала.

3.4.8. *Слесарная обработка* – процесс, выполняемый ручным инструментом или машиной ручного действия.

3.5. Виды термической обработки

Термическая обработка (англ. – heat treatment) заключается в изменении структуры и свойств материала обрабатываемого объекта вследствие тепловых воздействий. В состав термической обработки входят следующие её виды.

Закалка, реализуется в результате нагрева материала и последующего быстрого охлаждения. Этим фиксируются в материале образующиеся структурные неравновесные системы, и материал при комнатной температуре продолжает оставаться достаточно твердым (с повышенной прочностью).

Нормализация состоит в нагреве стальных деталей до температуры (800–950) °С и последующем охлаждении на спокойном воздухе. Назначается для уменьшения зернистости. Это способствует повышению прочности, пластичности и ударной вязкости.

Отжиг заключается в нагреве до некоторой температуры (в зависимости от материала), выдержке и последующего медленного охлаждения (часто вместе с печью).

Назначение отжига: скорректировать структуру и свойства материала после обработки резанием и других температурных воздействий на получаемую заготовку или другой полуфабрикат.

Отпуск обычно следует за закалкой и состоит в нагреве до некоторой температуры ниже точек фазовой перекристаллизации, а затем – охлаждение, часто на воздухе. Способствует снижению хрупкости.

Улучшение состоит из закалки и отпуска при температуре (550–650) °С (в зависимости от химического состава). В результате сталь приобретает структуру, определяющую достаточную прочность при высоких значениях пластичности и вязкости.

Применяется главным образом к деталям машин и механизмов, испытывающих значительные динамические нагрузки

Старение металлов представляет собой изменение строения и свойств металлов и сплавов, протекающее либо самопроизвольно в процессе длительной выдержки при комнатной температуре (*естественное старение*, протекает длительно, иногда в течение нескольких лет), либо при нагреве (*искусственное старение*, протекает быстро, в зависимости от

температуры нагрева и состава материала).

Обычно старение приводит к увеличению прочности и твердости материалов при одновременном снижении пластичности. Снижаются внутренние напряжения, которые могут вызывать трещины и коробление

Однако в ряде случаев старение может отрицательно влиять на свойства материала, и тогда предпринимают меры, достаточные для того, чтобы либо исключить старение, либо ограничить его действие.

3.6. Электрофизическая обработка заключается в изменении формы, размеров и (или) шероховатости обработанной поверхности с применением электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, электронного или оптического излучения, плазменной струи.

3.7. Электрохимическая обработка (ЭХО) заключается в изменении формы, размеров и (или) шероховатости обработанной поверхности вследствие растворения материала в электролите под действием электрического тока.

3.8. Сборка (англ. – assembly) – образование соединений составных частей изделия. Соединения могут быть *разъёмными* и *неразъёмными*. Примером создания неразъёмных соединений являются *клёпка, сварка, пайка, склеивание*.

3.9. Пайка. В настоящее время пайка наряду со сваркой является одним из наиболее распространенных способов получения неразъёмных соединений. Важнейшее достоинство пайки – формирование паяного шва при температуре ниже температуры автономного плавления соединяемых металлов. Это обстоятельство дает возможность вести процесс в условиях общего нагрева.

Технологические процессы пайки разрабатывают, исходя из конструктивно-технологических свойств соединяемых деталей, а также требований к прочности, долговечности, надежности соединения.

Структура технологического процесса поясняется схемой, представленной на рис. 1.

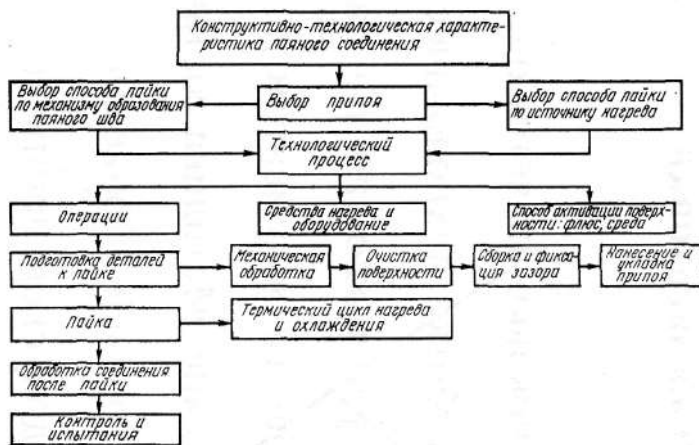


Рис. 1

Особенности взаимодействия припоя с материалом определяют выбор способа пайки. В соответствии с выбранным способом пайки выбирается необходимое оборудование и соответствующая технологическая оснастка.

От величины зазора между сопрягаемыми поверхностями в соединении зависит диффузионный обмен припоя с металлом, а, следовательно, и прочность соединения. На рис. 2 показан график зависимости предела прочности паяного шва от величины зазора в месте соединения деталей.

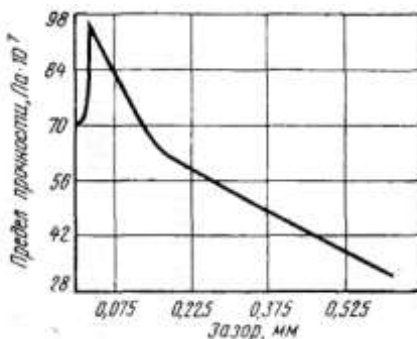


Рис.2

Припой должен быть зафиксированным относительно места спая.

При сборке деталей под пайку необходимо выполнять два условия:

- 1) обеспечить требуемое взаимное расположение деталей;
- 2) выдержать необходимые определённые соединительные зазоры.

Эти требования выполняют, как конструктивными приёмами, реализуемыми в процессе проектирования деталей с целью обеспечить их взаимную фиксацию при сборке под пайку, так и применением специальных сборочных приспособлений. При конструировании приспособлений также обращают внимание на согласованность изменений размеров элементов конструкции оснастки и паяемых деталей при нагреве и охлаждении. Это достигается или подбором материалов с соответствующими коэффициентами термического расширения, или путём применения легко деформируемых конструктивных элементов оснастки, или же обеспечением свободного перемещения паяемого узла внутри оснастки.

Все паяные соединения подразделяют на соединения с наружной пайкой и соединения с внутренней пайкой. Особенность внутренней пайки в том, что отсутствует возмож-

ность открытого доступа к месту пайки. Это характерно для изготовления крупногабаритных, как плоских, так и криволинейных панелей с внутренним оребрением. Имеются в виду панели, состоящие из двух элементов: гладкого листа 1 и сребренного листа 2 (рис. 3).

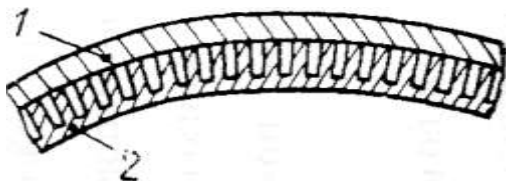


Рис. 3

Местом расположения припоя являются торцы ребер, способных контактировать с гладким листом. Для пайки применяют твёрдые припои, предварительно наносимые на спаиваемые поверхности. Пайка осуществляется в печи. Твёрдые припои имеют температуру плавления до $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. При рабочей температуре в месте соединения $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ допустимые напряжения в паяном шве составляют до 80 МПа (8 кг/мм^2), а при температуре $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ — около 10 МПа (1 кг/мм^2).

Опыт изготовления панелей методом внутренней пайки показал, что для надёжной работоспособности паяного соединения желательно соединять элементы, материалы которых имеют одинаковый коэффициент линейного расширения, чтобы не создавались условия для возникновения в паяном шве остаточных напряжений. Это требование оказывается особенно важным при изготовлении внутренней пайкой панелей пространственной формы.

Процесс внутренней пайки связан с необходимостью надёжно прижимать друг к другу поверхности, между которыми расположен припой. Для этого после укладки соединяемых пайкой элементов в рабочее положение образующуюся внутреннюю полость в виде межрёберного пространства изо-

лируют от окружающей атмосферы и откачивают оттуда воздух машинным способом, то есть применением вакуумных насосов. В результате равномерное прижатие друг к другу паяемых поверхностей осуществляет окружающая атмосфера.

Так как вакуумные насосы относятся к категории технологического оборудования повышенной стоимости, имеют ограниченный ресурс работы и не подлежат капитальному ремонту, то при выборе рационального варианта внутренней пайки ведут и поиск экономически целесообразного способа вакуумирования внутреннего пространства создаваемых панелей.

В частности, применительно в внутренней пайке определённый интерес представляют результаты научно – технических исследований кафедры «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета, которые показывают, что для внутренней пайки представляется возможным машинное вакуумирование заменить безмашинным вакуумированием.

Сущность безмашинного вакуумирования состоит в следующем. Из герметизированного межреберного пространства углекислым газом выжимают воздух. Затем углекислый газ сообщают с полостью, заполненной водным раствором щелочи. В результате химической реакции углекислый газ, связываясь со щелочью, переходит в твердый осадок.

Основное преимущество безмашинного вакуумирования состоит в простоте процесса и существенном снижении расходов в связи с исключением из эксплуатации дорогостоящих вакуумных насосов.

3.10. Нанесение покрытий (англ. – coating) состоит в нанесении на объект обработки поверхностного слоя из инородного материала. Примерами нанесения покрытий являются *окрашивание, анодирование, оксидирование, металлизация и т. д.*

В перечень технологически процессов, завершающих производство продукции входят: контроль технологического процесса, технический контроль, маркирование, упаковка, консервация, расконсервация.

3.11. Технологические нормы

3.11.1. Технологическая норма – регламентированное значение показателя технологического процесса.

3.11.2. Техническое нормирование – установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов (энергии, сырья, материалов, инструмента, рабочего времени и т.д.).

3.11.3 Норма времени (англ. – standard piece time) – регламентированное время выполнения некоторого объёма Работ в определённых производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

3.11.4. Единица нормирования – количество производственных объектов или число работающих, на которое устанавливается *техническая норма*.

Под *технической нормой* понимают количество деталей, на которое устанавливается норма времени; количество изделий, на которое устанавливается норма расхода материала; число рабочих, на которое устанавливается норма выработки и т.д.

3.11.5. *Норма выработки* (англ. – standard production rate) регламентированный объём работы, которая должна быть выполнена в единицу времени в определённых организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

3.11.6. *Расценка* – размер вознаграждения работнику за единицу объёма выполненной работы.

3.11.7. *Тарифная сетка* — шкала, определяющая соотношение между оплатой труда за единицу времени и квалификацией труда с учётом вида работы и условий её выполнения.

3.11.8. *Разряд работы* – показатель, характеризующий квалификацию труда.

4. ПРОДУКЦИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Литейное производство ориентировано на изготовление полуфабриката в виде *слитков* и фасонных заготовок и или изделий (*отливок*) путём заливки расплавленного металла в специальную форму, полость которой является носителем формы требуемого продукта (*изделия*).

При охлаждении залитый металл затвердевает. Механические и эксплуатационные показатели изделий формируются в процессе кристаллизации расплава и последующего охлаждения.

Область применения литых изделий определяется объёмом машиностроительного производства, требованиями к геометрической точности и шероховатости отливок, экономической целесообразности и другими факторами.

Одним из основных показателей литейных сплавов является жидкотекучесть, то есть способность металлов и сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литейной формы

и за счёт этого чётко воспроизводить контуры требуемой отливки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные основные термины и понятия хорошо иллюстрируются техническими материалами и сведениями, изложенными в публикациях, перечисленных в представленном списке литературы. В результате студент имеет возможность предварительно сформировать себе подготовительную базу, достаточную для изучения в дальнейшем специальных дисциплин, относящихся к специальности «Технология машиностроения».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Единая система технологической подготовки производства. Сб. стандартов. – М.: Госкомитет по стандартам, 1984.
2. Термины и определения основных понятий. ГОСТ 3.1109-82.
3. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова и др. – М.: Машиностроение, 1977.
4. Афонькин М.Г. Производство заготовок в Машиностроении / М.Г. Афонькин, М.В. Магницкая – Л.: Машиностроение, 1987.
5. Торопов Ю.А. Припуски, допуски и посадки гладких цилиндрических соединений. Припуски и допуски отливок и поковок: справочник / Ю.А. Торопов. – СПб.: Профессия, 2004.
6. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов / С.И. Губкин.– М.: Metallurgizdat, 1960. Т. 1, 2, 3.
7. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов./ М.В. Сторожев, Е.А. Попов. Изд. 3-е, перераб. и доп. –М.: Машиностроение. 1971. 474 с.
8. Испытательная техника: справочник в 2 кн. / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1982. –Кн. 1. – 528 с.; Кн. 2. – 560 с.
9. Чечета И.А. Способ динамической тарировки датчиков усилия / А.с. СССР № 828014, 1981.Бюл. № 17.
10. Чечета И.А. Уточнение ряда технологических параметров высокоскоростной обработки давлением на основании элементов теории упругопластического удара / И.А. Чечета, В.А. Сай. Воронеж: ВПИ, 1981. –43 с.

11. Чечета И.А. К определению времени контакта инструмента с заготовкой при горячей высокоскоростной штамповке / И.А. Чечета, В.А. Сай, Ю.Д. Проскуряков // Кузнечно-штамповочное производство. 1978. №5.С. 11-12.

12. Чечета И.А. Техническое окружение – важная часть создаваемого технологического процесса / И.А. Чечета // Системные проблемы надёжности, качества, информационных и электронных технологий в инновационных проектах: материалы междунар. конф. и Российской науч. школы. - М.: Радио и связь, 2006. Т. 2. Ч. 2. С. 97-99.

13. Промышленные роботы / под ред. А.Я. Шифрина. - М.: Машиностроение, 1982. - 515 с.

14. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: справочник / Ю.Г. Козырев - М.: Машиностроение, 1983. - 376 с.

15. Устройство промышленных роботов / Е.И. Юревич, Б.В. Аветиков, О.Б. Корыщр и др. - Л.: Машиностроение, 1980.-333с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Основные темы излагаемой дисциплины	4
2. Производство	5
2.1. Общие сведения о производстве	5
2.2. Промышленность	10
2.3. Материал для производства	11
2.4. Характеристика металлов и сплавов	12
2.5. Механические свойства металлов и сплавов	22
2.6. Технологический процесс в машиностроении	42
2.7. Технологическая система.....	48
3. Методы обработки предметов труда	68
3.1. Формообразование.....	68
3.2. Литьё.....	68
3.3. Формование	68
3.4. обработка	68
3.5. Виды термической обработки	84
3.6. Электрофизическая обработка.....	86
3.7. Электрохимическая обработка.....	86
3.8. Сборка.....	86
3.9. Пайка.....	86
ЗЛО. Нанесение покрытий.....	91
3.11. Технологические нормы	91
4. Продукция литейного производства	92
Заключение.....	93
Библиографический список.....	94

Учебное издание

Чечета Иван Алексеевич

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
В МАШИНОСТРОЕНИИ:
КУРС ЛЕКЦИЙ

В авторской редакции

Компьютерный набор И.А. Чечеты

Подписано в печать 10.06.2008

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 6,0. Уч.-изд. л. 4,7. Тираж 250 экз.

Зак. №

ГОУВПО

Воронежский государственный технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14