Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Обработка материалов давлением»

В. Г. Шипинский

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, МОНТАЖА И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ

КУРС ЛЕКЦИЙ

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2012

УДК 621.01(075.8)
ББК 34.5я73
Ш63

Рецензенты: кафедра «Машины и технология обработки материалов давлением» Белорусского национального технического университета;
зам. главного технолога – главный штамповщик РУП «Гомельский завод сельскохозяйственного машиностроения» *П. П. Гатальский*

Шипинский, В. Г.

Ш63 Технология изготовления, монтажа и ремонта оборудования и оснастки : курс лекций / В. Г. Шипинский ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 191 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: http://alis.gstu.by/StartEK/. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-125-3.

Содержит материал по теоретическим основам технологии машиностроения, структурным элементам технологических процессов изготовления оборудования и технологической оснастки, обеспечению качества и технологичности изделий, методике проектирования и оформления технологических процессов, основным процессам изготовления, монтажа и ремонта технологического оборудования, а также по проведению технологической подготовки производства на промышленных предприятиях.

Предназначено для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.01(075.8)
ББК 34.5я73

ISBN 978-985-535-125-3

© Шипинский В. Г., 2012
© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2012

Введение

Одна из главных задач развития общества заключается в том, чтобы на основе широкого внедрения достижений науки и техники постоянно повышать эффективность производства и производительность труда. Ее решение, в свою очередь, неразрывно связано с уровнем развития средств производства, созданием, совершенствованием и изготовлением которых занимается такая важнейшая отрасль народного хозяйства, как машиностроение. Машиностроению, в частности, отводится решающая роль при переходе к принципиально новым технологиям и техническому перевооружению всего народного хозяйства. Ближайшая цель машиностроения – изменение структуры производства, повышение качественных характеристик машин и оборудования. В дальнейшем предусматривается осуществить переход к экономике высшей организации и эффективности с всесторонне развитыми производительными силами, отлаженным хозяйственным механизмом. Решением же научно-технических и технологических вопросов в машиностроительной отрасли занимается такое научное направление, как технология машиностроения.

Технология машиностроения – это наука об изготовлении машин требуемого качества в установленном производственной программой количестве и в заданные сроки при наименьших затратах живого и овеществленного труда, т. е. при наименьшей себестоимости. В настоящее время технологию машиностроения можно трактовать как науку по материализации конструкторских идей, которая должна не только гарантировать заданное качество и эффективность изготовления машин, но и приводить технологическими путями к улучшению их эксплуатационных характеристик. Слово «технология» (образованное из двух греческих слов *techne* – искусство, мастерство, умение и *logos* – слово, учение) означает науку, систематизирующую совокупность приемов и способов обработки (переработки) сырья, материалов, полуфабрикатов соответствующими орудиями производства в целях получения готовой продукции. Технология является главным организующим звеном в работе всех предприятий, осуществляющих выпуск товарной продукции; ее совершенством определяется эффективность их работы, выражающаяся главным образом в себестоимости и конкурентоспособности выпускаемых товаров.

Целью данной дисциплины является получение студентами систематизированных знаний по теоретическим основам технологии ма-

шиностроения, структурным элементам технологических процессов изготовления оборудования и технологической оснастки, обеспечению качества и технологичности изделий, методике проектирования и оформления технологических процессов, основным процессам изготовления, монтажа и ремонта технологического оборудования, а также проведению технологической подготовки производства на промышленных предприятиях. Эти знания необходимы для конструкторско-технологической и практической реализации в производстве проектов по выпуску конкурентоспособной продукции при минимальных затратах на ее производство.

1. Основные понятия об изделии и структуре технологического процесса

В основе данной дисциплины лежит такая наука, как ***технология машиностроения***. Это наука об изготовлении машин требуемого качества в установленном производственной программой количестве и в заданные сроки при наименьших затратах живого и овеществленного труда, т. е. при наименьшей себестоимости. Одной из главных задач этой науки является изучение закономерностей протекания технологических процессов и выявление тех технологических параметров, воздействие на которые наиболее эффективно для интенсификации производства и повышения его точности. Производственный процесс на любом промышленном предприятии предусматривает выпуск готовых изделий (продукции) установленного качества.

Изделием называют любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. При этом изделия, изготовляемые для поставки (реализации), относятся к изделиям основного производства. Если же предприятия изготавливают изделия только для собственных нужд, то такие изделия относятся к изделиям вспомогательного производства. В зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей изделия подразделяются на следующих четыре вида:

Детали – изделия, изготавливаемые из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Сборочные единицы – изделия, составные части которых подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе путем сборочных операций (свинчивания, склеивания и т. д.).

Комплексы – два и более специфицированных изделия не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Комплекты – два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (например, комплект запасных частей или комплект инструмента).

Готовые изделия получают из материалов и полуфабрикатов в результате осуществления отдельных процессов, совокупность которых составляет производственный процесс.

Производственный процесс определяется как совокупность всех действий людей и орудий, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта изделий. При этом элементарной единицей структуры предприятия является рабочее место, на котором размещаются исполнители работ и средства технологического оснащения.

Технологическим процессом называют, в свою очередь, часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и определению состояния предметов труда. Он состоит из циклически повторяющихся для каждого объекта производства компонентов, в результате выполнения которых изменяются размеры, форма, свойства предметов труда, производится соединение деталей в сборочные единицы и изделия, осуществляется наладка и контроль изделий на соответствие требованиям чертежа и технических условий. На первом уровне технологический процесс подразделяется на этапы, совокупность которых образует ***типовую схему изготовления продукции***.

Главным признаком ***этапа*** является определенное состояние изготавливаемой продукции (предметов труда), достигнутое после его выполнения. Например, применительно к изготовлению детали можно выделить этапы получения заготовки, ее механической обработки, окончательной отделки поверхностей. При изготовлении изделия в целом различают этапы его поузловой и общей сборки, наладки, испытания изделия и т. д. Каждый этап в свою очередь состоит из одной или нескольких операций.

Технологической операцией называется законченная, повторяющаяся часть технологического процесса, которая выполняется на одном рабочем месте (на определенной технологической машине). Совокупность упорядоченных операций образует ***маршрут изготовления*** продукции (детали, изделия). Операция является также основным элементом производственного планирования и учета. На выполнение операций устанавливают нормы времени и расценки. По операциям определяют трудоемкость и себестоимость процесса, необходимое количество производственных рабочих и средств технологического оснащения. Различают операции основные и вспомогательные, к которым относятся транспортирование, контрольные, маркировочные и некоторые другие работы.

Стандартом определены основные элементы технологической операции, такие как переход, проход, прием, установ и позиция.

Переход – это законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при неизменных технологических режимах и установе. При выполнении перехода режимы работы иногда изменяются без воздействия рабочего, т. е. автоматически, например, в станках с программным или с адаптивным управлением. Так, при механической обработке заготовок переходы могут выполняться путем удаления одного или нескольких слоев материала за один или несколько проходов (рабочих ходов).

При этом однократное перемещение инструмента относительно заготовки, которое сопровождается изменением ее размеров, качества и свойств, является законченной частью технологического перехода и определяется как ***проход*** (***рабочий ход***). Однократное же перемещение инструмента относительно заготовки, необходимое для подготовки рабочего хода, представляет собой ***вспомогательный ход***.

Все действия рабочего, совершаемые при выполнении технологического перехода, разделяются на отдельные приемы.

Приемом называют законченную совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением.

При изменении положения обработанной заготовки или собираемого изделия операция может состоять из нескольких установов и позиций.

Установом называется часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении изготавливаемого объекта. Основным признаком установа является неизменность положения изготавливаемого объекта относительно станочного приспособления. В каждой операции может быть один или несколько (редко более двух) установов. При одном установе изготавливаемый объект может занимать различные позиции.

Позиция – это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленным изготавливаемым объектом с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции. Например, на многопозиционных станках изготавливаемый объект вместе с приспособлением последовательно переходит из одной рабочей позиции в другую, где фиксируется для выполнения соответствующего перехода.

Совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса, называется ***средствами технологического оснащения***. Они включают технологическое оборудование и оснастку.

Технологическое оборудование – это средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещают материалы или изготавливаемые объекты, средства воздействия на них (инструмент), а также приспособления и другую оснастку.

Оснасткой называются средства технологического оснащения, дополняющие оборудование для выполнения определенной части технологического процесса. Это режущий и измерительный инструмент, штампы и литьевые формы, разнообразные приспособления и т. д. Приспособления, в свою очередь, подразделяются на связывающие со станком изготавливаемые объекты (заготовки, детали, изделия) и связывающие со станком обрабатывающий инструмент (фрезы, резцы, формы, штампы и т. д.).

Наладкой, в свою очередь, называется процесс подготовки технологического оборудования и оснастки к выполнению операции.

2. Характеристика машиностроительного производства

Любое производство характеризуется ***программой выпуска изделий*** (продукции). Это установленный для каждого предприятия перечень изготовляемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию на плановый период.

Объем выпуска изделий (продукции) характеризуется числом изделий, определенных наименований и типоразмеров, изготовляемых предприятием или подразделением в течение планируемого периода времени.

Производство изделий обычно осуществляется ***производственными партиями***, которые составляют предметы труда одного наименования и типоразмера, запускаемые в обработку в течение определенного интервала времени при одном и том же подготовительно-заключительном времени на одну операцию.

Интервал же времени от начала до окончания производственного процесса изготовления изделия называется ***производственным циклом***.

В зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции различают три типа производства: единичное, серийное и массовое. Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций ($К_{з.о}$) – отношение числа всех выполняемых на предприятии в течение месяца операций (О), к числу имеющихся рабочих мест (Р):

$$К_{з.о} = О/Р.$$

Единичное производство характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается. Коэффициент закрепления операций $К_{з.о} \geq 40$. В таком производстве применяются преимущественно универсальные средства технологического оснащения.

Серийное производство характеризуется изготовлением изделий (продукции) периодически повторяющимися партиями. В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелко- ($20 < К_{з.о} < 40$), средне- ($10 < К_{з.о} < 20$) и крупносерийное ($1 = К_{з.о} < 10$) производства. Здесь применяются как универсальные, так и специальные автоматизированные средства технологического оснащения. Этот тип производства является основным, так как около 80 % всей продукции машиностроения изготавливается на заводах в серийном производстве. При этом производстве заготовки обрабатываются партиями, а машины выпускаются сериями.

Массовое производство характеризуется большим объемом выпуска изделий (продукции), непрерывно изготавливаемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. В массовом производстве $К_{з.о} = 1$ и применяются, как правило, высокопроизводительные автоматизированные средства технологического оснащения. В крупносерийном и массовом производствах широко применяют поточную организацию производства.

Поточное производство характеризуется расположением технологического оборудования в последовательности выполнения операций технологического процесса и определенным интервалом выпуска изделий – тактом выпуска (мин/шт.).

$$T = \frac{60Fg\eta}{N}, \text{ мин},$$

где Fg – действительный фонд времени в планируемом периоде; η – коэффициент, учитывающий потери времени по организационно-техническим причинам; N – производственная программа на планируемый период.

Для организации поточного производства требуется одинаковая или кратная производительность на всех операциях технологического процесса.

3. Точность изделий и способы ее обеспечения в производстве

Под ***точностью обработки*** понимают соответствие формы, размеров и положения обработанной поверхности требованиям чертежа и технических условий. По ряду причин при любых методах обработки полученное значение параметра отличается от заданного, а разность этих значений называют абсолютной погрешностью обработки ΔX.

Отношение же абсолютной погрешности (ΔX) к заданному значению параметра ($X_{\text{Н}}$) называют относительной погрешностью, которая обычно выражается в процентах, т. е.

$$\Delta X_{\text{отн}} = \frac{\Delta X}{X_{\text{Н}}} 100, \ \%.$$

Классификацию погрешностей обработки можно укрупненно представить в следующем виде (рис. 3.1):

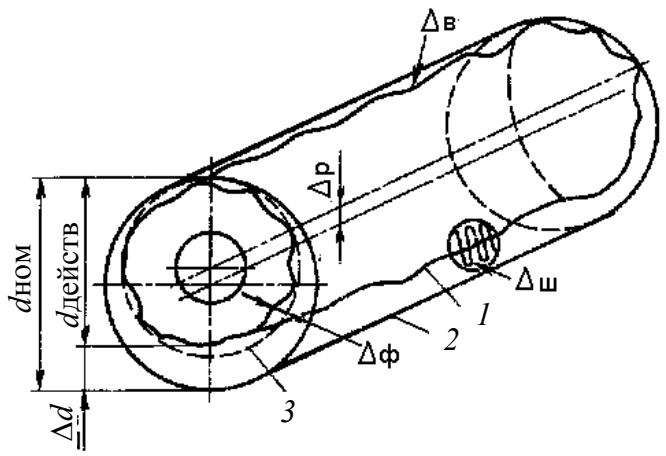


Рис. 3.1. Погрешности обработки:
1 – действительный профиль; *2* – номинальный профиль;
3 – прилегающая к действительному профилю поверхность

Из приведенной схемы укрупненно можно представить следующие погрешности обработки:

Δd – погрешность линейных размеров;

Δр – погрешность расположения поверхностей;

Δф – погрешность формы поверхности;

Δв – волнистость поверхности;

Δш – шероховатость поверхности.

Оптимальная точность изготовления деталей обеспечивается ограничением указанных погрешностей, их предельными значениями, т. е. соответствующими допусками, которые устанавливаются соответствующими стандартами.

В частности, стандарты Единой системы допусков и посадок (ЕСДП) распространяются на гладкие сопрягаемые и несопрягаемые элементы деталей с номинальными размерами до 10000 мм. Степени точности в этой системе называются квалитетами.

Квалитет – совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров. ГОСТ 25346–82 установлено 19 квалитетов, которые обозначаются: 01; 0; 1–17, при этом точность убывает от квалитета 01 к квалитету 17. Допуск квалитета условно обозначается сочетанием прописных букв «*IT*» и номера квалитета, например: *IT*1, *IT*14 и т. д. Допуски по квалитетам с *IT*01 до *IT*17 назначают на концевые меры длины; *IT*2–*IT*4 – на калибры и особоточные изделия; *IT*5–*IT*12 – на сопрягаемые детали; *IT*1–*IT*17 – для неответственных размеров сопрягаемых поверхностей деталей. Ориентировочное соотношение степеней точности по ГОСТ 25346–82 и ОСТ НКМ1011 приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Ориентировочное соотношение степеней точности

Квалитет по ГОСТ 25346–82	**01**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Класс точности по СТНКМ1011	–						1	2	2а	3		3а	4	5	–	7	8	9	–

В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих поверхностей прямых и профилей.

Под ***отклонением формы поверхности*** (профиля) понимают отклонение реальной поверхности от формы номинальной поверхно-

сти (номинального профиля). Стандартом установлены следующие виды допусков формы:

– допуск прямолинейности;

– допуск плоскостности;

– допуск круглости;

– допуск цилиндричности;

– допуск профиля продольного сечения.

Под ***отклонением расположения поверхностей*** понимают отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения. Стандартом устанавливаются следующие допуски расположения:

– допуск параллельности;

– допуск перпендикулярности;

– допуск наклона;

– допуск соосности;

– допуск симметричности;

– позиционный допуск;

– допуск пересечения осей.

Кроме рассмотренных, стандартом устанавливаются и ***суммарные отклонения формы и расположения***. Под ними понимают отклонения, являющиеся результатом совместного отклонения формы и расположения рассматриваемой поверхности. Устанавливаются следующие виды этих отклонений:

– допуск радиального (торцевого) биения или биения в заданном направлении;

– допуск полного радиального (торцевого) биения;

– допуск формы заданного профиля;

– допуск формы заданной поверхности.

При условном обозначении данные о допусках формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на 2 и более частей, в которых помещают: в 1-й части – знак допуска по таблице; во 2-й части – числовое значение допуска (мм); в 3-й и последующих – буквенное обозначение баз (рис. 3.2).

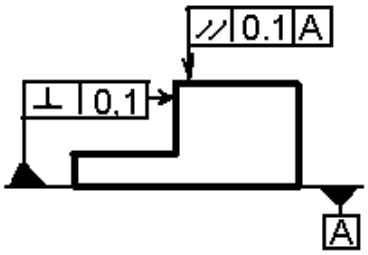


Рис. 3.2. Пример обозначения допусков расположения поверхностей

Допуски формы и расположения поверхностей назначаются в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера.

4. Понятие о достижимой и экономической точности

Трудоемкость и себестоимость обработки деталей в значительной степени зависят от требуемой точности и с повышением точности (при неизменных прочих условиях) увеличиваются по закономерности, представленной на графике (рис. 4.1).

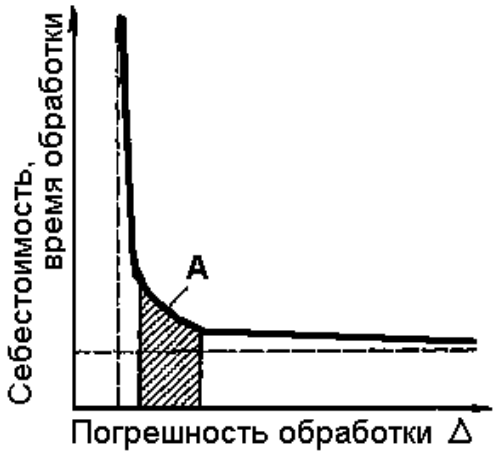


Рис. 4.1. Зависимость себестоимости изготовления от погрешности обработки детали

Чем выше точность изготовления изделий, тем выше их качество. Повышение точности обработки сокращает, в частности, трудоемкость сборки машин благодаря достижению взаимозаменяемости элементов машин. Однако при изготовлении деталей с предельно достижимой точностью многократно возрастает трудоемкость и себестоимость обработки. Поэтому различают достижимую и экономическую точности.

Под ***достижимой точностью*** понимают такую, которую можно достичь при обработке в особых наиболее благоприятных условиях, необычных для данного производства, высококвалифицированными рабочими при значительном увеличении затрат времени, не считаясь с себестоимостью обработки.

Для изготовления деталей с оптимальными затратами их обработку обычно ведут с точностью, соответствующей на графике (рис. 4.1) участку *A*, которая является экономической точностью обработки.

Экономической точностью какого-либо метода обработки на данном отрезке развития техники называют точность, обеспечиваемую в нормальных условиях работы при использовании исправного оборудования, инструментов стандартного качества, персонала средней квалификации и при затрате времени и средств, не превышающих затрат для других сопоставимых с рассматриваемым методом.

Таблицы экономической точности обработки приводятся в различных технологических справочниках, например, в справочнике технолога-машиностроителя.

5. Качество поверхностей деталей машин

В процессе изготовления детали на ее поверхности возникают неровности, в поверхностном слое изменяется фазовый состав, а также возникают остаточные напряжения.

Геометрические характеристики качества обработанной поверхности определяются отклонениями реальной поверхности от номинальной. Эти отклонения можно классифицировать на следующие три разновидности, различающиеся в зависимости от отношения шага S к высоте H неровностей:

– макрогеометрические отклонения формы – при отношении $S/H > 1000$;

– волнистость поверхности – при отношении $S/H = 1000–50$;

– шероховатость поверхности – при отношении $S/H < 50$.

В частности, ***шероховатостью поверхности*** называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины l (рис. 5.1). Значение базовых длин l стандартизированы и выбираются из следующего параметрического ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм.

Значение параметров шероховатости поверхности определяют от единой базы, за которую принята **средняя линия** (***m***) – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что

в пределах базовой длины среднеквадратичное отклонение профиля от этой линии минимально, т. е. выполняется условие:

$$R_g = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l y^2(x)dx} = \min,$$

где y – расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

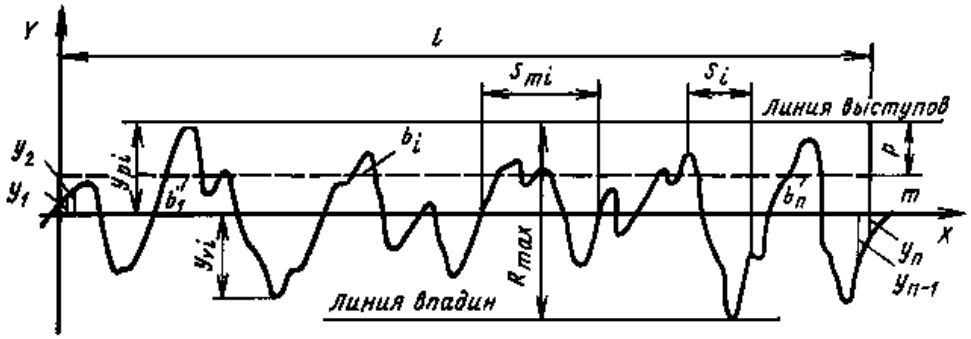


Рис. 5.1. Схема, характеризующая шероховатость поверхности

Отклонения профиля шероховатости ограничиваются линиями выступов и впадин.

Линия выступов профиля – линия, эквидистантная по отношению к средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия впадин профиля – линия, эквидистантная по отношению к средней линии и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.

ГОСТ 2789–73 устанавливает следующие шесть параметров шероховатости поверхности:

1. *Ra* – среднее арифметическое отклонение профиля:

$$Ra = \frac{1}{l}\int_0^l |y(x)|dx \text{ или } Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i|,$$

где l – базовая длина; n – число выбранных точек на профиле шероховатости в пределах базовой длины.

2. *Rz* – высота неровности профиля по десяти точкам, т. е. по сумме средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубине пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{1}{5}\left(\sum_{i=1}^{5}\left|y_{pi}\right| + \sum_{i=1}^{5}\left|y_{vi}\right|\right),$$

где y_{pi} – высота i-го наибольшего выступа профиля; y_{vi} – глубина i-й наибольшей впадины профиля.

3. $R_{\max}$ – наибольшая высота неровностей профиля – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

4. S_m – средний шаг неровностей профиля – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{h} S_{mi},$$

где n – число шагов в пределах базовой длины l; S_{mi} – шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии, ограничивающей неровность профиля.

5. S – средний шаг местных выступов профиля – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i,$$

где n – число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины l; S_i – шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних местных выступов профиля.

6. t_p – относительная опорная длина профиля – отношение опорной длины η_p профиля к базовой длине l:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l},$$

где $\eta_p = \sum_{i=1}^{n} bi$ – опорная длина профиля – сумма длин отрезков b_i в пределах базовой длины, которые отсекаются на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной по отношению к средней линии m.

Стандартом установлено 14 классов чистоты (шероховатости) поверхности, числовые значения параметров Ra и Rz для которых приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

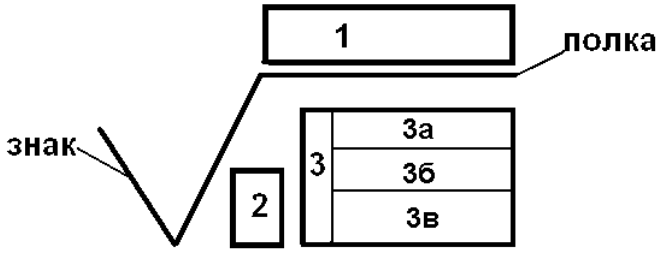
Числовые значения параметров *Ra* и *Rz*

Классы шероховатости	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Ra, мкм	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,012	–
Rz, мкм	200	100	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025

Обычно $Rz = 4Ra$. Шероховатость обработки поверхностей взаимосвязана со степенью точности выполненных размеров следующей зависимостью: $Ra = (0{,}1–0{,}15)\Delta$, где Δ – поле допуска на размер.

Стандартом ГОСТ 2.309–73 установлены следующие обозначения шероховатости поверхности и правила их нанесения на чертежах изделий.

Структура обозначения шероховатости поверхности на чертежах имеет следующий вид:



При этом в обозначении шероховатости поверхности применяются следующие знаки:

– для обозначения шероховатости поверхности, способ обработки которой конструктором не устанавливается;

– для обозначения шероховатости поверхности, которая должна быть образована удалением слоя материала;

– для обозначения шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, а также поверхностей, не выполняемых по данному чертежу.

1 – указывается способ обработки поверхности и другие дополнительные указания; причем способ обработки указывают только в случае, когда он является единственным.

2 – указывается условное обозначение направления неровностей, которые подразделяются на следующие, приведенные в табл. 3.3. Условные обозначения направления неровностей приводятся на чертеже при необходимости.

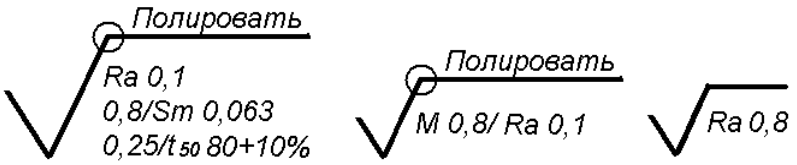
3 – указываются базовая длина/параметр (параметры) шероховатости по ГОСТ 2789–73. Для параметров *Ra*, *Rz*, R_{max} базовую длину в обозначении не приводят, если она соответствует указанной в приложении 1 данного стандарта. При указании двух и более параметров шероховатости в обозначении их значения записываются сверху вниз в следующем порядке:

3*а* – параметр высоты неровности профиля;

3*б* – параметр шага неровности профиля;

3*в* – относительная опорная длина профиля.

Примеры обозначения:



Примечание. Одинаковая шероховатость поверхностей замкнутого контура обозначается с дополнительным значком «О», который проставляется на стыке знака с полкой.

Таблица 3.3

Условные обозначения направления неровностей

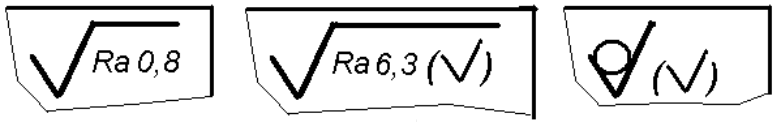
Обозначение	Направление неровностей	Изображение неровностей
	– параллельное	
	– перпендикулярное	
	– перекрещивающееся	
	– произвольное	
	– кругообразное	
	– радиальное	
	– точечное	

Обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис. 5.2) в следующих случаях:

– при одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия (рис. 5.2, *а*);

– при одинаковой шероховатости для части поверхностей, не указанных на изображениях изделия (рис. 5.2, *б*);

– при обозначении шероховатости для части поверхностей, не выполняемых по данному чертежу (рис. 5.2, *в*).



а) *б*) *в*)

Рис. 5.2. Примеры обозначения шероховатости поверхностей в правом верхнем углу чертежа

Оценка шероховатости поверхности производится при контроле и приемке деталей, а также при выполнении исследований в лабораторных условиях. Применяемые методы оценки можно разделить на прямые и косвенные.

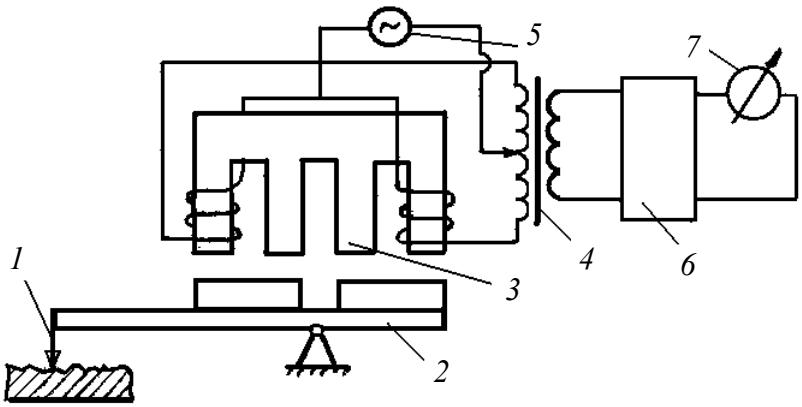


Рис. 5.3. Функциональная схема профилометра модели 240

Для прямой оценки применяют щуповые (профилометры и профилографы) и оптические (двойной и интерференционный микроскопы) приборы. В частности, действие профилометра цехового модели 240 основано на принципе ощупывания исследуемой поверхности алмазной иглой с малым радиусом закругления. При перемещении измерительного механизма этого прибора с помощью индивидуального привода, смонтированного в корпусе преобразователя, поперечные колебания алмазной иглы *1* (рис. 5.3) вызывают изменение воздушного зазора между якорем *2* и сердечником преобразователя *3*. Вследствие этого изменяется напряжение на выходе дифференциального трансформатора *4*, две половины первичной обмотки которого и катушки преобразователя *3* образуют мост. Питание же этого балансного моста осуществляется от генератора звуковой частоты *5*. Изменения напряжения в свою очередь усиливаются электронным блоком *6*,

на выходе которого включен показывающий индикатор *7* со шкалой, отградуированной в параметрах шероховатости *Ra*.

Для косвенной оценки используют эталоны шероховатости, а также интегральные методы контроля, такие как: пневматические измерительные головки; метод измерения электрической емкости между деталью и металлической поверхностью, которые разделены диэлектриком; по количеству отражаемого света, падающего на деталь и др.

6. Факторы, влияющие на качество обработанной поверхности

Параметр шероховатости поверхности зависит от многих факторов: метода обработки, режимов резания, геометрических параметров и качества поверхностей режущего инструмента, пластической и упругой деформации обрабатываемого материала, жесткости системы станок–приспособление–инструмент–заготовка и связанных с ней вынужденных колебаний и вибраций при резании, смазочно-охлаждающей жидкости и др.

Из параметров режимов резания наиболее существенное влияние на процесс образования шероховатости поверхности оказывают скорость резания и подача. Влияние скорости резания на шероховатость поверхности при обработке сталей выражается зависимостью, приведенной на графике (рис. 6.1, *а*). На данном графике можно выделить следующие четыре характерные зоны:

I зона – характеризуется весьма малыми скоростями резания (V = 1 м/мин), при которых нарост на резце не образуется;

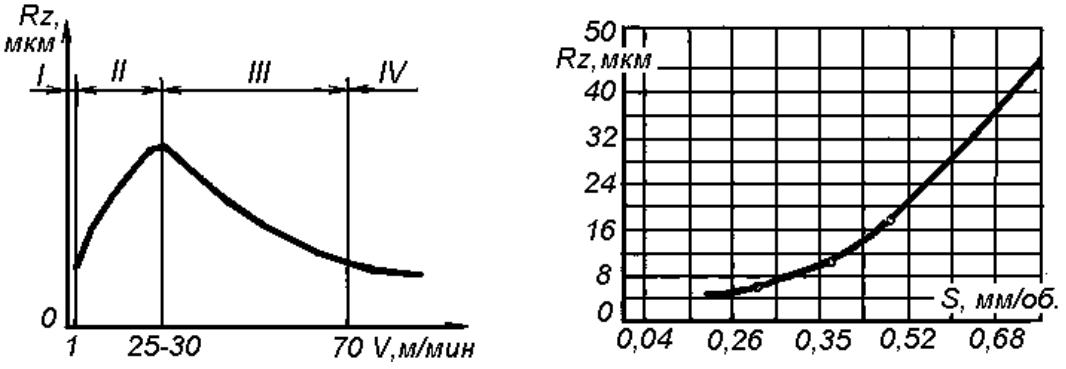
II зона – характеризуется тем, что на кончике резца появляется нарост, достигающий наибольшей высоты при скоростях резания 25–30 м/мин, что вызывает адекватное увеличение шероховатости поверхности;

III зона – характеризуется постепенным уменьшением нароста до его исчезновения при V = 70 м/мин и соответствующим уменьшением шероховатости поверхности;

VI зона – в которой при скоростях больших 70 м/мин нарост не успевает образовываться, и поэтому шероховатость обрабатываемой поверхности стабилизируется на оптимальном уровне.

Из зависимости, представленной на графике (рис. 6.1, *б*), видно, что чем больше подача, тем больше степень увеличения параметра шероховатости. Интенсивность этого приращения особенно сильно

возрастает на участке 0,6–0,7 мм/об., а дальше принимает постоянное значение. При малых подачах ($S \leq 0{,}2 - 0{,}5$ мм/об.) уменьшение параметра шероховатости с уменьшением подачи весьма незначительно в связи с тем, что чем меньше подача, тем большую роль в формировании шероховатости начинают играть микронеровности лезвия инструмента.



а) *б*)

Рис. 6.1. Графики зависимости параметра шероховатости от параметров режимов резания:
а – влияние скорости резания; *б* – влияние подачи

Глубина резания оказывает незначительное влияние на параметр шероховатости поверхности. Однако при малых ее значениях (меньших 0,2 мм) могут существенно измениться условия резания, приводящие к значительному возрастанию шероховатости обрабатываемой поверхности.

Силы и температура резания оказывают влияние на формирование поверхностного слоя, поэтому его физико-механические свойства отличаются от исходного материала. Материал поверхностного слоя испытывает наклеп и разупрочнение; изменяется его структура и микротвердость, а также образуются остаточные напряжения. Наклеп поверхностного слоя оценивают по глубине $h_{\text{Н}}$ и степени наклепа $u_{\text{Н}}$ градиентом наклепа $u_{\text{Гр}}$:

$$u_{\text{Н}} = \frac{H_{\max} - H_{\text{исх}}}{H_{\text{исх}}} 100; \quad u_{\text{Гр}} = \frac{H_{\max} - H_{\text{исх}}}{h_{\text{Н}}},$$

где $H_{\max}$ и $H_{\text{исх}}$ – соответственно, максимальная и исходная микротвердость поверхностного слоя металла.

Структуру металла поверхностных слоев оценивают металлографическим анализом с помощью металлографических микроскопов.

Остаточные напряжения определяют расчетными и экспериментальными методами. В частности, при экспериментальном методе, разработанном Н. Н. Давиденковым, остаточные напряжения определяют расчетами по деформации образца после снятия с него напряженного слоя. Следовательно, этот метод является разрушающим.

Состояние поверхностного слоя деталей оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства машин: износоустойчивость, усталостную прочность, стабильность посадок в сопрягаемых деталях (зазоров и натягов), а также коррозионную стойкость и др. Например, наклеп, возникающий в поверхностном слое, уменьшает износ поверхности в 1,5–2 раза. Наклеп и остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое повышают усталостную прочность, а остаточные напряжения растяжения снижают ее. Поверхности с меньшей шероховатостью меньше подвержены коррозии, а наклеп ускоряет коррозию в 1,5–2 раза.

Качество поверхности деталей машин определяется методами и режимами механической обработки. Его показатели могут быть улучшены путем применения как обычных методов обработки (точение, фрезерование, сверление, строгание), осуществляемых на оптимальных режимах, так и методами отделочно-упрочняющей обработки, одним из которых является алмазное выглаживание. Сущность алмазного выглаживания заключается в пластическом деформировании выступов, образующих шероховатость на обрабатываемой поверхности скользящим по ней выглаживателем, представляющим собой закрепленный в оправке алмазный кристалл.

7. Базы и погрешность установки заготовок на станках

В процессе обработки заготовка должна занимать вполне определенное положение относительно узлов станка и инструмента. Выбирают же это положение на основе теории базирования, основные определения и термины которой приведены в ГОСТ 21495–76.

Базированием называют придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Поверхность или выполняющие ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования, называют ***базой***. Различают базы конструкторские, технологические, измерительные и сборочные.

Конструкторскими базами называют совокупность поверхностей, линий или точек, посредствам которых определяется расчетное положение узла или детали относительно других деталей, узлов изделия. На чертеже эти базы часто представляют в виде геометрических элементов (оси симметрии, биссектрисы углов).

Измерительные базы – совокупность поверхностей, линий или точек, от которых производят отсчет выполняемых размеров при обработке деталей или проверку взаимного расположения поверхностей деталей. Если в качестве измерительной базы используют реальные поверхности, то проверка осуществляется обычными методами контроля. При использовании геометрических линий или точек применяют косвенные методы контроля.

Сборочными базами называют совокупность реальных поверхностей, определяющих фактическое положение деталей в изделии. Сборку изделия обычно производят, сопрягая сборочные базы его элементов друг с другом без всякой выверки. В отдельных случаях сборка элементов изделия производится с выверкой их взаимного положения по проверочным сборочным базам с последующей фиксацией элементов изделия.

Технологическими, или установочными, базами называют совокупность поверхностей линий или точек, определяющих положение обрабатываемой заготовки. При установке заготовок используют как реальные поверхности, так и геометрические линии и точки, материально представляемые на заготовке в виде разметочных полос. По месту положения установочных баз их делят на черновые, промежуточные и окончательные, а также основные и вспомогательные. Черновые базы используют на первых операциях обработки, когда никаких обработанных поверхностей на заготовке еще нет. Они служат для создания промежуточных установочных баз, а часто и сразу окончательных, используемых для завершающей обработки.

Основными базами являются те поверхности, которые предусмотрены конструкцией деталей и выполняют определенную роль при ее работе в изделии.

Вспомогательные базы – это поверхности, искусственно создаваемые на деталях из технологических соображений. Для работы детали в изделии эти поверхности не нужны и после завершающей обработки могут быть удалены (центровые гнезда валов, центрирующие пояски и т. д.).

7.1. Понятие о схеме базирования и опорных точках

Положение любого твердого тела в пространстве, в том числе и заготовки при обработке, характеризуется 6-ю степенями свободы, определяющими возможность его перемещения и поворота относительно трех координатных осей. Для ориентации и закрепления заготовки на станке количество и распределение базирующих поверхностей должно быть выбрано так, чтобы обеспечить ее статически определимую установку, для чего необходимо связать неподвижными опорами все шесть степеней свободы заготовки.

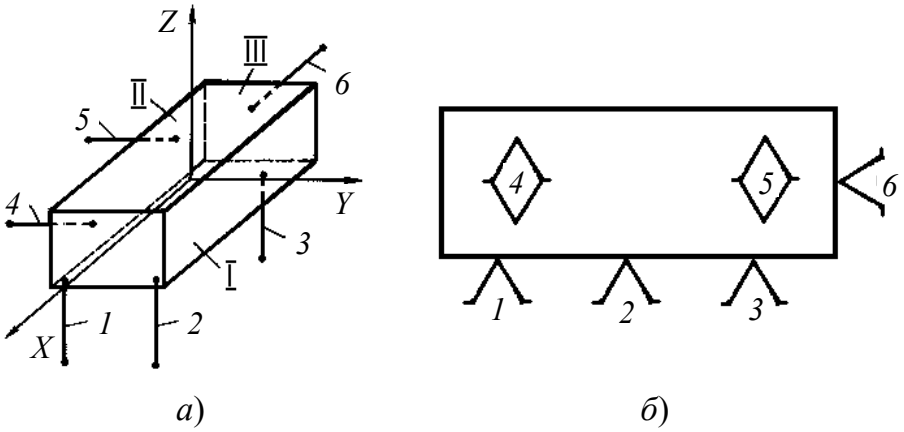


Рис. 7.1. Опорные точки и схема базирования призматической заготовки

Связывание каждой из степеней свободы заготовки может быть произведено путем прижатия ее в шести неподвижных опорных точках, расположенных в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, в том числе:

– к трем установочным точкам (1–3) в одной плоскости (рис. 7.1, *а*);

– двум направляющим(4–5) точкам другой плоскости;

– и одной опорной (6) точке в третьей плоскости.

Все остальные неподвижные опоры, используемые при закреплении, являются лишними. Это положение в технологии машиностроении обычно называют ***правилом шести точек***.

Опорная точка – это точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат.

Схемой базирования называют в свою очередь схему расположения опорных точек на базах (рис. 7.1, *б*), при этом все опорные точки на схеме изображают условными знаками (^,◊) и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее число опорных точек.

При выборе же установочной базы необходимо принимать поверхность на заготовке с наибольшими размерами. Две опорные точки следует располагать с наибольшим удалением друг от друга на поверхности в другой плоскости, имеющей наибольшую длину, а для опорной базы выбирают любой ровный участок соответствующей поверхности заготовки, расположенной в третьей плоскости.

В процессе разработки технологических процессов, решая вопросы выбора баз, следует стремиться к соблюдению принципов совмещения (единства) и постоянства баз.

• ***Принцип совмещения*** (***единства***) *баз* указывает на то, что в качестве технологических баз следует принимать поверхности, которые являются конструкторскими и измерительными базами. Если же технологическая база не совпадает, например, с измерительной, то необходимо пересчитывать размеры, определяющие взаимное расположение поверхностей. Это может привести к уменьшению допусков размеров обрабатываемых поверхностей и, соответственно, к снижению производительности и повышению себестоимости изготовления детали.

• ***Принцип постоянства баз*** заключается в том, что для выполнения всех операций обработки заготовки используются одни и те же технологические базы. Осуществление этого принципа снижает погрешности взаимного расположения обработанных поверхностей, так как смена баз сопровождается возникновением погрешности установки. Идеально выполняется этот принцип тогда, когда полная обработка всех поверхностей заготовки производится при одном установе с первоначальных баз.

7.2. Погрешности установки заготовки

Погрешностью установки называется величина отклонения фактически достигнутого положения заготовки при ее установке от требуемого. Погрешность установки (ε) формируется в результате действия погрешности закрепления $\Delta_з$, базирования $\Delta_б$ и приспособления $\Delta_{пр}$. В общем виде она может быть представлена как векторная сумма этих погрешностей:

$$\varepsilon = \Delta_з + \Delta_б + \Delta_{пр}.$$

При закреплении в результате действия на заготовку силы зажима (рис. 7.2, *а*) происходит деформирование в стыке «технологическая база – установочные элементы приспособления». Величина этой

деформации $Y = \Delta_з$ может быть определена по следующей эмпирической зависимости:

$$Y = CP^m,$$

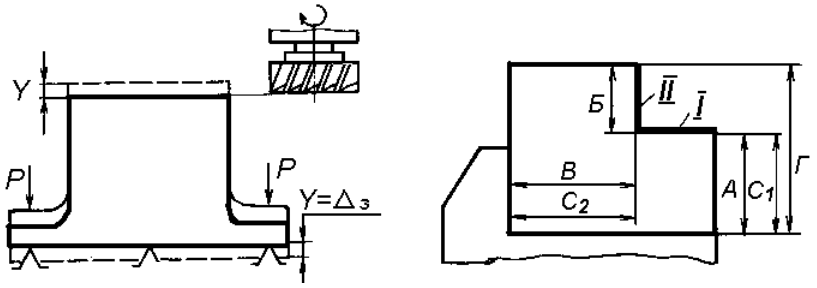
где C – коэффициент, зависящий от качества обработки контактирующих в стыке поверхностей и марки материала; P – сила, приходящаяся на опору приспособления; m – показатель степени; принимается 0,3–0,5.

Пути уменьшения погрешностей закрепления:

– стабилизация сил зажима;

– повышение качества контактирующих в стыке поверхностей;

– приложение сил закрепления на участках заготовки, имеющих наибольшую прочность.



а) *б*)

Рис. 7.2. Схемы образования погрешностей:
а – закрепления; *б* – базирования

Погрешности базирования возникают при несовпадении измерительной и технологической баз и определяются разностью расстояний от измерительной базы до установленного на размер инструмента. Например, при фрезеровании уступа на приведенной заготовке (рис. 7.2, *б*) инструмент настраивается на размеры C_1 и C_2 При этом погрешности базирования будут отсутствовать при обработке поверхностей *I* и *II* в размеры *A* и *B*, так как в этом случае измерительная и технологическая базы совпадают. Если же поверхность *I* обрабатывать в размер *Б*, то в этом случае возникает погрешность базирования $\Delta_б$, равная допуску на размер *Г*.

Погрешность приспособления $\Delta_{пр}$ определяется в свою очередь геометрическими погрешностями приспособления, изнашиванием его рабочих поверхностей в процессе эксплуатации и неправильной установкой приспособления на станке.

Для практических целей общая погрешность установки определяется в соответствии с правилами суммирования случайных величин по формуле

$$\varepsilon = 1{,}2\sqrt{\Delta_{з}^{2} + \Delta_{б}^{2} + \Delta_{пр}^{2}}.$$

Погрешности установки для конкретных условий обработки и приспособлений приведены в соответствующих справочниках по технологии машиностроения.

8. Факторы, влияющие на точность обработки

Точность обработки заготовки на станке зависит от влияния ряда факторов, основными из которых являются такие, как:

– погрешность установки заготовки ε;

– погрешность, вызванная упругими деформациями технологической системы под влиянием нестабильности силы резания $\Delta_{у}$;

– погрешность от размерного износа режущего инструмента $\Delta_{и}$;

– погрешность от неточности настройки станка и инструмента на размер $\Delta_{н}$;

– погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы $\Delta_{т}$;

– суммарная погрешность формы обрабатываемого элемента $\Sigma\Delta_{ф}$, которая обуславливается геометрическими неточностями станка и приспособления, остаточными напряжениями в материале заготовки и рядом других факторов. Следовательно: $\Delta = f(\Delta_{у}, \varepsilon, \Delta_{н}, \Delta_{и}, \Delta_{т}, \Sigma\Delta_{ф})$. Сущность погрешности установки заготовки ε уже рассмотрена в разделе 7.2.

8.1. Упругие деформации и жесткость технологической системы

При механической обработке станок–приспособление–режущий инструмент–заготовка представляют собой замкнутую упругую систему, называемую технологической системой. Сила резания при обработке вызывает упругие отжатия перечисленных элементов технологической системы, а их величина зависит как от силы резания, так и от жесткости элементов технологической системы, т. е. их способности противостоять действующей силе.

Жесткостью технологической системы называют отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатывае-

мой поверхности (P_y), к смещению лезвия инструмента относительно заготовки (y), отсчитываемому в том же направлении (рис. 8.1), т. е.

$$J = \frac{P_y}{y}, \text{ Н/мм.}$$

Понятие жесткости учитывает как упругие свойства системы, так и условия ее нагружения; при изменении условий нагружения жесткость также изменяется.

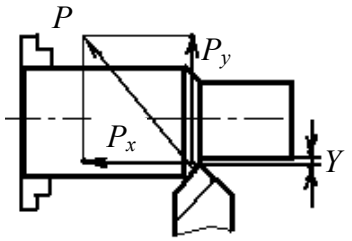


Рис. 8.1. Схема обработки заготовки на токарном станке

Расчеты жесткости технологической системы по жесткости отдельных ее звеньев значительно упрощаются, если пользоваться понятием податливости. Податливостью w (мм/Н) технологической системы называют величину, обратную жесткости, т. е.

$$w = \frac{1}{J} = \frac{y}{P_y}.$$

Для определения жесткости станков наиболее широко применяются статический и динамический методы. При ***статическом методе*** к узлу станка с помощью специальных приспособлений прикладывают нагрузку, а затем с помощью индикаторов снимают величину деформации при неработающем станке. Далее по полученным данным вычисляют жесткость технологической системы и станка. При ***динамическом*** (***производственном***) ***методе*** жесткость определяют в результате обработки резанием на исследуемом станке жесткой заготовки. При этом по результатам измерений заготовки и обработанной поверхности определяют погрешности заготовки $\Delta_з$ и детали $\Delta_д$, а далее по соответствующей методике, подробно изучаемой в лабораторной работе № 1, рассчитывают жесткость технологической системы и станка.

Анализируя конкретные производственные условия, необходимо стремиться к максимальному повышению жесткости звеньев технологической системы, а также к выравниванию жесткости составляющих элементов в различных сечениях и направлениях.

8.2. Размерный износ режущего инструмента

В процессе резания инструмент изнашивается. Его изнашивание может происходить по задней или передней поверхности резца, а также одновременно по этим поверхностям. На точность обработки оказывает влияние износ (и) лезвия инструмента в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности, который называется размерным износом. С незначительной погрешностью величину размерного износа вычисляют по формуле (рис. 8.2, *а*):

$$и = h_3 \mathrm{tg}\alpha$$

или более точно определяют экспериментально. Изучение размерного износа показало, что этот процесс не подчиняется строго линейной зависимости и выражается зависимостью, приведенной на графике (рис. 8.2, *б*).

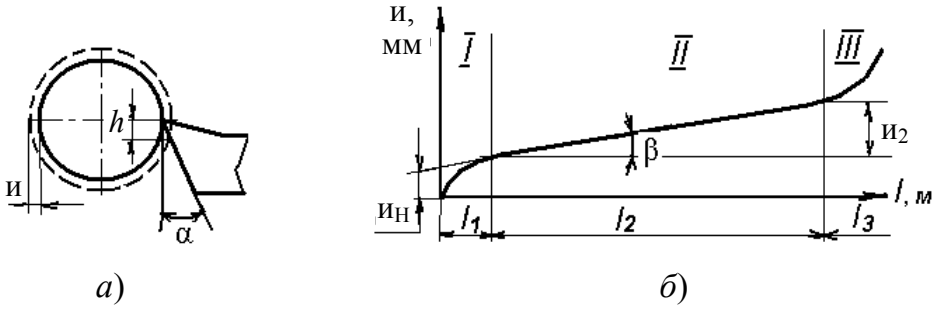


Рис. 8.2. Процесс размерного износа инструмента:
а – схема образования; *б* – зависимость размерного износа

В начальный период работы режущего инструмента (на участке *I*) наблюдается его повышенный износ вследствие зачистки неровностей (шероховатости) на режущей поверхности инструмента. Этот участок является незначительным; он обычно не превышает 1000 м работы инструмента и называется начальным износом $и_н$.

Второй период (участок *II*) является основным и характеризуется линейным нормальным износом инструмента. Его длина l_2 = 8000–30000 м, а угол наклона прямой (β) характеризует интенсивность размерного износа режущей кромки инструмента. Величину же $и_0 = \mathrm{tg}\beta = \frac{и_2}{l_2}$ принято называть относительным износом, где $и_2$ – размерный износ инструмента, получаемый за время основного периода его работы на пути l_2.

Зная для определенных условий обработки значения $и_н$ и $и_0$, можно определить размерный износ инструмента на длине рабочего пути l (в мкм) по формуле

$$\Delta и = и_н + \frac{и_0 l}{1000}, \text{ мкм.}$$

Это позволяет компенсировать влияние размерного износа на точность обработки при применении инструмента, допускающего поднастройку в процессе обработки. Для мерных режущих инструментов (сверл, зенкеров, фасонных фрез) такая компенсация исключена.

Третий период (участок *III*) соответствует быстропрогрессирующему износу, при котором через короткий промежуток времени происходит разрушение инструмента. Поэтому работа на участке *III* недопустима.

8.3. Погрешности настройки станка и инструмента на размер

Периодическая смена затупившегося инструмента требует каждый раз настраивать станок на выполняемый размер. Задача настройки заключается в том, чтобы выполняемые размеры на всех обрабатываемых заготовках находились в пределах заданного поля допуска. При этом расстояние между двумя предельными положениями инструмента называют погрешностью настройки станка ($\Delta_н$), которая, в свою очередь, зависит от метода выполнения настройки. Применяется же два следующих метода настройки:

1. ***Последовательным приближением*** к заданному настроечному размеру в результате обработки на станке пробных заготовок, размеры которых при этом проверяют измерительным инструментом и по этим данным определяют величину и направление необходимой поднастройки инструмента, компенсирующей погрешность.

2. ***Стендовым методом***, при котором режущий инструмент устанавливают в требуемое положение на стенде по специальному эталону. Установку производят в нерабочем (статическом) состоянии станка или вне его при использовании специальных стендов и, например, съемных суппортов, револьверных головок и других приспособлений.

Настройка последовательным приближением является более точной, но и трудоемкой, а используемые при этом пробные заготовки могут уйти в брак. Настройка по эталонам менее трудоемка и позволяет более полно использовать технологическое оборудование во времени.

8.4. Тепловые деформации технологической системы

В процессе обработки происходит нагрев технологической системы в результате выделения теплоты как в зоне резания, так и в различных узлах из-за трения, а также электродвигателем и другим электрооборудованием металлорежущих станков. Причем в начале работы наблюдается быстрое повышение температуры резца до 800–1000 °С и его удлинение, а затем наступает тепловое равновесие. График изменения точности в зависимости от нагрева резца приведен на рис. 8.3.

Если же обработка ведется с перерывами, то в зависимости от их длительности резец в это время может охлаждаться частично или полностью. Погрешности, вызываемые температурным деформированием режущего инструмента, можно практически исключить, если в зону резания подводить большое количество смазочно-охлаждающей жидкости.

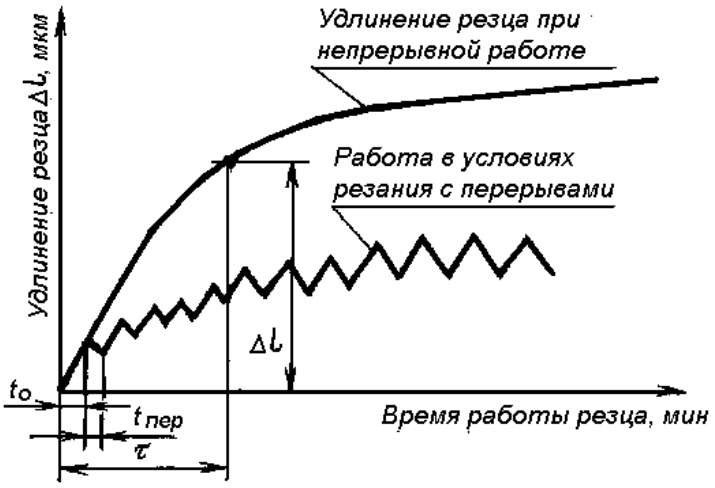


Рис. 8.3. Зависимость удлинения резца от времени его работы

Проведенные исследования показывают, что температурные деформации станин станков общего назначения в свою очередь незначительно влияют на точность обработки. Станины же прецизионных станков, для уменьшения их тепловых деформаций, изготовляют из материалов с малым коэффициентом теплового расширения, а для устранения влияния колебаний температуры окружающей среды такие станки устанавливают в помещениях с постоянной температурой.

8.5. Факторы, обуславливающие суммарную погрешность формы $\Sigma\Delta_Ф$

Суммарная погрешность формы обрабатываемого элемента $\Sigma\Delta_Ф$ вызывается геометрической неточностью станка и приспособления, остаточными напряжениями в материале заготовки, деформациями заготовки

под влиянием сил закрепления, неравномерными по различным сечениям заготовки упругими отжатиями элементов технологической системы и рядом других факторов.

В частности, ***геометрическая неточность*** станков и приспособлений определяются точностью изготовления их деталей, погрешностями взаимного расположения неподвижно закрепленных или перемещаемых узлов, вызванных неточностями сборки, а также износом их рабочих поверхностей в процессе эксплуатации. Эти погрешности станков и приспособлений проявляются на обрабатываемой поверхности заготовки в виде неперпендикулярности, конусности, некруглости и других постоянных погрешностей формы и расположения поверхностей. Неточность изготовления режущего инструмента тоже формирует погрешность механической обработки. При этом мерные и фасонные режущие инструменты (сверла, зенкеры, протяжки) оказывают непосредственное влияние на образование адекватной погрешности на обрабатываемых поверхностях, а погрешности немерного инструмента (резцы, фрезы, шлифовальные круги) оказывают влияние на точность обработки косвенно. Например, торцевое биение дисковых фрез оказывает влияние на размер между боковыми поверхностями пазов и т. д.

Остаточные напряжения в материале заготовки в свою очередь оказывают наибольшее влияние на точность обработки тонкостенных нежестких заготовок. Остаточными называют напряжения, которые существуют в заготовках или готовой детали при отсутствии внешних нагрузок. Эти напряжения полностью уравновешиваются соответствующей деформацией заготовок и ничем не проявляются. При нарушении же этого равновесия, вызываемого удалением с заготовки части материала в виде припуска, обработанная деталь начинает деформироваться до тех пор, пока перегруппировка напряжений не приведет к новому равновесному состоянию. В зависимости от метода получения заготовки различают следующие остаточные напряжения:

– литейные, возникающие при неравномерном охлаждении отливок;

– ковочные, образующиеся в поковках и штамповочных заготовках;

– термические, возникающие при термообработке деталей;

– сварочные, возникающие в сварных конструкциях;

– напряжения от наклепа, которые возникают при обработке резанием;

– напряжения, создающиеся при электролитических покрытиях деталей, и др.

Снятие или уменьшение остаточных напряжений достигается термической обработкой (отжигом или высокотемпературным отпуском), естественным старением и некоторыми методами механической обработки (дробеструйной обработкой, остукиванием). В частности, естественное старение заключается в длительном вылеживании заготовок на воздухе в течение от 3 до 6-ти месяцев. Для уменьшения остаточных напряжений в отливках их механическим остукиванием используют пневматические молотки, а для сварных конструкций часто применяют дробеструйную обработку. Однако эти методы не дают радикальных результатов и только несколько снижают величину деформаций, вызываемых остаточными напряжениями.

9. Определение суммарной погрешности механической обработки

Суммарная погрешность, или поле рассеивания выполняемого размера при механической обработке заготовок на настроенном станке, является следствием влияния ряда рассмотренных ранее факторов, каждый из которых вызывает появление отдельной первичной погрешности. Следовательно, в обобщенном виде суммарную погрешность механической обработки можно выразить следующей зависимостью:

$$\Delta = f(\Delta_{у},\ \varepsilon,\ \Delta_{н},\ \Delta_{и},\ \Delta_{Т},\ \Sigma\Delta_{Ф}),$$

где $\Delta_{у}$ – погрешность выполняемого размера, вызываемая упругими деформациями технологической системы под влиянием нестабильности силы резания; ε – погрешность установки заготовки; $\Delta_{н}$– погрешность настройки станка; $\Delta_{и}$– погрешность, вызываемая износом режущего инструмента; $\Delta_{Т}$ – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы; $\Sigma\Delta_{Ф}$ – суммарная погрешность формы обрабатываемого элемента, которая обуславливается геометрическими неточностями станка и приспособлений, деформациями заготовки от влияния сил закрепления, остаточными напряжениями в материале заготовки и рядом других факторов.

Задачу определения суммарной погрешности механической обработки можно решать путем алгебраического суммирования всех первичных погрешностей, т. е.

$$\Delta = \Delta_{у} + \varepsilon + \Delta_{н} + \Delta_{Т} + \Delta_{и} + \Sigma\Delta_{Ф}.$$

Расчет суммарной погрешности обработки по данной формуле прост, однако значение Δ при этом получается максимально возможным и несколько завышенным. Принятие же технологического припуска по данному значению приводит к увеличению общего припуска на обработку и, соответственно, трудоемкости изготовления детали.

В связи с этим для определения оптимального значения суммарной погрешности преимущественно пользуются следующей формулой из теории вероятности, по которой суммируют пять первых членов этого выражения:

$$\Delta = t\sqrt{\lambda_1\Delta_{\text{у}}^2 + \lambda_2\varepsilon^2 + \lambda_3\Delta_{\text{н}}^2 + \lambda_4\Delta_{\text{н}}^2 + \lambda_5\Delta_{\text{т}}^2},$$

где t – коэффициент, определяющий процент риска получения брака при обработке: при t = 1 риск составляет 32 %; при t = 2 он равен 4,5 % и при t = 3 он равен 0,27 %; $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_5$ – коэффициенты, зависящие от формы кривых распределения соответствующих первичных погрешностей.

Для кривой распределения, близкой к нормальной, $\lambda = 1/9$. К такому распределению погрешностей близки $\Delta_{\text{у}}$, ε и $\Delta_{\text{н}}$; следовательно, можно принять $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1/9$.

Для распределения погрешности, подчиняющегося закону Симпсона, график принимает форму треугольника, $\lambda = 1/6$.

Для распределения погрешности по закону равной вероятности и в случае, когда о форме кривой распределения ничего неизвестно, – $\lambda = 1/3$. Поскольку распределение погрешности $\Delta_{\text{и}}$ подчиняется закону равной вероятности, а характер распределения величины $\Delta_{\text{Т}}$ мало изучен, то $\lambda_4 = \lambda_5 = 1/3$.

Приняв t = 3 и поставив его вместе с численными значениями $\lambda_1 - \lambda_5$ в приведенную формулу, после преобразований получим следующую окончательную формулу, обеспечивающую определение оптимального значения суммарной погрешности механической обработки:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{у}}^2 + \varepsilon^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + 3\Delta_{\text{и}}^2 + 3\Delta_{\text{Т}}^2} + \Sigma\Delta_{\text{ф}}.$$

При ***обработке поверхностей мерным инструментом***, например, сверлением, зенкерованием, развертыванием, суммарная погрешность диаметра обработанного отверстия определяется по формуле

$$\Delta = a_{\max} + \delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{и}} - a_{\min},$$

где a_{max} – разбивка отверстия при наибольшем предельном размере инструмента d_{max}; $\delta_и$ – допуск на диаметр инструмента; $\Delta_и$ – размерный износ, допустимый при наименьшем предельном диаметре инструмента; a_{min} – разбивка отверстия при допустимом наименьшем диаметре инструмента с учетом его размерного износа.

Общие пути повышения точности механической обработки реализуются путем минимизации всех факторов, вызывающих возникновение рассмотренных первичных погрешностей.

10. Анализ параметров качества изделий с помощью методов математической статистики

В теории вероятности и математической статистики разработаны методы, с помощью которых можно объективно оценить точностные характеристики реальных технологических процессов. В настоящее время наиболее широко в производстве используются два следующих метода:

– метод кривых нормального распределения и больших выборок;

– метод точечных диаграмм и малых выборок.

Эти вероятностно-статистические методы используют для оценки точности и стабильности технологических процессов обработки, определения ожидаемой доли брака, установления зависимости между точностными характеристиками смежных операций и решения некоторых других задач.

Выборкой же называют часть деталей, отобранных из изучаемой партии определенным способом.

10.1. Метод кривых нормального распределения

Многочисленными исследованиями установлено, что в технологии машиностроения распределение размеров изготовленных деталей чаще всего происходит по закону нормального распределения (закону Гаусса). Кривая распределения Гаусса характеризуется в свою очередь следующим уравнением:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднеквадратичное отклонение аргумента; *e* – основание натуральных логарифмов; *a* – значение абсциссы, при котором ордината (*y*) кривой достигает максимума; величина (*a*) является центром распределения аргумента и в то же время его средней арифметической, т. е. $a = x_{ср}$.

График данной зависимости имеет симметричную шатрообразную форму, приведенную на рис. 10.1. Практически вся (99,73 %) площадь кривой нормального распределения находится в пределах $\pm 3\sigma$. При этом величина σ является мерой точности, характеризующей форму кривой распределения Гаусса. При больших значениях σ эта кривая получается пологой и поле рассеивания растет, а при малых значениях σ кривая сильно вытягивается вверх с малым полем рассеивания размеров.

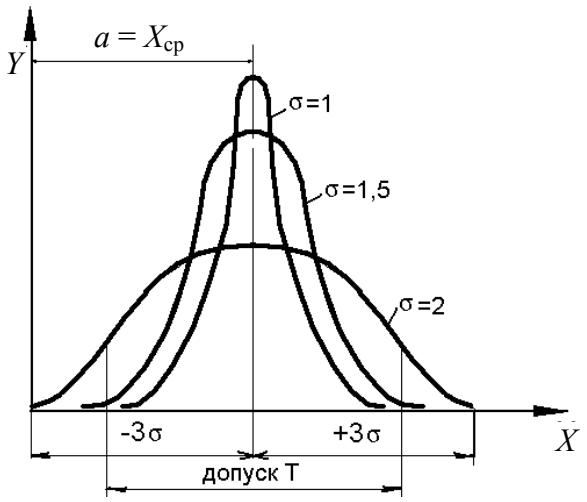


Рис. 10.1. Кривая распределения Гаусса

При правильном построении технологического процесса обработки деталей должно выполняться условие:

$$\sigma > \sigma_1 > \sigma_2 \ldots,$$

где σ – среднеквадратичное отклонение аргумента по размерам заготовок; σ_1 – среднеквадратичное отклонение аргумента по размерам после их предварительной обработки; σ_2 – среднеквадратичное отклонение аргумента, соответственно, по размерам после получистовой, чистовой и т. д. обработки деталей.

Определяется же значение σ по результатам измерений партии деталей по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - x_{\text{ср}}\right)^2}{n}},$$

где n – количество измеренных деталей в исследуемой партии; рекомендуется, чтобы $n = 50$, при этом погрешность определения σ будет составлять ±10 %; x_i – значение текущего измерения; $x_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$ – среднее арифметическое от произведенных измерений.

Вычисления величин $x_{\text{ср}}$ и σ удобнее выполнять, занося данные по измерениям и расчетам в соответствующую таблицу.

Зная значение среднеквадратичного отклонения аргумента σ и пользуясь построенной по этому значению кривой распределения Гаусса, можно определить вероятное количество годных деталей в исследуемой партии при заданном на данный размер допуске Т. Для этого сравнивают допуск Т на размер с величиной $\Delta = 6\sigma$ и оценивают качество обработки через коэффициент точности $К_Т$, определяемый по формуле $К_Т = Т/6\sigma$.

При правильной настройке станка изготовление деталей осуществляется без брака, если $К_Т > 1$. При $К_Т < 1$ вероятно появление бракованных деталей, количество которых может быть определено соответствующими расчетами. Обработка считается надежной, если $К_Т \geq 1{,}2$.

Данный метод позволяет получить объективную оценку точности выполнения данной операции на конкретном оборудовании.

10.2. Метод точечных диаграмм и малых выборок

При этом методе в процессе обработки деталей берут со станка малые текущие выборки (по 5 деталей) в течение рабочей смены через определенные промежутки времени (через 0,5–1 ч). Данные детали измеряют по контролируемым поверхностям измерительным инструментом и для каждой выборки по полученным значениям определяют:

– $X_{\text{ср}} = \frac{\Sigma_1^n X_i}{n}$ – среднее арифметическое значение выборки;

– $R = X_{\max} - X_{\min}$ – размах выборки, т. е. разность между наибольшим и наименьшим размерами выборки, где X_i – значение текущего измерения деталей; n – количество деталей в выборке.

Для построения точечной диаграммы вычерчивают график, на котором по оси ординат наносят значения $X_{ср}$ и R, а по оси абсцисс время взятия выборок или их номера (рис. 10.2).

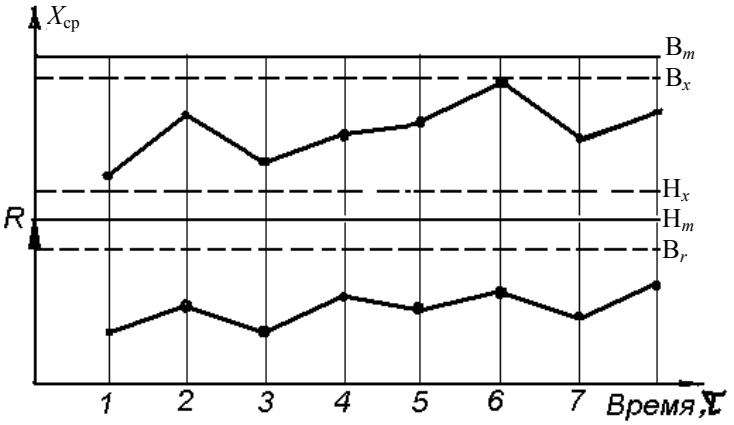


Рис. 10.2. Точечная диаграмма

На диаграмму также наносятся контрольные линии B_m, H_m, B_x, H_x, B_r. При этом линии B_m и H_m называются линиями верхнего и нижнего технических пределов; они соответствуют наибольшему и наименьшему предельным размерам заданного чертежа. Линии B_x, H_x, B_r в свою очередь соответствуют контрольным значениям амплитуды колебаний выборочных средних и размахов; их определяют по формулам, которые приведены в курсах математической статистики. Верхняя B_x и нижняя H_x контрольные линии устанавливают границы возможных колебаний выборочных средних $X_{ср}$ при нормальном ходе пресса. Выход точки за границы этих линий является сигналом, по которому следует произвести подналадку станка. Выход точки R за линию B_r сигнализирует о недопустимом рассеивании размеров, вызванном неисправностями станка, которые необходимо немедленно устранить. Данный метод позволяет следить за ходом процесса и изменением точности обработки на станке во времени.

Рассмотренные статистические методы контроля за процессом обработки деталей не отражают степень влияния отдельных факторов на образование суммарной погрешности и, следовательно, не дают необходимой информации для управления точностью обработки – это является их главным недостатком.

11. Припуски на обработку заготовок

При проектировании технологических процессов механической обработки заготовок необходимо установить оптимальные припуски,

которые обеспечили бы заданную точность и качество обрабатываемых поверхностей.

Припуском называют слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности.

Припуски в свою очередь подразделяются на общие, операционные, промежуточные, а также симметричные и асимметричные.

Общий припуск $Z_о$ удаляется с рассматриваемой поверхности в процессе ее полной механической обработки для получения заданных чертежных размеров и шероховатости. Он определяется разностью размеров между исходной заготовкой $L_з$ и готовой деталью $L_д$, причем:

$Z_о = L_з - L_д$ – для наружных поверхностей;

$Z_о = L_д - L_з$ – для внутренних поверхностей.

Операционный припуск – это часть общего припуска, удаляемая при выполнении одной технологической операции (фрезерование, шлифование), а *промежуточный припуск* Z_i – это часть операционного припуска, удаляемая при выполнении одного технологического перехода.

Исходя из изложенного, общий припуск можно представить в следующем виде:

$$Z_о = \sum_{i-1}^{n} Z_i,$$

где n – число технологических переходов, выполняемых в процессе обработки рассматриваемой поверхности; Z_i – припуск, удаляемый на соответствующем технологическом переходе.

Симметричные припуски имеют место при обработке наружных и внутренних поверхностей тел вращения (цилиндрических, конических), а также при одновременной обработке противолежащих поверхностей с одинаковыми припусками; при этом:

– для наружных цилиндрических поверхностей (рис. 11.1, *а*) $2Z_о = D_з - d_д$;

– для внутренних поверхностей (рис. 11.1, *б*) $2Z_о = d_д - D_з$.

Асимметричный припуск будет в том случае, когда противолежащие поверхности обрабатываются независимо одна от другой, а также когда одна из противолежащих поверхностей не обрабатывается.

На припуск устанавливают ***допуск*** T_d, который является разностью между наибольшим и наименьшим значениями припуска (рис. 11.1, *в*).

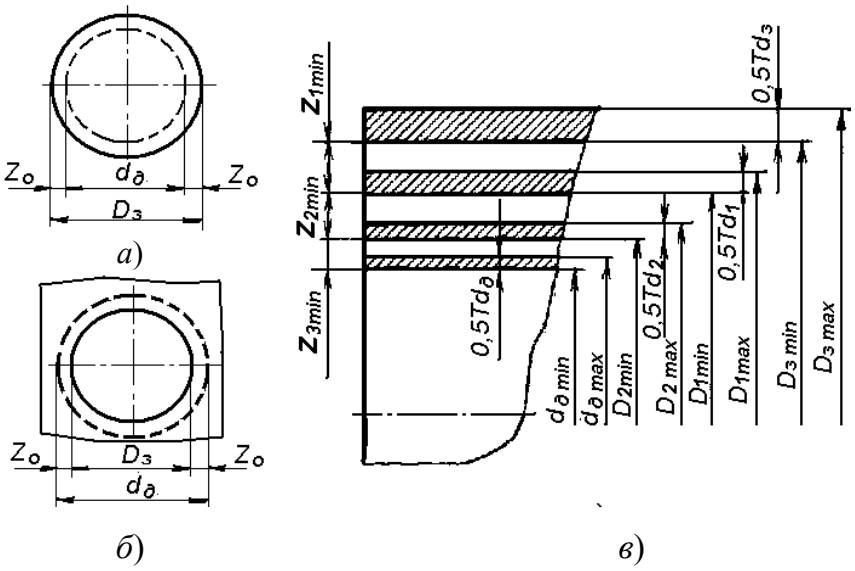


Рис. 11.1. Схемы припусков на обработку поверхностей:
а – для наружных цилиндрических поверхностей; *б* – для внутренних поверхностей; *в* – установление допуска T_d

Установление оптимальных припусков играет важную роль при разработке технологических процессов изготовления деталей. Завышенные припуски приводят к повышенному расходу материалов и энергии, введению дополнительных технологических переходов, а иногда и операций, а уменьшенные припуски не обеспечивают удаления дефектных поверхностных слоев материала и достижения заданных параметров обрабатываемой поверхности, что приводит к появлению брака.

11.1. Методы определения припусков на обработку

Применяется два следующих основных метода определения припусков на механическую обработку: опытно-статистический и расчетно-аналитический.

Опытно-статистический метод находит широкое применение в машиностроении в условиях единичного и мелкосерийного производства. При этом методе припуск на обработку устанавливают по стандартам и таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых предприятий и приводятся в стандартах и технологических справочниках. В этих таблицах припуски даны в зависимости от массы и габаритных размеров деталей, а также их конструктивных форм, заданных параметров точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Недостаток этого метода в том, что припуски устанавливаются на предельно неблагоприятные условия обработки и поэтому получают-

ся несколько завышенными, что приводит к увеличению расхода материала и трудоемкости изготовления деталей.

Поэтому в серийном и массовом производствах припуски определяют ***расчетно-аналитическим методом***, который был разработан профессором В. М. Кованом. Этим методом минимальные припуски рассчитывают на основе анализа факторов, влияющих на их формирование, с использованием нормативных материалов. Причем припуски на обработку рассчитывают таким образом, чтобы на выполняемом технологическом переходе были устранены погрешности обработки, которые остались от предшествующего перехода. На схеме механически обработанного поверхностного (рис. 11.2) слоя при этом различают:

– Rz_{i-1} – высоту неровностей, характеризующую шероховатость поверхности;

– А – удаляемую дефектную часть поверхностного слоя глубиною h_{i-1};

– Б – неудаляемую часть поверхностного слоя;

– В – исходную структуру материала.

Из этой схемы следует, что качество поверхности характеризуется параметром шероховатости, а также состоянием и глубиной поверхностного слоя. При этом надо учитывать глубину не всего поверхностного слоя, а лишь его дефектной части (h_{i-1}). При расчете припуска необходимо стремиться оставить часть (Б) наклепанного поверхностного слоя как более износостойкую, чем нижележащие слои исходной структуры, и способствующую получению меньшей шероховатости поверхности при ее обработке в зоне этого слоя.

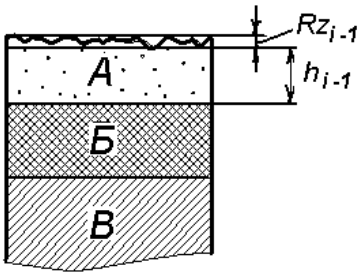


Рис. 11.2. Схема поверхностного слоя после обработки

При расчете припуска следует также учитывать пространственные отклонения ($\Sigma\Delta_{\Phi}$), имеющиеся на обрабатываемой поверхности (кривизну, коробления, эксцентричность, увод оси отверстия, непараллельность и т. д.), а также могущую возникнуть погрешность установки ε.

С учетом изложенного минимальный промежуточный припуск на выполняемом переходе для конкретных видов обработки определяется по следующим формулам:

– для асимметричного припуска при последовательной обработке противоположных плоских поверхностей:

$$Z_{\min} = \left(Rz_{i-1} + h_{i-1}\right) + \left(\Sigma\Delta_{\text{ф}_{i-1}} + \varepsilon_i\right);$$

– для симметричного припуска при параллельной обработке противолежащих плоских поверхностей:

$$2Z_{i\min} = 2\left[\left(Rz_{i-1} + h_{i-1}\right) + \left(\Sigma\Delta_{\text{ф}_{i-1}} + \varepsilon_i\right)\right];$$

– для симметричного припуска при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения:

$$2Z_{i\min} = 2\left[\left(Rz_{i-1} + h_{i-1}\right) + \sqrt{\Sigma\Delta^2_{\text{ф}_{i-1}} + \varepsilon_i^2}\right],$$

где $\Sigma\Delta_{\text{ф}_{i-1}}$ – пространственные отклонения обрабатываемой поверхности (кривизна, коробление, эксцентричность); ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Данные формулы являются основными, общими для расчета припусков на механическую обработку. В ряде конкретных случаев отдельные составляющие этих формул могут быть исключены. Например, когда целью обработки поверхности является лишь уменьшение параметров ее шероховатости (полирование, суперфиниширование), минимальный припуск рассчитывается по формуле $2Z_{i\min} = 2Rz_{i-1}$ и т. д.

Расчет минимальных промежуточных припусков на обработку производят для определения расчетных размеров обрабатываемой поверхности по всем технологическим переходам – от готовой детали до исходной заготовки – по следующим формулам:

– для наружных поверхностей: $L_{(i-1)\min} = L_{i\min} + Z_{i\min}$; $L_{(i-1)\max} = L_{(i-1)\min} + TL_{(i-1)}$;

– для тел вращения: $d_{(i-1)\min} = d_{i\min} + 2Z_{i\min}$; $d_{(i-1)\max} = d_{(i-1)\min} + Td_{(i-1)}$;

– для внутренних поверхностей: $L_{(i-1)\max} = L_{i\max} - Z_{i\min}$; $L_{(i-1)\min} = L_{(i-1)\max} - TL_{(i-1)}$;

– для внутренних поверхностей тел вращения: $D_{(i-1)\max} = D_{i\max} - 2Z_{i\min}$; $D_{(i-1)\min} = D_{(i-1)\max} - TD_{(i-1)}$,

где $TL_{(i-1)}$, $Td_{(i-1)}$, $TD_{(i-1)}$ – допуски на припуск под обработку; определяются по таблицам справочника технолога в зависимости от точности обработки и величины размера обрабатываемой поверхности.

Максимальные припуски принимают в качестве глубины резания и используют для определения режимов обработки (мощности, подачи, глубины и скорости резания), а также для выбора технологического оборудования по мощности. Схема образования промежуточных размеров наружной цилиндрической поверхности при ее обработке черновым, чистовым и тонким точением приведена на рис. 11.1, *в*. В необходимых случаях, продиктованных конкретными условиями, общий припуск на механическую обработку рекомендуется перераспределять следующим образом: 60 % суммарного припуска отводить для черновой, а остальную часть (40 %) – для чистовой обработки; при черновой, получистовой и чистовой обработке поверхности припуск рекомендуется распределять в пропорциях – 45 % на черновую, 30 % на получистовую и 25 % на чистовую обработки.

12. Методы получения заготовок

Для проектирования технологических процессов необходимо знать характеристику технологических методов, в которых приводятся обобщенные сведения по достижимой точности и шероховатости получаемых поверхностей, диапазону размеров, сложности формы, а также экономической целесообразности применения тех или иных методов получения заготовок. В частности, заготовки для изготовления деталей машин обычно получают методами литья, обработкой материалов давлением, резкой из проката, порошковой металлургией, а также их изготовляют из пластмасс.

12.1. Характеристика методов получения заготовок литьем

Литье – один из экономичных процессов получения заготовок сложной формы, больших и малых размеров из различных металлов, включающий в себя более 50-ти разновидностей литья. Наиболее распространенными из них являются следующие:

• ***Литье в землю при ручной формовке*** по деревянным моделям или шаблонам в почве, кессонах и опоках – способ получения отливок в формах, изготовленных из песчано-глинистых формовочных материалов. Этим способом получают заготовки массой 100 т и более из чугуна, стали, цветных и специальных сплавов в единичном и мелко-

серийном производстве с точностью размеров по квалитетам *IT*19–*IT*20 и шероховатостью поверхностей ниже 1-го класса.

• ***Литье в землю при машинной формовке*** по деревянным и металлическим моделям в опоках. Получают отливки массой до 15 т из тех же металлов и сплавов в серийном и крупносерийном производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*15–*IT*19 и шероховатостью поверхностей по 1–2 классам.

• ***Литье в полупостоянные формы*** (цементные, графитовые, асбестовые или графит-асбестовые). Получают заготовки массой до 30 т простой формы из тех же металлов и сплавов в серийном производстве с точностью размеров по квалитетам *IT*16–*IT*17 и шероховатостью поверхностей по 1–2 классам.

• ***Литье в оболочковые формы*** – процесс получения отливок путем свободной заливки расплавленного металла в оболочковые формы из термореактивных смесей. Получают заготовки массой до 100 кг сложной конфигурации из тех же металлов и сплавов в крупносерийном и массовом производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*14–*IT*16 и шероховатостью поверхности по 4–6 классам. Изготовленные отливки имеют плотную однородную мелкозернистую структуру и высокие механические свойства.

• ***Литье по выплавляемым моделям*** – способ получения фасонных отливок из металлических сплавов в неразъемной тонкостенной оболочковой форме, рабочая полость которой образована удалением литейной модели выжиганием, растворением или выплавлением в горячей воде. Отливка при этом образуется в оболочке, состоящей из жаропрочного состава с термореактивным связующим материалом, которым облицовывается модель перед заливкой. После затвердевания отливки эту оболочку разрушают. Таким способом получают заготовки массой до 300 кг в единичном и серийном производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*13–*IT*15 и шероховатостью поверхности по 4–6 классам, что часто позволяет использовать их как готовые детали, без дополнительной обработки.

• ***Центробежное литье*** – способ получения отливок путем свободной заливки расплавленного металла во вращающиеся формы, где под действием центробежных сил он отбрасывается к стенкам формы и затвердевает, образуя отливку. Применяют в основном в серийном и массовом производствах для получения пустотелых заготовок типа тел вращения диаметром до 600 мм с точностью наружных размеров по квалитетам *IT*16–*IT*18 и шероховатостью поверхности по 1–2 клас-

сам, эти же параметры на внутренних поверхностях получаются существенно ниже.

• ***Литье в кокиль*** – способ получения фасонных отливок в металлических многократно используемых формах (кокилях) с естественным или принудительным охлаждением, заполняемых расплавленным металлом под действием гравитационных сил. Получают заготовки в серийном и массовом производствах из чугуна, стали, алюминиевых, магниевых и других сплавов массой до 7 кг с точностью размеров по квалитетам *IT*13–*IT*15 и шероховатостью поверхности по 3–5 классам.

• ***Литье под давлением*** – способ, при котором на расплавленный металл, залитый в камеру прессования, сообщающуюся с оформляющей полостью разъемной металлической пресс-формы, давит поршень, в результате чего расплав быстро заполняет форму и застывает в ней, приобретая при этом плотную структуру с точными очертаниями отливки. Этим способом получают заготовки в серийном и массовом производствах из сплавов цветных металлов и некоторых сталей массой до 20 кг и толщиной конструктивных элементов до 0,5 мм, а также с точностью размеров по квалитетам *IT*11–*IT*14 и шероховатостью поверхности по 5–7 классам, что часто позволяет использовать их как готовые детали, без дополнительной обработки.

12.2. Характеристика методов получения заготовок обработкой давлением

Высокоэффективный характер технологий кузнечно-штамповочных процессов основан на придании заготовкам заданной формы и размеров преимущественно путем рационального перераспределения металла. Достоинствами этих методов являются кратковременность технологического цикла, высокая производительность, а также улучшение структуры и механических свойств обрабатываемых металлов. При этом заготовки получают ковкой, объемной и листовой штамповкой, прессованием, высадкой, прокаткой и специальными методами. При подготовке к кузнечно-штамповочным процессам исходный металл (слитки, прутки и др.) зачищают и разрезают на части, выбирают нагревательные устройства и режимы нагрева, а также при необходимости исходный металл нагревают до заданных температур. Наиболее же распространенными являются следующие методы получения заготовок:

• ***Свободная ковка на молотах и прессах*** – способ, при котором инструмент оказывает многократное прерывистое воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она деформируется и постепенно приобретает требуемую форму и размеры. Этим способом получают заготовки массой до 250 т из углеродистых и легированных сталей, а также специальных сплавов в единичном и мелкосерийном производстве с точностью размеров по квалитетам *IT*19–*IT*20 и шероховатостью поверхностей ниже 1-го класса.

• ***Ковка на молотах и прессах с подкладными штампами***, форма сопрягающихся выемок в которых приближается к форме изготовляемой заготовки или точно ей соответствует. Получают заготовки массой до 150 кг средней сложности за несколько ударов по ней из тех же материалов в мелкосерийном производстве с точностью размеров по квалитетам *IT*17–*IT*19 и шероховатостью поверхностей по 1–2 классам.

• ***Ковка на радиально-ковочных и ротационных машинах*** – способ, при котором находящиеся во вращающемся шпинделе ползуны с бойками, наскакивая на ролики неподвижного сепаратора, перемещаются к центру шпинделя, производя при этом радиальное обжатие заготовки. Получают ступенчатые заготовки в форме тел вращения диаметром до 100 мм и массой до 200 кг из тех же материалов в серийном производстве с точностью размеров по квалитетам *IT*17–*IT*19 и шероховатостью поверхностей по 2–3 классам.

• ***Штамповка на молотах и прессах*** – способ получения объемных заготовок в штампах, имеющих от одного до нескольких ручьев, сопрягающиеся выемки в одной или обеих рабочих частях которых соответствуют последовательно деформируемой в них заготовке. Получают заготовки массой до 200 кг средней сложности из тех же материалов в серийном и массовом производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*17–*IT*19 и шероховатостью поверхностей по 1–2 классам.

• ***Прессование*** – способ, при котором металл выдавливается пуансоном из замкнутого объема через отверстие соответствующей формы в матрице (прямое прессование), а также через отверстие в пуансоне или через зазор между пуансоном и матрицей (обратное прессование). Получают заготовки в виде прутков с требуемым профилем, а также пустотелые в форме тел вращения диаметром до 200 мм из низкоуглеродистых сталей и сплавов цветных металлов в серийном

и массовом производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*12–*IT*14 и шероховатостью поверхностей по 1–2 классам.

• ***Прокатка заготовок на ковочных вальцах и поперечно-клиновых станках*** – процесс, при котором заготовка формируется ее прокатыванием между двумя приводными валками, снабженными секторными штампами с калибрами (на ковочных вальцах) или между линейно перемещающимися плитами с калибрами (на поперечно-клиновых станках). Получают заготовки в форме тел вращения несложной формы массой до 250 кг из низкоуглеродистых сталей и сплавов в мелкосерийном и серийном производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*15–*IT*17 и шероховатостью поверхностей по 1–2 классам.

• ***Холодная высадка***, которая осуществляется на высокопроизводительных 1–3 позиционных автоматах, работающих по принципу горизонтально-ковочных машин. Из калиброванных прутков или проволоки диаметром от 0,6 до 40 мм, выполненных из углеродистой, легированной стали и цветных металлов и сплавов, получают в крупносерийном и массовом производствах заготовки в форме тел вращения (болты, заклепки, гвозди, шарики, ролики, колпачки) с точностью размеров по квалитетам *IT*11–*IT*13 и шероховатостью поверхностей по 5–6 классам.

• ***Прокатка и волочение специальных профилей***, где прокатка – это процесс обжатия между валками прокатного стана слитка для уменьшения поперечного сечения и придания ему фасонной формы, а волочение – это протягивание прутков, труб или проволоки через сужающийся канал инструмента (волоки) с той же целью. Получают разнообразные фасонные профили размерами до 50 × 50 мм из стали, цветных металлов и сплавов в крупносерийной и массовом производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*11–*IT*13 и шероховатостью поверхностей по 3–5 классам для последующего изготовления из них штучных заготовок и деталей.

• ***Листовая штамповка*** – это процесс изготовления заготовок и деталей путем их штамповки из полос, листов и лент, выполненных из сталей, цветных металлов и сплавов, в разделительных, вытяжных, гибочных, формовочных и специальных штампах. Этим способом получают заготовки и детали разнообразной формы с размерами в плане до 1000 × 1000 мм и более в серийном и массовом производствах с точностью размеров по квалитетам *IT*12–*IT*14 и шероховатостью обрабатываемых поверхностей по 3–5 классам.

12.3. Характеристика методов получения заготовок из сортового проката

Большое количество разнообразных заготовок изготовляют из проката в виде листов, полос и лент, круглых, квадратных, прямоугольных и шестигранных прутков, уголков, труб и проволоки, а также швеллеров, рельсов, балок двутавровых и т. д. Перед отрезкой заготовок при необходимости осуществляют правку проката на правильных машинах, прессах или правильно-растяжных установках. Наиболее распространенными являются следующие методы получения заготовок из проката:

• ***Кислородная резка*** – основана на сгорании металла, нагретого газокислородным пламенем до температуры, близкой к температуре плавления, в струе режущего кислорода и удаления этой струей образующихся окислов. В качестве горючих применяются ацетилен, пропан-бутан, природный и пиролизный газы, а также пары керосина. Вырезают заготовки различной конфигурации из листового проката толщиной до 150 мм и профильного проката диаметром до 300 мм со скоростью резки от 75 до 440 мм/мин и с точностью: при ручной резке – от ±4 до ±10 мм; при машинной – от ±1 до ±2 мм.

• ***Кислородно-дуговая резка*** – заключается в том, что разрезаемый металл (углеродистые, легированные и нержавеющие стали, чугун и цветные металлы) разогревают электрической дугой, а затем сжигают струей кислорода. Вырезают заготовки из проката толщиной до 100 мм со скоростью резки от 200 до 500 мм/мин.

• ***Плазменно-дуговая резка*** – осуществляется путем местного расплавления металла и его удаления из полости реза струей дуговой плазмы с температурой от 12000 до 20000 ^{o}С. Дуговой разряд возбуждается при этом в узких выходных каналах плазменных головок – плазмотронов, позволяющих при сравнительно небольших расходах плазмообразующей среды получать высокие скорости потоков плазмы. Вырезают заготовки из проката толщиной до 100 мм со скоростью от 0,15 до 1,1 м/мин при ширине реза 2,3–6,0 мм.

• ***Резка на ножницах*** (с фасонными ножами, угловых и профильных) – из сортового проката квадратного, углового и круглого профиля размером до 200 мм, а также балок и швеллеров до № 60 отрезают заготовки с точностью от ±0,6 до ±2 мм.

• ***Резка на ножницах*** (гильотинных и с параллельными ножами) – из листового и полосового проката толщиной до 30 мм и шириной до 2000 мм отрезают заготовки с точностью от ±0,6 до ±2 мм.

• ***Резка на дисковых и многодисковых ножницах с параллельными осями*** – из листового и рулонного материала толщиной до 6 мм отрезают заготовки в виде лент и полос с точностью от ±0,25 до ±0,6 мм.

• ***Резка на вибрационных ножницах*** – из листового проката толщиной до 6 мм отрезают заготовки с криволинейными и прямолинейными очертаниями с точностью от ±0,25 до ±0,6 мм.

• ***Резка на прессах механических и гидравлических*** – из сортового проката с поперечным сечением до 50 мм в штампах отрезают заготовки с точностью от ±0,5 до ±2 мм.

• ***Резка на пилах дисковых и ножовках ленточных*** – из сортового проката с поперечным сечением до 300 мм отрезают заготовки с точностью от ±0,4 до ±2 мм при ширине реза 0,8÷3,5 мм.

• ***Резка на станках*:**

– ***фрезерно-отрезных*** – из круглого, полосового и профильного проката с поперечным сечением до 100 мм дисковыми фрезами отрезают заготовки с точностью от ±0,4 до ±2 мм;

– ***токарно-отрезных*** – из круглых прутков и труб диаметром до 80 мм отрезают заготовки с точностью от ±0,3 до ±0,8 мм;

– ***абразивно-отрезных*** – сортовой прокат с поперечным сечением до 100 мм из высокотвердых инструментальных материалов раскраивают на заготовки с точностью от ±0,3 до ±0,8 мм;

– ***анодно-механических и электроэрозионных*** – прокат с поперечным сечением до 250 мм из высокотвердых инструментальных сплавов раскраивают на заготовки с точностью от ±0,2 до ±0,5 мм;

– ***лазерных*** – все материалы, включая и высокопрочные, толщиной до 50 мм раскраиваются на заготовки с любыми криволинейными очертаниями с точностью от 0,001 до ±0,05 мм при скорости резки до 10 м/мин.

12.4. Методы получения заготовок порошковой металлургией

Под порошковой металлургией подразумевается технология изготовления различных полуфабрикатов и деталей из порошковых материалов и сплавов путем их компактирования (консолидации) и последующего спекания. Этим методом получают заготовки из таких металлов, которые не смешиваются в расплавленном виде (железо–свинец, вольфрам–медь), или композиций, состоящих из металлов и неметаллов (медь–графит–фторопласт и др.).

Порошки получают путем восстановления металлов из окислов или соответствующих солей, а также измельчением металла в шаровых и вихревых мельницах или распылением легкоплавких металлов и сплавов в жидком виде, а также другими методами. При этом в зависимости от применяемого метода порошки могут иметь различные размеры и форму частиц.

Под компактированием подразумеваются процессы превращения порошка в полуфабрикат (лист, трубу, пруток, заготовку) или деталь. Применяют холодное компактирование и с применением нагрева. В последнем случае процесс уплотнения идет активнее с достижением почти 100%-ной плотности. Осуществляется компактирование такими методами, как прессование, прокатка, импульсное формование и др. В частности, прессование осуществляется на гидравлических или кривошипных прессах. При этом заготовки получают прессованием смеси порошков в пресс-формах под давлением от 1000 до 6000 кг/см² с последующим их спеканием.

Спекание осуществляется в печах с газовым или электрическим нагревом. Температура спекания обычно составляет 50–75 % от температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента. Время спекания составляет от 1 до 10 ч в зависимости от свойств материалов и размеров изделий.

При изготовлении деталей из высокопрочных компонентов вначале производят их предварительное спекание, затем выполняют механическую обработку, а после этого спекают окончательно. Для получения заготовок с необходимыми свойствами и точными размерами после спекания нередко производится их термическая и механическая обработка, а также калибровка в пресс-формах.

12.5. Методы получения заготовок и деталей машин из пластмасс

Малый удельный вес, стойкость к агрессивным средам, способность гасить вибрацию, высокие электро-, теплоизоляционные и антикоррозионные свойства, а также простота переработки в изделия способствуют широкому применению пластмасс в машиностроении. Деталями из пластмасс в машинах часто заменяют металлические детали, при этом их себестоимость уменьшается в 1,5–3,5 раза.

Пластмассы – это материалы, полученные на основе полимеров и обладающие способностью под действием температуры и давления принимать заданную форму и затем устойчиво сохранять ее в обычных

условиях. В большинстве случаев пластмассы состоят из связующих полимеров, наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, красителей, смазывающих веществ и других добавок специального назначения, а также могут состоять из одного полимера или сополимеров. Подбором таких отдельных компонентов и их соотношений материалу придаются желаемые совокупности свойств. Пластмассы, свойства и строение которых после нагревания и охлаждения не изменяются, называются ***термопластами***, а ***реактопластами*** называют такие пластмассы, которые при нагревании приобретают пространственную структуру в результате протекания химической реакции отверждения и при этом становятся неплавкими и нерастворимыми. В качестве связующих веществ в конструкционных пластмассах применяют термопластичные полимеры, а также термореактивные искусственные смолы и смеси этих смол с каучуками и эфирами целлюлозы. По характеру наполнителя они подразделяются в свою очередь на пластмассы без наполнителя (полимеры), а также на пластмассы с порошкообразными, волокнистыми, слоистыми и газообразными наполнителями.

• Без наполнителей для изготовления заготовок и деталей машин обычно используются термопластичные полимеры, такие как полиамид, полиакрилат, поливинилхлорид, полистирол, полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат, целлулоид, фторопласт и др.

• Пластмассы с порошковыми наполнителями представляют собой термореактивные композиции, например, на основе эпоксидных или фенолоформальдегидных смол, наполнителями в которых служат древесная мука, молотый кварц, тальк, шлак и графит, а также порошки из окиси алюминия, карбида кремния и других веществ. Изготовляют из таких пластмасс детали общего назначения (корпуса, маховики, ручки) методами горячего и литьевого прессования.

• Пластмассы с волокнистыми наполнителями также представляют собой термореактивные композиции, в которых наполнителями являются хлопковая целлюлоза, асбестовое и стеклянное волокно, а также шерстяные очесы. Из этих пластмасс обычно формуют заготовки с круглым, квадратным, прямоугольным и фасонным профилем, из которых затем механическим способом изготовляют соответствующие детали.

• Пластмассы со слоистыми наполнителями получаются путем прессования пакета из соответствующих листовых материалов, пропитанных синтетическими термореактивными смолами. В частности, с листовыми бумажными наполнителями изготовляются гетинаксы,

с наполнителями из хлопчатобумажных тканей – текстолиты, а из стеклотканей – стеклотекстолиты. Изготовление деталей из данных пластмасс включает получение заготовок и последующую их обработку на металлорежущем оборудовании.

• Пластмассы с воздушным наполнителем (пенопласты) характеризуются пористой структурой, малой плотностью, привлекательным внешним видом, а также высокими амортизирующими и теплоизоляционными свойствами. Изготовляются они как на основе термопластов (полистирола, поливинилхлорида, полиэтилена), так и на основе реактопластов (полиуретанов, эпоксидных и фенолоформальдегидных смол).

Шероховатость поверхностей деталей из пластмасс зависит от качества обработки пресс-форм, вида наполнителя и технологических режимов формования. В частности, детали, изготавливаемые литьем под давлением и прессованием, обычно имеют шероховатость поверхности по 7–8 классам, а в отдельных случаях достигающую 9-го класса.

13. Методы обработки заготовок лезвийными инструментами

Получение заданных форм, размеров и качества поверхностей деталей машин достигается соответствующей обработкой заготовок, при этом доминирующее значение имеет обработка резанием лезвийными инструментами, методами точения, фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания, растачивания, протягивания, строгания, долбления и шабрения.

Обработка точением осуществляется резцами на токарных станках и характеризуется вращательным движением заготовки и поступательным движением обрабатывающего ее резца. Этим методом обычно обрабатываются поверхности в форме тел вращения, ось симметрии которых соосна оси шпинделя станка. Токарные станки в свою очередь подразделяются на универсальные, токарно-винторезные, токарно-револьверные, токарно-карусельные, токарные полуавтоматы, токарно-револьверные и продольно-токарные автоматы, а также токарные многорезцовые и многошпиндельные автоматы. Применяемые же для обработки резцы делятся на проходные, подрезные, отрезные, расточные и фасонные. При обработке заготовок этим методом различают обдирочное, черновое, получистовое, чистовое и тонкое точение.

Обдиркой производится первоначальная обработка заготовок, получаемых литьем и свободной ковкой. При этом уменьшаются пространственные отклонения и погрешности формы заготовки перед черновой обработкой с обеспечением точности размеров по квалитетам *IT*16–*IT*17 и шероховатости поверхностей по 2 классу.

Черновую обработку применяют для заготовок, подвергающихся обдирке, а также для первоначальной обработки заготовок с несколько меньшими припусками. Такой обработкой достигаются точность размеров по квалитетам *IT*15–*IT*16 и шероховатость поверхностей по 2–3 классам.

Получистовую обработку применяют тогда, когда при черновой обработке не может быть удалена основная часть припуска или когда предъявляются повышенные требования к точности геометрических форм и размеров изготовляемых деталей. Такой обработкой обеспечиваются размеры с точностью по квалитетам *IT*11–*IT*12 и шероховатость поверхностей по 2–4 классам.

Чистовую обработку применяют либо как окончательную, либо как промежуточную под последующую отделку поверхности. При этом в зависимости от процесса предшествующей обработки обеспечиваются размеры с точностью по квалитетам *IT*10–*IT*11 и шероховатость поверхностей по 4–6 классам.

Тонкое точение применяют как метод окончательной отделки, заменяющий шлифование, и осуществляют при высоких скоростях резания с малой глубиной (0,05–0,5 мм) и подачей (0,05–0,15 мм/об.). Обеспечиваются размеры с точностью по квалитетам *IT*7–*IT*9 и шероховатость поверхностей по 7–8 классам.

Фрезерование – обработка снятием стружки, при которой режущий инструмент – *фреза* – совершает вращательное движение, а обрабатываемая заготовка – поступательное. Этим методом обрабатывают плоские поверхности, разнообразные пазы и уступы, криволинейные, винтовые и резьбовые поверхности, а также зубчатые и червячные колеса, другие фасонные поверхности. Обработка производится на фрезерных станках, которые разделяются на универсальные общего назначения (горизонтально-фрезерные, вертикально-фрезерные, продольно-фрезерные) и специализированные (шпоночно-фрезерные, шлице-фрезерные, карусельно-фрезерные) станки. Режущим инструментом служат многолезвийные фрезы, которые подразделяются:

– по виду поверхности, на которой располагаются зубья – на цилиндрические, торцевые, дисковые, угловые и фасонные;

– по форме зуба – на фрезы с прямыми, винтовыми и разнонаправленными зубьями;

– по конструктивному исполнению – на цельные, составные, комплектные и сборные со вставными зубьями.

При обработке поверхностей различают обдирочное, черновое, получистое, чистовое и тонкое фрезерование. Назначение этих видов обработки, а также обеспечиваемые ими квалитеты точности и классы шероховатости поверхностей такие же, как при точении.

Сверление – образование снятием стружки отверстий диаметром до 80 мм в сплошном материале при помощи сверла, а также обработка этим же инструментом (рассверливание) отверстий в отливках, поковках и штамповках с точностью по квалитетам *IT*11–*IT*12 и шероховатостью поверхностей по 2–5 классам. В зависимости от конструктивного исполнения различают сверла спиральные (винтовые), пушечные, перовые, центровочные, а также специальные, например, кольцевые сверлильные головки. Сверление производится на сверлильных, радиально-сверлильных, расточных, токарных, револьверных и других станках, а также ручными сверлильными машинами. При сверлении отверстий на сверлильных и расточных станках вращается инструмент (сверло), а при сверлении на токарных станках и станках для глубокого сверления – вращается обрабатываемая заготовка и достигается при этом более высокая точность обработки. При сверлении отверстий диаметром более 30 мм целесообразно вначале сверлить отверстие малого диаметра (на одну треть от заданного), а затем производить его рассверливание. Из-за сравнительно невысокой точности сверление часто является подготовительной операцией для последующего растачивания, зенкерования, развертывания и протягивания.

Зенкерование применяется для чистовой обработки отверстий диаметром до 120 мм в черновых литых и штампованных заготовках, а также для дальнейшей обработки предварительно просверленных или расточенных отверстий с точностью по квалитетам *IT*8–*IT*10 и шероховатостью поверхностей по 4–8 классам. Зенкеры изготовляются цельными (рис. 13.1, *а*) диаметром 3–40 мм, с числом режущих зубьев 3–8 и в сравнении со сверлом менее глубокими винтовыми канавками для отвода стружки на цилиндрической поверхности, а также насадными диаметром 32–100 мм и сборными регулируемыми диаметром 40–120 мм. Зенкерованием повышается точность формы исходного отверстия, а также выправляется увод и смещение его

оси за счет направления зенкера цапфой, содержащейся на конце (рис. 13.1, *б*). Производят зенкерование на тех же станках, что и сверление.

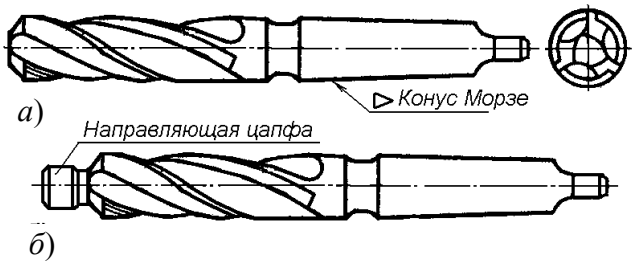


Рис. 13.1. Зенкеры цельные с коническим хвостовиком:
а – с менее глубокими винтовыми канавками; *б* – с направляющей цапфой

Развертывание применяют как метод окончательной обработки отверстий диаметром до 120 мм или как метод, предшествующий хонингованию, тонкому растачиванию или притирке. Развертыванием обеспечивается получение точного диаметрального размера отверстия, без исправления увода и смещения его оси. Различают нормальное, точное и тонкое развертывание. Нормальным развертыванием обеспечиваются размеры отверстия с точностью по квалитетам *IT*10–*IT*11 и шероховатостью поверхностей по 6–8 классам; точным развертыванием – по квалитетам *IT*7–*IT*9 с шероховатостью поверхностей по 7–9 классам; тонким развертыванием – по квалитетам *IT*5–*IT*6 с шероховатостью поверхностей по 10–12 классам. Применяемые для обработки развертки подразделяются на ручные и машинные, а выполняются они цельными и раздвижными. Ручные развертки (рис. 13.2) имеют более длинные зубья и удлиненную коническую часть, которая называется заборной. Выполняются зубья на развертках обычно прямыми, но для получения отверстий повышенной точности и при обработке отверстий с продольными пазами применяют развертки с винтовыми зубьями.

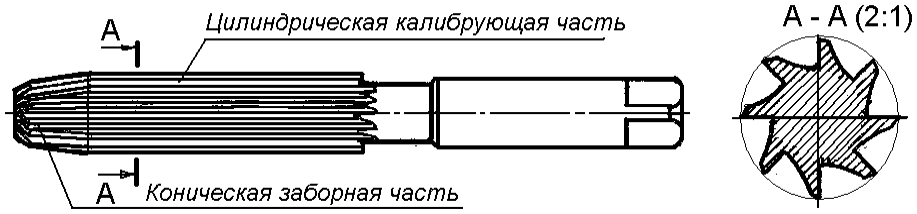


Рис. 13.2. Развертка цельная ручная

Количество зубьев, которое должно быть на развертке, определяется по следующей формуле (с последующим округлением полученного значения до ближайшего четного числа):

$$Z = 1{,}5\sqrt{D} + G,$$

где D – диаметр развертки, мм; $G = 2$ – для разверток из инструментальной стали; $G = 4$ – для разверток повышенной точности из твердых сплавов; $G = 0$ – для разверток с пластинами из твердых сплавов.

Обычно на развертках выполняется 6–14 зубьев. При обработке разверткой отверстие получается несколько большим ее диаметра, т. е. разбивается на величину 0,005–0,08 мм. Для уменьшения разбивки обрабатываемых отверстий развертки закрепляют в плавающих патронах. Производят развертывание на тех же станках, что и сверление, а также вручную.

Протягивание применяют для обработки многолезвийным инструментом, называемым протяжкой, сквозных отверстий и пазов любого профиля, а также наружных поверхностей вращения и располагающихся на них продольных конструктивных элементов. Внутренняя шлицевая протяжка состоит, например, из следующих частей (рис. 13.3): передней замковой *1*, шейки *2,* передней направляющей *3*, режущей *4*, калибрующей *5* и задней направляющей *6*. Этот метод позволяет упростить обработку, так как одна протяжка обычно заменяет комплект инструментов. Протягиванием обрабатывают отверстия, содержащиеся в отливках и поковках, а также просверленные в заготовках. Различают черновое и чистовое протягивание. Черновой обработкой обеспечиваются размеры с точностью по квалитетам *IT*10–*IT*11 и шероховатостью поверхностей по 5–7 классам; чистовой – по квалитетам *IT*6–*IT*9 с шероховатостью поверхностей по 7–9 классам.

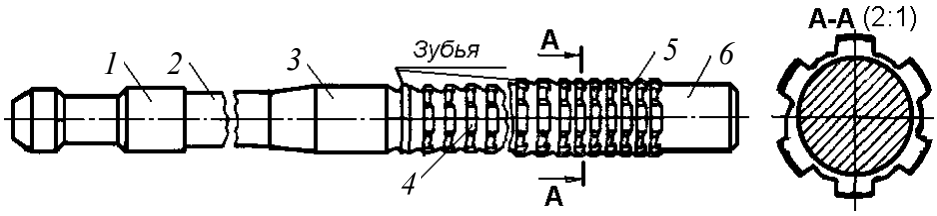


Рис. 13.3. Внутренняя шлицевая протяжка

Выполняется этот процесс на специальных станках, которые по расположению инструмента подразделяются на горизонтальные и вертикальные протяжные станки-полуавтоматы. Горизонтальные полуавтоматы применяются для внутреннего протягивания, а верти-

кальные используются как для внутреннего, так и наружного протягивания и при этом занимают в 2–3 раза меньшие площади. Применяется протягивание обычно в крупносерийном и массовом производствах. В мелкосерийном же и единичном производствах протягивание применяется тогда, когда сложнопрофильные поверхности невозможно обработать другими более универсальными методами.

Растачивание – обработка резцами предварительно полученных отверстий для достижения заданного диаметра и обеспечения совпадения оси этого отверстия с осью вращения детали или инструмента. Различают черновое, чистовое и тонкое растачивание. Черновым растачиванием обеспечиваются размеры отверстия с точностью по квалитетам *IT*11–*IT*13 и шероховатостью поверхностей по 4–6 классам; чистовым растачиванием – по квалитетам *IT*8–*IT*10 с шероховатостью поверхностей по 5–8 классам; тонким растачиванием – по квалитетам *IT*5–*IT*7 с шероховатостью поверхностей по 8–11 классам. Тонкое (алмазное) растачивание является окончательной отделочной обработкой. Осуществляется растачивание двумя основными способами:

– при вращающейся заготовке – выполняется на станках токарной группы, при этом резцами растачиваются отверстия, соосные оси вращения обрабатываемой заготовки;

– при вращающемся инструменте – выполняется на расточных, сверлильных и фрезерных станках, при этом растачивают параллельные и соосные отверстия, оси которых совпадают с осью вращения инструмента. Режущими инструментами служат резцы, закрепленные в державках (борштангах), расточные пластины, а также расточные блоки и головки. Расточные пластины являются мерным и основным инструментом при обработке отверстий диаметром более 40 мм. Расточной блок представляет собой корпус со вставными резцами, положение которых можно регулировать. Для чистового и тонкого растачивания применяют плавающие державки.

Строгание – обработка плоских и фасонных поверхностей с прямолинейной образующей снятием стружки при относительном возвратно-поступательном перемещении обрабатываемой заготовки и инструмента. Различают черновое, чистовое и тонкое строгание. Черновым строганием размеры выполняются с точностью по квалитетам *IT*11–*IT*13 и шероховатостью поверхностей по 4–5 классам; чистовым строганием – по квалитетам *IT*9–*IT*10 с шероховатостью поверхностей по 5–6 классам; тонким строганием – по квалитетам *IT*6–*IT*8 с шероховатостью поверхностей по 6–9 классам. Этот метод является гибким,

универсальным и малопроизводительным, так как обработка ведется однолезвийным инструментом (строгальным резцом) на невысоких режимах резания (до 100 ходов/мин) и наличием вспомогательных (холостых) ходов. Широко применяется в единичном и мелкосерийном производствах благодаря тому, что для работы на строгальных станках не требуется сложных приспособлений и инструмента. Строгальные станки в свою очередь подразделяются на поперечно-строгальные, продольно-строгальные и долбежные. Главное движение у поперечно-строгальных станков (шепингов) совершает резец вместе с ползуном, а у продольно-строгальных – обрабатываемая заготовка.

Долбление – этим способом на долбежных станках обрабатывают прямоугольные и фасонные канавки на труднодоступных наружных и внутренних поверхностях (в том числе несквозные), а также шпоночные и шлицевые пазы в отверстиях и т. д. Долбежный станок – это металлорежущий станок строгального типа с вертикальным возвратно-поступательным движением резца и прямолинейным периодическим движением подачи, совершаемым обрабатываемой заготовкой, закрепленной на его столе. Некоторые такие станки имеют круглые столы, сообщающие обрабатываемой заготовке периодическое вращательное движение подачи.

Шабрение – отделочная обработка поверхности путем снятия тонкой стружки режущим инструментом шабером, который приводится в действие вручную или механическим путем. Шабрят плоские и цилиндрические поверхности деталей подвижных и неподвижных соединений, когда необходимо обеспечить их точное сопряжение или геометрическое соединение. Шабрение вручную – малопроизводительный процесс, требующий больших затрат времени, высокой квалификации рабочего и обеспечивающий более качественную обработку. Механическое шабрение осуществляется на специальных станках, придающих шаберу возвратно-поступательное движение. Сущность шабрения заключается в том, что вначале берут инструментальную плиту, покрывают ее рабочую поверхность тонким слоем краски, затем переворачивают, укладывают на обрабатываемую поверхность и после этого убирают с нее. При этом на выступающих участках поверхности отпечатываются следы краски, которые соскабливаются с помощью шабера (рис. 13.4), удаляющего слой материала толщиной около 0,005 мм.

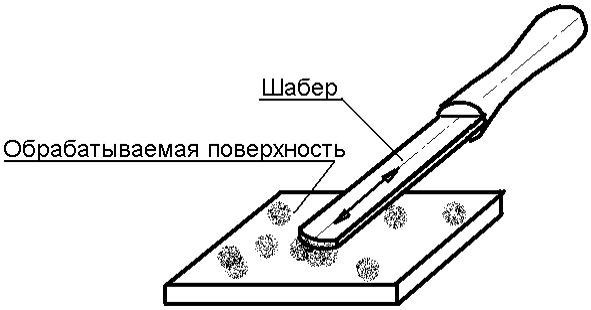


Рис. 13.4. Схема процесса шабрения

Этот процесс повторяют до тех пор, пока не достигнут требуемой точности обработки, которая контролируется по числу пятен, оставляемых краской с контрольной плиты на площадке 25 × 25 мм. Чем больше пятен, тем точнее обработка. Шабрение называют тонким, если число пятен более 22 и шероховатость поверхности не ниже 10-го класса, и чистым, если число пятен 6–10 и шероховатость поверхности не ниже 7-го класса.

14. Методы обработки абразивными инструментами

Обработку поверхностей заготовок абразивным инструментом производят методами шлифования, хонингования, доводки, притирки, суперфиниширования и полирования.

Шлифование – чистовая обработка поверхностей заготовок вращающимися абразивными кругами, сегментами или шлифовальными шкурками для получения точных размеров, придания им правильной геометрической формы и снижения шероховатости, а также обеспечивающая заточку режущих инструментов. Обычно на шлифование заготовки подают после их предварительной обработки и выполнения термических операций (закалки, улучшения). Шлифование может быть и единственным методом обработки. Основным инструментом при шлифовании являются шлифовальные круги, которые по форме могут быть цилиндрическими (гладкие и профильные), дисковыми, чашечными, тарельчатыми, стержневыми и т. д. Они должны отвечать условиям прочности, сбалансированности, безопасной работы при окружных скоростях 80 м/с и выше. Различают предварительное, чистовое и тонкое шлифование.

– *Предварительное* шлифование предусматривается для необработанных поверхностей, имеющих припуски от 1 до 2 мм. Осуществляется оно кругами зернистостью 50–80 и обеспечивает выполнение

размеров с точностью по квалитетам *IT*8–*IT*9 и шероховатостью поверхностей по 6–8 классам.

– *Чистовым* шлифованием обычно обрабатывают поверхности после термообработки со снятием припуска 0,1–0,3 мм. Выполняется оно кругами зернистостью 12–40, а размеры выполняются при этом с точностью по квалитетам *IT*7–*IT*8 и с шероховатостью поверхностей по 8–10 классам.

– *Тонкое* шлифование применяют для получения высокого качества поверхности в условиях единичного и мелкосерийного производства. Осуществляется оно кругами зернистостью 6–10 и обеспечивает размеры по квалитетам *IT*6–*IT*7 и шероховатость поверхностей по 9–11 классам.

Шлифовальные станки в зависимости от назначения подразделяются на следующие основные группы: круглошлифовальные (центровые и бесцентровые), внутришлифовальные, плоскошлифовальные, заточные и специализированные (ленточношлифовальные, для шлифования резьб, зубьев колес, шлицов и т. д.).

Шлифование наружных поверхностей деталей тел вращения производится на круглошлифовальных, торцекруглошлифовальных и бесцентровошлифовальных станках, полуавтоматах, автоматах. При обработке на круглошлифовальных и торцекруглошлифовальных станках заготовки устанавливают в центрах, в патроне, цанговом зажиме или в специальных приспособлениях.

Окружная скорость заготовки при такой обработке составляет 10–50 м/мин в зависимости от ее диаметра, а сопрягающийся с ней шлифовальный круг при этом вращается встречно со скоростью 30–60 м/мин.

Сущность бесцентрового шлифования заключается в том, что шлифуемая заготовка *1* (рис. 14.1) помещается между шлифовальным *2* и ведущим *3* кругами и поддерживается снизу ножом (опорой) *4*. Центр заготовки при этом должен быть несколько выше линии, соединяющей центры обоих кругов.

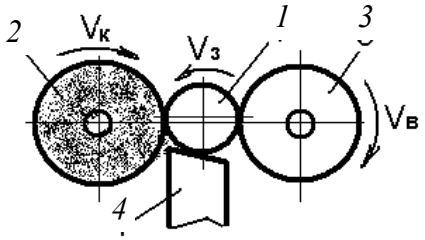


Рис. 14.1. Схема бесцентрового наружного шлифования

Внутреннее шлифование применяется для окончательной обработки отверстий закаленных деталей или в тех случаях, когда нельзя применить для их обработки другие, более производительные методы. Оно осуществляется на внутришлифовальных станках и бесцентрововнутришлифовальных автоматах. Различают три основных вида внутреннего шлифования: во вращающейся заготовке (рис. 14.2, *а*); в неподвижной заготовке (планетарное) (рис. 14.2, *б*) и бесцентровое внутреннее шлифование (рис. 14.2, *в*).

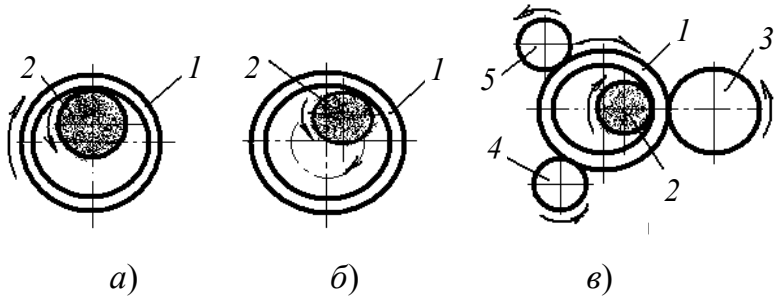
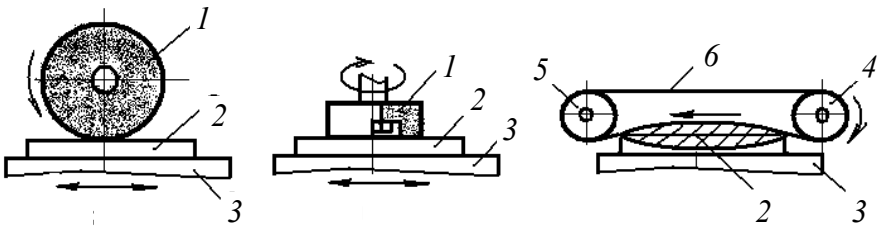


Рис. 14.2. Схемы внутреннего шлифования:
1 – заготовка; *2* – шлифовальный круг; *3* – ведущий ролик;
4 – поддерживающий ролик; *5* – нажимной ролик

Шлифование плоских поверхностей осуществляется на плоскошлифовальных станках с крестовым или круглым столом, обычно оснащаемым электромагнитной плитой. Им обеспечивается достижение требуемого качества обработки плоскостей, особенно на закаленных деталях. При этом детали на таких станках могут обрабатываться как радиальной торцевой (рис. 14.3, *а*), так и плоской боковой поверхностями шлифовального круга (рис. 14.3, *б*).

Ленточношлифовальные станки обычно используют для отделки криволинейных поверхностей фасонных деталей типа турбинных лопаток, лопастей гребных винтов и т. д. *шлифовальной лентой* – гибким абразивным инструментом, представляющим собой бумажное или тканевое полотно с закрепленным на нем абразивным материалом различной зернистости. В этих станках бесконечная лента *6* (рис. 14.3, *в*) размещается на двух шкивах, ведущем *4* и натяжном *5*, придающим ей непрерывное движение. При этом рабочая поверхность ленты прогибается сопрягающейся криволинейной поверхностью обрабатываемой заготовки *2*, установленной на столе *3* станка, и в процессе движения по ней осуществляет обработку. Так как рабочая поверхность такой ленты в несколько раз превышает рабочую поверхность шлифовального круга,

то происходит большее рассеивание тепла, образующегося в зоне шлифования, и благодаря этому создаются более благоприятные условия обработки.



а) *б*) *в*)

Рис. 14.3. Схемы шлифования наружных поверхностей:
1 – шлифовальный круг; *2* – обрабатываемая заготовка;
3 – стол станка; *4* – ведущий шкив; *5* – натяжной шкив;
6 – шлифовальная лента

Хонингование – один из методов отделочной обработки поверхностей, который осуществляется специальным инструментом – *хоном*, в котором по периметру оправки *1* (рис. 14.4) закрепляются мелкозернистые абразивные бруски *2*. В процессе обработки хон совершает одновременно возвратно-поступательное и вращательное движения, в результате которых его абразивные зерна создают на обрабатываемой поверхности детали *3* сетку из мелких пересекающихся рисок, хорошо удерживающих смазку. Хонингованием исправляется исходная погрешность геометрической формы, повышается размерная точность, уменьшается шероховатость обрабатываемой поверхности. При применении брусков с зернистостью М40–25 обеспечивается выполнение размеров с точностью по квалитетам *IT*5–*IT*6 и шероховатостью поверхностей по 6–10 классам. Этим методом обрабатывают внутренние цилиндрические, конические и другие поверхности вращения диаметром 5–750 мм, а также наружные цилиндрические и плоские поверхности.

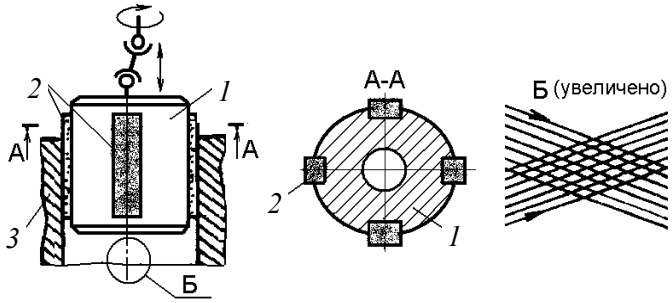


Рис. 14.4. Схемы хонингования внутренней поверхности

Выполняется такая обработка на хонинговальных станках, которые бывают общего назначения и специализированные, одно- и многошпиндельные, с вертикальным, горизонтальным и наклонным расположением шпинделей.

Смазывающе-охлаждающей жидкостью при обработке служит керосин или смесь керосина с 10–20 % машинного масла.

Доводка – окончательная обработка отшлифованных деталей для получения на обрабатываемых поверхностях точных размеров и геометрической формы, а также малой шероховатости.

Этот метод характеризуется одновременным протеканием механических и физико-химических процессов при обработке поверхностей притирами с нанесенным мелкозернистым абразивным порошком или пастой, истирающими обрабатываемые поверхности. В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости при этом применяются специальные эмульсии (например, содержащие в одном литре воды 8–10 г кальцинированной соды и 3–5 г нитрита натрия) или дизельное топливо. Доводка производится в 2–4 стадии с постепенным уменьшением зернистости применяемого абразива. Различают предварительную, получистовую, чистовую и тонкую стадии доводки. Предварительная доводка производится абразивными порошками зернистостью М20–М40, а получистовая – зернистостью М5–М10. Чистовая доводка осуществляется абразивными пастами зернистостью М3–М5 и обеспечивает выполнение размеров с точностью по квалитетам *IT*3–*IT*5, а также шероховатостью поверхностей по 11–12 классам. Тонкая доводка производится абразивными пастами зернистостью М1–М3 и обеспечивает выполнение размеров с точностью по квалитетам *IT*2–*IT*4, а также шероховатостью поверхностей по 12–13 классам. Методы доводки по способу подачи абразива в зону обработки подразделяются на следующие:

– с непрерывной подачей абразивной суспензии на рабочие поверхности притиров;

– с намазкой (нанесением) абразивной (алмазной) пасты на притиры;

– доводку притирами или плитами, предварительно шаржированными зернами абразивных (алмазных) паст.

Обработка осуществляется вручную, а также на доводочных станках с планетарным или эксцентриковым механизмом привода. В частности, универсальный доводочный станок снабжен двумя плоскими чугунными дисками (притирами), между которыми в деталедержателе помещаются обрабатываемые заготовки. К специализиро-

ванным относятся станки для доводки отдельных деталей, например, шеек коленчатых валов, концевых мер, калибров и др. Скорость относительного движения притира по детали при предварительной доводке назначается в пределах 50–250 м/мин, а затем постепенно снижается до 15–30 м/мин при чистовой и до 2–10 м/мин при тонкой доводке.

Притирка – доводка деталей, работающих в паре, для обеспечения наилучшего контакта между их сопрягающимися рабочими поверхностями. Притирка, например, клапанов двигателей к седлам, плунжеров топливной аппаратуры к гильзам, стеклянных пробок к горловинам флаконов и т. д. Притирка аналогична доводке наружных поверхностей и обеспечивает достижение аналогичных параметров качества, при этом притираемые детали становятся не взаимозаменяемыми и могут применяться только комплектно.

Суперфиниширование – тонкая отделочная обработка поверхности заготовки с малым удельным давлением (до 0,3 МПа) брусками из микропорошковых абразивных материалов зернистостью М20–М40, совершающими колебательные (ассцилирующие) движения и продольную подачу (рис. 14.5). Предварительно обработанная заготовка при этом вращается или движется поступательно. Обработка происходит без существенного изменения размеров и макрогеометрии поверхности при небольших скоростях (до 2,5 м/с) с подачей в зону обработки смазочного вещества (смеси керосина (85–90 %) с индустриальным маслом (10–15 %) и добавлением 3–5 % олеиновой кислоты). В процессе обработки по мере зачистки вершин гребешков шероховатости увеличивается контактная поверхность и соответственно уменьшается удельное давление на нее брусков, а при зачистке всех неровностей до сплошного металла удельное давление становится настолько малым, что процесс обработки самопрекращается.

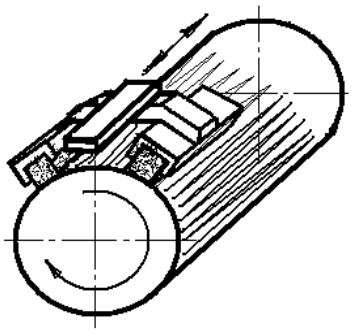


Рис. 14.5. Схема обработки суперфинишированием

Этим способом обрабатывают плоские, цилиндрические, конические и сферические поверхности деталей, выполненных из стали, чугуна, нержавеющих и цветных сплавов. Достигается выполнение размеров с точностью по квалитетам *IT*3–*IT*4 и шероховатостью поверхности по 13–14 классам.

Полирование – обработка (отделка) качественно обработанных поверхностей деталей для получения их зеркального блеска путем уменьшения шероховатости без исправления погрешности геометрической формы. Наиболее широко полирование применяется для декоративной отделки и чистовой обработки фасонных поверхностей, где размерная и геометрическая точность получена на предшествующей обработке или вовсе не требуется. Полирование производится в 2–3 стадии с постепенным уменьшением зернистости применяемого абразива. Различают предварительную, получистовую и чистовую стадии полирования. Предварительное полирование производится абразивными пастами зернистостью 8–12, а получистовое – зернистостью 6–М20. Чистовое полирование осуществляется абразивными пастами зернистостью М5–М10 и обеспечивает получение поверхностей с шероховатостью по 11–12 классам. Производится такая обработка на полировальных станках быстровращающимися мягкими кругами, выполненными из войлока, фетра, кожи, резины или быстродвижущимися лентами, на поверхность которых наносится полировальная паста. В качестве дополнительных материалов применяется керосин. В ряде случаев применяется электролитическое полирование (посредством электролиза). Автоматизированное полирование мелких деталей производится во вращающихся бункерах или вибробункерах, в которые эти детали загружаются совместно с гранулированными свободными абразивами. Полирование может выполняться и в струйно-абразивных установках.

14.1. Характеристика абразивных инструментов

Абразивный инструмент – инструмент, предназначенный для абразивной обработки изделий из металла, стекла и других материалов. Изготовляют его на основе измельченных абразивных материалов (зерен), скрепленных связующим веществом. Основным абразивным инструментом являются шлифовальные круги, бруски, головки и сегменты; шкурки и изделия из нее – диски, ленты и другие, а также шлифовальные порошки и доводочные пасты.

Конструкция и работоспособность абразивных инструментов характеризуется материалом и размером режущего абразивного зерна,

составом и количеством связки, скрепляющей зерна, структурой расположения абразивных зерен и пор в инструменте.

В качестве режущего инструмента при абразивной обработке применяются зерна естественных материалов, таких как алмаз, корунд, гранат, кварц (кремень), а также искусственных материалов – электрокорунда (Al_2O_3), карбида кремния (SiC), алмаза синтетического, карбида бора (B_4C) и других материалов. Зернистость же указывает на размер режущих зерен основной фракции, примененной в данном инструменте. По размеру абразивные зерна делятся в свою очередь на следующие группы:

– шлифзерно от № 200 до № 16 с размерами частиц от 2500 до 160 мкм, соответственно;

– шлифпорошки от № 16 до № 3 с размерами частиц от 160 до 28 мкм;

– микропорошки от М63 до М14 с размерами частиц от 63 до 10 мкм;

– тонкие микропорошки от М10 до М1 с размерами частиц от 10 до 2 мкм.

Структура абразивного инструмента характеризуется соотношением объемов абразивных зерен, связки и пор. Связкой же определяется в основном прочность и твердость инструмента, а также оказывается большое влияние на производительность, режимы резания и качество обработки. Твердостью в свою очередь характеризуется прочность удержания зерен в абразивном инструменте при помощи связки, оказывается влияние на режущие свойства и кромкостойкость инструмента, а также на характер его износа в процессе работы.

Все эти параметры, а также данные о классе и размерах абразивного инструмента маркируются на каждом инструменте и составляют его характеристику.

Рис. 14.6. Маркировка шлифовального круга

Например, на шлифовальных кругах наносится следующая маркировка (рис. 14.6): *КАЗ* – товарный знак завода-изготовителя; 14*А* – вид абразивного материала; 40 – номер зернистости; *П* – индекс зернистости; *С*2 – степень твердости; 6 – номер структуры; *К*5 – вид связки; *А* – класс инструмента; 2-й кл. – класс дисбаланса; *ПП* – форма круга; 500 – наружный диаметр; 50 – высота; 305 – диаметр отверстия; 35 м/с – допустимая окружная скорость.

15. Методы обработки без снятия стружки

Состояние поверхностного слоя оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин. Поэтому специальной обработкой их поверхностным слоям придают особые химико-механические свойства. Все такие методы обработки классифицируются следующим образом:

• **Методы термической обработки** (закалка, нормализация, поверхностная закалка).

Закалка – вид термической обработки материалов (нагрев, а затем быстрое охлаждение), после которого материал находится в так называемом неравновесном структурном состоянии, не свойственном данному веществу при нормальной температуре (20 ^{o}C). Закалка стали, например, приводит к получению в ее структуре мартенсита, характеризующегося высокой твердостью.

Нормализация – представляет собой термическую обработку, при которой стальные детали нагревают до температуры 1100–1150 ^{o}C, а затем охлаждают в спокойном воздухе или в струе воздуха. Обеспечивает получение мелкого зерна, равномерное распределение структурных составляющих, улучшение обрабатываемости низкоуглеродистой стали, наиболее благоприятные сочетания свойств прочности и пластичности.

Поверхностная закалка применяется для упрочнения поверхности деталей, работающих на истирание и воспринимающих ударные нагрузки. Для ее осуществления наружный слой металла быстро нагревают при помощи газового пламени или токами высокой частоты (ТВЧ) до температуры 1100 ^{o}C с последующим быстрым охлаждением в воде или масле. При этом сердцевина детали остается незакаленной, а наружная поверхность получается твердой и обладает повышенной износостойкостью.

• **Химико-термические методы обработки** (цементация, азотирование, цианирование) заключаются в изменении химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металла.

Цементация заключается в насыщении поверхностного слоя стали углеродом в результате выдержки ее при температуре 930–950 ^{o}C в твердом, газообразном или жидком карбюризаторе. После цементации деталь подвергается закалке для достижения высокой твердости поверхностного слоя и сохранения пластичной сердцевины.

Азотирование заключается в насыщении поверхностного слоя стали азотом в результате выдержки ее при температуре 500–520 ^{o}C в потоке газообразного аммиака. В результате повышается твердость, износоустойчивость, усталостная прочность и коррозионная стойкость поверхностного слоя.

Цианирование заключается в одновременном насыщении поверхностного слоя стали углеродом и азотом в результате выдержки ее при температуре 550–850 ^{o}C в жидких цианистых солях, смеси науглероживающих и азотирующих газов или твердых карбюризаторах, содержащих цианистые соли. В результате повышается твердость, износостойкость и усталостная прочность поверхности.

• **Методы диффузионной поверхностной обработки** (алитирование, хромирование, силицирование, цинкование) заключаются в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали металлами или кремнием для изменения его состава или структуры.

Алитирование заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали алюминием при температуре 700–1100 ^{o}C в соответствующей среде. В результате поверхность приобретает высокую окалиностойкость (до 850–900 ^{o}C), а также коррозионную стойкость в атмосфере и морской воде.

Хромирование заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали хромом при температуре 900–1400 ^{o}C в соответствующей среде. Обеспечивает повышенную устойчивость против газовой коррозии до t = 800 ^{o}C, а также высокую коррозионную стойкость к морской воде и кислотам, обеспечивают повышение твердости и износостойкости.

Силицирование заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали кремнием, как правило, при температуре 800–1100 ^{o}C в соответствующей среде. Обеспечивает высокую коррозионную стойкость в морской воде и кислотах, а также повышающую износостойкость поверхности (после предварительной проварки в масле).

Цинкование заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали цинком при температуре 300–550 ^{o}C в соответствующей среде. Повышается коррозионная стойкость стальной поверхности в атмосфере, бензине, маслах и горючих газах, содержащих сероводород.

• **Упрочнение поверхностей твердыми сплавами и металлами** осуществляется путем покрытия их расплавами соответствующих высокопрочных металлов, а также напылением расплавленного металла или порошкообразных сплавов плазменным методом и с применением лазеров. В результате повышается твердость и износостойкость поверхностей деталей, а также восстанавливаются размеры на изношенных деталях при их ремонте.

• **Механические методы поверхностной упрочняющей обработки** – один из наиболее простых и эффективных технологических путей повышения работоспособности и надежности деталей. В результате такой обработки повышается твердость и прочность поверхностного слоя, в нем формируются благоприятные остаточные напряжения, уменьшается параметр шероховатости, увеличиваются радиусы закругления вершин неровностей и, соответственно, относительная опорная длина профиля. К этим методам относится обкатывание и раскатывание поверхностей шариковыми и роликовыми обкатками, прошивание отверстий шариками и дорнами, алмазное выглаживание, дробеструйная обработка и другие методы.

Обкатыванием и раскатыванием наружных и внутренних цилиндрических, а также плоских и фасонных поверхностей шариковыми и роликовыми обкатками обрабатывают достаточно жесткие детали из стали, чугуна и цветных сплавов. Поверхности для этого должны быть предварительно обработаны по квалитетам точности *IT*7–*IT*9 и с шероховатостью не ниже 6 класса, а припуск на обработку принимается обычно в пределах 0,005–0,02 мм. При такой обработке между поверхностью заготовки и инструментом возникает трение качение с возможным проскальзыванием. В результате снижается шероховатость, повышается твердость поверхностного слоя и в нем создаются сжимающие остаточные напряжения.

Дорнование* (*калибрование*) *отверстий относится к способам их окончательной обработки выглаживанием. Осуществляется оно проталкиванием шарика, диаметром несколько большим за отверстие, а также выглаживающей протяжкой или прошивкой, которую называют дорном. Такой обработкой обеспечивается шероховатость поверхности

по 9–11 классам, а ее прочность при этом повышается на 30–60 %. Процесс выполняется на прессах или протяжных станках с обязательным применением смазочно-охлаждающей жидкости.

Алмазное выглаживание заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней выглаживателем, представляющим собой закрепленный в оправке алмазный кристалл. Шероховатость, оставшаяся на поверхности от предыдущей обработки, сглаживается при этом полностью или частично, поверхность приобретает зеркальный блеск, а также повышается твердость поверхностного слоя и в нем создаются сжимающие остаточные напряжения. После выглаживания поверхность остается чистой без вырывов и задиров, а также не шаржированной осколками абразивных зерен, что обычно происходит при ее абразивной обработке. Деформирующим элементом при такой обработке является закрепленный в оправке алмаз, обладающий высокой твердостью, малым коэффициентом трения по металлу и повышенной теплопроводностью. Высокая твердость алмаза позволяет обрабатывать детали практически из всех металлов, поддающихся пластической деформации – как мягких, так и закаленных до твердости 60–65 $HRC_Э$ с достижением параметров шероховатости по 11–12 классам. Малый же радиус рабочей поверхности алмазного инструмента (0,75–4 мм) обуславливает небольшую величину прилагаемой силы выглаживания (50–250 Н), обеспечивающей обработку этим методом, в том числе тонкостенных и нежестких деталей.

Дробеструйная обработка заключается в том, что на деталь, помещенную в камеру, специальной установкой подается с большой скоростью поток чугунной или стальной дроби диаметром 0,4–2 мм, от ударных воздействий которой в поверхностном слое создается наклеп на глубину до 1,5 мм. В результате повышается твердость поверхностного слоя на 20–50 %, в нем возникают сжимающие остаточные напряжения, а шероховатость поверхности обеспечивается при этом по 5–7 классам. Этот процесс легко автоматизируется и по продолжительности обработки обычно не превышает 10 мин. При такой обработке применяются механические и пневматические дробеметы. В первых поток дроби создается радиальными лопатками ротора, вращающегося со скоростью 2000–3500 об./мин. Вторые имеют одно или несколько сопел, через которые дробь выбрасывается сжатым воздухом; их применяют для обработки деталей с труднодоступными поверхностями.

16. Методы обработки концентрированными потоками энергии

В классе новых технологических процессов обработки материалов концентрированными потоками энергии объединяются такие методы, которые основаны на непосредственном воздействии на материал направленных потоков энергии и физических полей, таких как: энергия потока фотонов и заряженных частиц; тепловое воздействие электрического тока; химические реакции; электромагнитные поля. Эти наукоемкие технологии объединяет общий принцип работы обрабатывающего оборудования, заключающийся в прямом преобразовании потоков энергии и физических полей в энергию технологического воздействия на структурно-фазовых или атомно-молекулярных превращениях в обрабатываемом материале. Эти методы обеспечивают обработку заготовок независимо от твердости материала и практически без силового воздействия на них, а автоматизация процессов при этом не вызывает затруднений. Подразделяются они на электрофизические, электрохимические и комбинированные методы обработки.

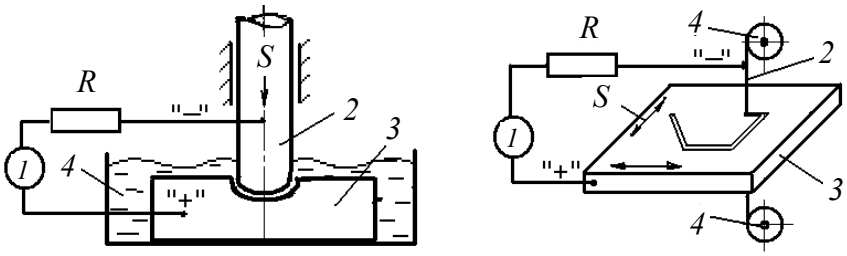
Электрофизические методы обработки заключаются в изменении форм, размеров и параметров шероховатости поверхности заготовки путем применения электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, электронного и оптического излучения, а также энергии плазменной струи. К ним относятся такие методы, как электроэрозионная обработка, которая подразделяется на электроискровой, электроимпульсный и электроконтактный методы, а также ультразвуковой, плазменный, лазерный и электронно-лучевой методы обработки.

Электрохимические методы обработки основаны на принципе локального анодного растворения материала обрабатываемой заготовки при высокой плотности тока (20–250 А/см) и малых межэлектродных зазорах (0,02–0,5 мм) в проточном электролите. К ним относятся анодно-гидравлическая обработка, электрохимическое профильное фрезерование (шлифование, полирование) и обработка непрофилированным инструментом, а также электрохимическая маркировка.

В ***комбинированных методах*** обработки в различных вариантах сочетаются электрофизические и электрохимические методы обработки или они сочетаются с традиционными механическими способами обработки, существенно повышая их эффективность. К ним относятся электроэрозионно-химическая обработка, ультразвуковая с электрохимической, абразивно-электрохимическая, а также электромеханическая и некоторые другие.

В частности, ***электроэрозионная обработка*** основана на разрушении обрабатываемого материала тепловым воздействием на него импульсных дуговых электрических разрядов, возбуждаемых между электродом-инструментом и обрабатываемой поверхностью. При таких искровых разрядах сфокусированный поток электронов воздействует на обрабатываемую поверхность, разогревает ее и создает ударные волны сжатия, вследствие чего происходит расплавление и выброс частиц металла из этой зоны (электроэрозия), а электрод-инструмент постепенно погружается при этом в заготовку, копируя в ней свою форму. Разновидностями этого метода являются электроискровая, электроимпульсная и электроконтактная обработки.

Электроискровая обработка основана на использовании кратковременных искровых разрядов, которые следуют с частотой 0,4–10 кГц и большой скважностью. При этом к отрицательному полюсу импульсного генератора *1* (рис. 16.1, *а*) подключается электрод-инструмент *2* (катод), а к положительному полюсу – обрабатываемая заготовка *3* (анод). Обработка производится в жидкой диэлектрической среде *4* (например, дистиллированной воде или трансформаторном масле) путем последовательного возбуждения через зазор величиной 0,2–0,6 мм между электродом и заготовкой искровых разрядов, вызывающих на обрабатываемой поверхности микроскопические расплавления металла, выбрасываемого в межэлектродное пространство. Обработка осуществляется на следующих режимах: напряжение пробоя U = 40–120 В; длительность импульсов $\tau_{им}$ = 5–200 мкс; сила тока I = 0,5–5 А.



а) *б*)

Рис. 16.1. Схемы электроискровой обработки:
а – подключение электрода-инструмента и заготовки;
б – вырезка в заготовке

Этот метод малопроизводительный (0,6 см^3 удаляемого металла в минуту) из-за высокой скважности разряда и используется для прошивки отверстий диаметром до 2 мм, прорезки узких пазов, вырезки фигурных отверстий по контуру, а также для чистовой обработки по-

верхностей после предварительной электроимпульсной обработки. При вырезке в заготовках *3* (рис. 16.1, *б*) фигурных отверстий по контуру в качестве непрофилированного инструмента *2* применяют медную или вольфрамовую проволоку диаметром 0,05–0,2 мм, перематывающуюся в процессе обработки с одной катушки *4* на вторую. Точность выполнения размеров при обработке профильным электродом-инструментом обеспечивается по квалитетам *IT*6–*IT*7 и шероховатостью поверхности по 9–10 классам, а при обработке непрофилированным проволочным инструментом – по квалитетам *IT*5–*IT*6 при шероховатости поверхности по 9–11 классам.

Электроимпульсная обработка осуществляется более продолжительными и мощными импульсными дуговыми разрядами регулируемой энергии и частоты на следующих режимах: напряжение пробоя U = 18–36 В; длительность импульсов $\tau_{им}$ = 200–100000 мкс; сила тока I = 20–120 А. Производительность достигает 15 см^3 удаляемого металла в минуту. В электроимпульсных станках, в отличие от электроискровых, обрабатываемая заготовка является катодом (–), а инструмент – анодом (+). Обработку обычно проводят в два этапа: сначала на черновых режимах удаляют основную часть металла, оставляя припуск порядка 0,5 мм, а затем снижают энергию разрядов и на режимах чистовой обработки удаляют оставшийся припуск более точным электродом-инструментом, обеспечивая при этом точность выполнения размеров по квалитетам *IT*9–*IT*11 и шероховатость поверхности по 4–6 классам.

Для изготовления электродов-инструментов применяют такие материалы с высокой теплопроводностью, как обычная и пористая медь, латуни, графитовые и медно-графитовые композиции, алюминий и цинковые сплавы. Для выполнения мелких отверстий часто используют дорогие вольфрамовые или молибденовые инструменты, которые обладают высокой абразивной стойкостью. Если площадь рабочей поверхности электрода-инструмента достаточно велика (больше 1000 мм^2) или прошиваются глубокие отверстия, то применяют искусственную прокачку жидкой диэлектрической среды через межэлектродный зазор, подавая ее со скоростью 0,03–0,5 м/с через отверстия в электроде-инструменте. Этим методом обычно обрабатывают формообразующие детали, изготовляемые из закаленных и труднообрабатываемых металлов для средних и крупных штампов, пресс-форм и другой аналогичной инструментальной оснастки.

Электроконтактная обработка – разновидность электроэрозионной обработки, при которой происходит размерное разрушение поверхностного слоя металла заготовки вследствие его оплавления под

воздействием импульсных дуговых разрядов и контактного нагрева. Импульсы тока формируются при этом непосредственно в промежутке между инструментом и заготовкой вследствие их относительного движения и наличия микровыступов на рабочей поверхности инструмента. Напряжение применяемого источника постоянного или переменного тока составляет 1–20 В. Например, при разрезании этим методом заготовку *1* (рис. 16.2) и дисковый электрод-инструмент *2* проводами *3* подключают к клеммам питания генератора *4*. Далее проходящий через место их контакта электрический ток разогревает и плавит металл поверхностного слоя заготовки, облегчая тем самым его удаление из зоны обработки вращающимся дисковым электродом-инструментом, который совершает поперечную подачу и во избежание расплавления дополнительно охлаждается водой *5*, поступающей из сопла *6*.

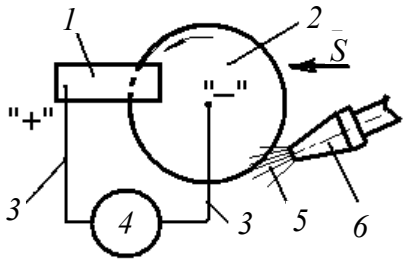


Рис. 16.2. Схема электроконтактной обработки

Этот метод применяют для очистки чугунных и стальных отливок, обдирки слитков, резки проката, грубой обработки поверхностей, а также для наплавки деталей с целью их поверхностного упрочнения. Производительность достигает 900 см^3 удаляемого металла в минуту. Точность выполнения размеров обеспечивается по квалитетам *IT*16–*IT*17, а шероховатость поверхности по 1–2 классам. Электрод-инструменты для такой обработки изготовляют из меди, латуни, чугуна и стали. В частности, инструмент из серого чугуна имеет удовлетворительную эрозионную стойкость при обработке на всех режимах.

Электромеханическая обработка – способ окончательной обработки металлических изделий резанием или давлением, сопровождающийся местным нагревом обрабатываемой поверхности электрическим током большой силы (300–1000 А) и малого напряжения (1–5 В) до температуры 800–900 ^{o}С вблизи формообразующего инструмента. Например, при точении таким нагревом охватывается зона обрабатываемой поверхности заготовки непосредственно перед режущей кромкой резца, что снижает силу резания, а скользящим вслед за резцом роликом или полировальником одновременно сглаживаются

микронеровности на разогретой поверхности, и тем самым существенно уменьшается ее шероховатость. Сочетание же теплового и силового воздействия изменяет структуру и механические свойства поверхностного слоя, повышая тем самым его твердость на глубину до 0,15 мм и износостойкость. Такой обработкой обеспечивается при точении точность выполнения размеров по квалитетам *IT*6–*IT*9, а шероховатость обработанной поверхности повышается до 9-го класса.

При ***ультразвуковой обработке*** электрическая энергия с помощью пьезо- или магнитострикционных элементов преобразуется в энергию упругих волн, которые распространяются в твердых, жидких и газообразных средах. Ультразвуковая установка содержит магнитострикционный преобразователь *1* (рис. 16.3, *а*), который располагается под кожухом *2*, охлаждаемым от перегрева проточной водой, и питается переменным током ультразвуковой частоты (16–30 кГц) от генератора *3*. К сердечнику же преобразователя *1* припаяна магнитострикционная пластина *4*, преобразующая создаваемые электромагнитные импульсы в механические колебания, которые акустическим концентратором *5* усиливаются и передаются на инструмент *6*, колеблющийся с амплитудой порядка 35–45 мкм. Торец инструмента *6* придает в свою очередь движение абразивным зернам, содержащимся в суспензии, подаваемой через сопло *7* в зону обработки заготовки *8*. В результате большим количеством ударяющихся зерен (от 30 до 100 тыс. на см^2) при высокой частоте колебаний обеспечивается удаление материала заготовки в зоне обработки с производительностью около 0,2 см^3 в минуту. Абразивная суспензия в зону обработки может подаваться насосом через сопло *7*, а также свободным наливом либо под давлением через отверстие в инструменте. В качестве абразива используются алмазные микропорошки, а также микропорошки из карбида бора и кремния.

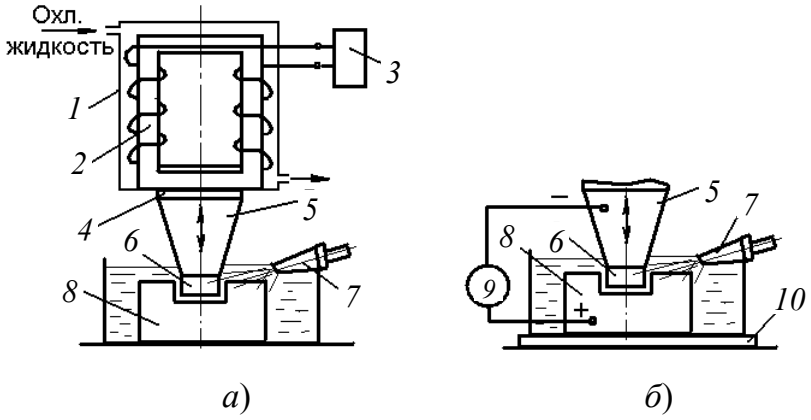


Рис. 16.3. Схемы ультразвуковой обработки:
а – ультразвуковая установка; *б* – комбинированный метод

Этим способом обычно обрабатывают заготовки из сверхтвердых сплавов и хрупких материалов, таких как стекло, ситаллы, керамика, кремний, германий, алмазы и др. Точность выполнения размеров обеспечивается по квалитетам *IT*6–*IT*9, а шероховатость поверхности по 9–12 классам. Инструмент изготовляют из углеродистых сталей марок 45, 40*Х* или из инструментальных сталей марок У8А, У10А. Следует отметить, что по мере углубления инструмента в обрабатываемую заготовку производительность обработки этим способом существенно снижается.

Обрабатывать же заготовки, выполненные из токопроводящих материалов, с более высокой производительностью позволяет комбинированный метод, совмещающий ***ультразвуковую обработку с электрохимической***. В процессе такой обработки через рабочий зазор дополнительно пропускается постоянный электрический ток от источника питания *9* (рис. 16.3, *б*), при этом к его положительному полюсу подсоединяется обрабатываемая заготовка *8*, изолируемая от станка диэлектрической прокладкой *10*, а к отрицательному – акустический концентратор *5* или инструмент *6*. В суспензии же вместо воды используется электролит в виде 20–40 % водного раствора поваренной соли, в котором под действием электрического тока происходит растворение обрабатываемого металла. При этом на его поверхности образуется тонкая пленка, обладающая высоким сопротивлением и малой механической прочностью. Эта пленка легко удаляется вместе с обрабатываемым материалом находящимися в суспензии абразивными зернами, и в результате существенно возрастает интенсивность процесса обработки до 0,4 см^3 удаляемого материала в минуту.

Плазменная обработка осуществляется низкотемпературной плазмой, выходящей из генерирующих ее электродуговых или высокочастотных плазмотронов в виде ярко светящейся струи с температурой 10000–20000 ^{o}С. Плазма – это частично или полностью ионизированный газ, в котором плотность отрицательных и положительных зарядов практически одинаковы, а концентрация этих частиц сравнительно велика. Например, в электродуговых плазмотронах, подсоединяемых к источнику электропитания *1* (рис. 16.4), рабочий газ (водород, азот, аргон, гелий, воздух и т. д.), подаваемый в разрядную камеру через канал *2*, превращается в плазменную струю *3* в дуговом разряде между тугоплавким катодом *4* (вольфрамовым, молибденовым) и присоединенным к корпусу *5* через изолятор *6* водоохлаждаемым медным анодом *7*, выполненным в виде узкого кольца – сопла. Более же «чис-

тую» плазму, не содержащую частиц вещества электродов, дают высокочастотные плазмотроны, в которых рабочий газ ионизируется в безэлектродном высокочастотном разряде, возбуждаемом в камере электромагнитным полем катушки-индуктора.

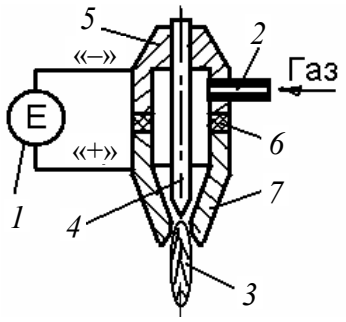


Рис. 16.4. Схема дугового плазмотрона

Плазменная обработка используется для вырезки заготовок из проката, удаления с их поверхности части припуска при размерной обработке, а также для сварки металлов, нанесения покрытий напылением тугоплавких материалов, получения порошковых материалов и т. д. При такой обработке изменяются как форма и размеры заготовки, так и структура поверхностного слоя материала. Высокая производительность, а также стабильная плазменная струя регулируемой мощности позволяют широко применять такую обработку как в единичном, так и в массовом поточном производстве.

Лазерная обработка производится излучением оптического квантового генератора (ОКГ) – прибора, в котором осуществляется генерация монохроматических электромагнитных волн оптического диапазона вследствие их индуцированного излучения активной (рабочей) средой с избытком атомов на возбужденном энергетическом уровне. Для технологических целей применяют мощные лазеры с твердотельной (рубин, неодимовое стекло) и газообразной (смесь углекислого газа и азота) активной средой, которые могут работать в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах электромагнитных волн как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Например, лазерная технологическая установка с твердотельной активной средой включает в себя зарядное устройство *1* (рис. 16.5), емкостной накопитель *2*, систему управления *3*, блок поджига *4*, лазерную головку *5*, систему охлаждения *6*, устройство стабилизации энергии излучения *7*, датчик энергии излучения *8*, оптическую систему *9*, фокусирующую луч лазера *10*, а также обрабатываемую заготовку *11*, устанавливаемую на координатном столе *12*, и систему числового программного управления *13*.

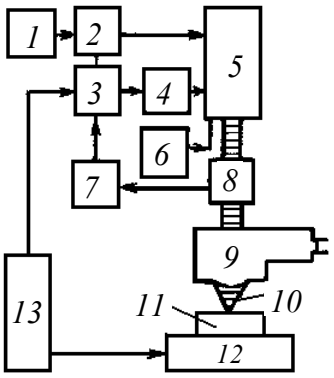


Рис. 16.5. Типовая структурная схема лазерной установки

Основными характеристиками лазерного излучения являются мощность излучения (Вт), длина волны (0,4–10,6 мкм), длительность и форма импульсов, расходимость рабочего луча. Мощными лазерами производят контурную резку проката на заготовки, вырезку в заготовках отверстий, пазов и других конструктивных элементов, сварку, а также упрочнение и поверхностное легирование деталей, выполняемых как из традиционных материалов, так и материалов любой твердости, включая алмазы и рубины. При обработке сфокусированным лазерным лучом на поверхности заготовки создается источник тепла с температурой в несколько тысяч градусов и сразу начинается испарение материала, при этом под гидродинамическим воздействием этих паров плавящийся металл удаляется из зоны обработки в виде факела, распространяющегося в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности. Этим способом обеспечивается, например, резка материалов толщиной до 50 мм со скоростью 0,5–10 м/мин и шириной реза в пределах 0,1–1 мм без возникновения в зоне обработки механических напряжений, которые неизбежны при обычной механической обработке. Точность выполнения размеров соответствует квалитетам *IT*9–*IT*11, а шероховатость поверхности – 7–9 классам.

Электронно-лучевая обработка основана на использовании тепловой энергии, выделяющейся при столкновении быстродвижущихся электронов с обрабатываемой поверхностью. Применяют такую обработку для изготовления деталей из твердых сплавов, алмазов, титана и других труднообрабатываемых материалов. Этим методом производят прошивку отверстий, размерную обработку поверхностей, а также резку и сварку материалов. Производительность обработки невысока: на черновых режимах составляет 20 мм^3 удаляемого материала в минуту; на чистовых режимах – 1 мм^3/мин. Точность выполнения размеров обеспечивается по квалитетам *IT*9–*IT*10, а параметр шероховато-

сти обработанной поверхности – по 6–8 классам. Недостатки этого метода обработки заключаются в необходимости защиты от рентгеновского излучения, применении систем высокого вакуума, а также в относительно высокой стоимости и сложности исполнения технологического оборудования.

Анодно-гидравлическая обработка выполняется на электрохимических станках и позволяет изготовлять сложнопрофильные детали из любых токопроводящих металлов с высокой точностью выполнения размеров и качеством поверхностей. Основана она на принципе локального анодного растворения обрабатываемого материала в среде электролита при высокой плотности тока (20–250 А/см) и малых межэлектродных зазорах (0,2–1,0 мм). Для этого профилированные электроды *1* (рис. 16.6) подключаются к отрицательному полюсу источника питания *2*, а обрабатываемая заготовка *3* (турбинная лопатка) размещается между этими электродами и подключается к положительному полюсу. Далее электроды сближаются и через зазор *4* между их рабочими поверхностями и заготовкой со скоростью 5–20 м/с насос *5* прокачивает электролит, в котором материал поверхностного слоя заготовки растворяется. При этом интенсивность растворения будет большей там, где зазор между сопрягающимися поверхностями меньше, и в результате к концу обработки поверхность заготовки в точности повторяет конфигурацию рабочей полости охватывающих ее профилированных электродов *1*.

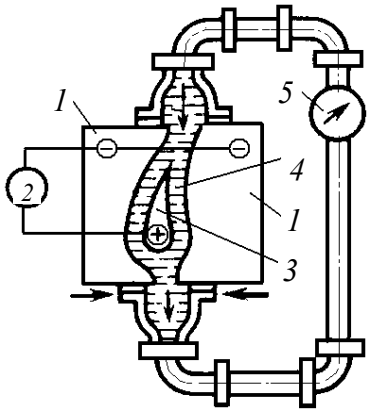
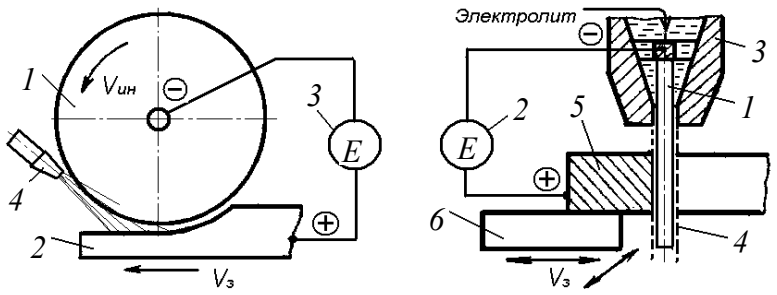


Рис. 16.6. Функциональная схема анодно-гидравлической обработки

В качестве электролитов используются водные растворы неорганических солей (NaCl, $NaNO_3$ и др.), реже кислот или щелочей, а обработка обычно проводится при напряжении электропитания 6–30 В с производительностью 4,2–8,3 $см^3$ удаляемого металла в минуту.

При этом электролит обеспечивает протекание электрохимического процесса, вынос продуктов электродных реакций, а также отвод теплоты, выделяющейся в процессе прохождения через него электрического тока. Точность выполнения размеров при такой обработке соответствует квалитетам *IT*8–*IT*10 при параметре шероховатости поверхности по 5–7 классам.

Электрохимическое профильное фрезерование осуществляется вращающимся электродом – инструментом *1* (рис. 16.7, *а*), на цилиндрической поверхности которого выполнен негативный профиль обрабатываемой поверхности на заготовке *2*. Для этого инструмент *1* подключаются к отрицательному полюсу источника питания *3*, а обрабатываемая заготовка *2* – к положительному, а в зазор между их сопрягающимися поверхностями через сопло *4* насосом подается электролит, в котором материал поверхностного слоя заготовки растворяется. При этом интенсивность растворения будет большей там, где зазор между сопрягающимися поверхностями меньше, и в результате обработанная поверхность в точности повторяет профиль рабочей поверхности электрода-инструмента *1*. Процесс обработки может осуществляться как на постоянном, так и переменном токе. Точность выполнения размеров при такой обработке соответствует квалитетам *IT*8–*IT*10 при параметре шероховатости поверхности по 5–7 классам.



а) *б*)

Рис. 16.7. Функциональные схемы электрохимической обработки:
а – вращающимся электродом; *б* – стержневым электродом

Электрохимическая обработка непрофилированным электродом-инструментом применяется в свою очередь при выполнении в заготовках фасонных отверстий, пазов (в том числе и глухих), а также для чистовой разрезки различных труднообрабатываемых материалов. При этом стержневой электрод *1* (рис. 16.7, *б*), подключенный к отрицательному полюсу источника питания *2*, устанавливается в воронке *3* так, чтобы его поверхность постоянно смачивалась выте-

кающим через ее кольцевой зазор электролитом *4*. Обрабатываемая же заготовка *5* закрепляется на координатном столе *6* станка, обеспечивающем ее перемещение по требуемой траектории в процессе резки по сопрягающейся с электродом поверхности в результате локального растворения материала в проточном электролите.

Электрохимическое полирование основано на том, что под действием электрического тока, протекающего в электролите между плоской поверхностью электрода-инструмента (катода) и сопрягающейся поверхностью заготовки (анода), на поверхности последней происходит более интенсивное растворение выступов шероховатости по отношению к впадинам, и в результате этого обрабатываемая поверхность выравнивается с достижением параметра шероховатости по 9–10 классам.

Процесс ***электрохимической маркировки*** детали (анода) осуществляется в свою очередь путем наложения на ее поверхность клише (катода) с выступающим профилем, предварительно смоченного в электролите. При этом происходит электролитическое растворение сопрягающейся поверхности детали под выступающим профилем клише и воспроизведение его изображения на поверхности в виде адекватных углублений величиной до 20 мкм с параметром шероховатости по 7–10 классам. Продолжительность маркировки составляет 0,5–1,5 с при подаваемом на электроды напряжении в 5–10 В.

Электроэрозионно-химическая обработка представляет собой комбинированный процесс, в котором анодное электрохимическое растворение материала заготовки сочетается с электроэрозионным воздействием на обрабатываемую поверхность.

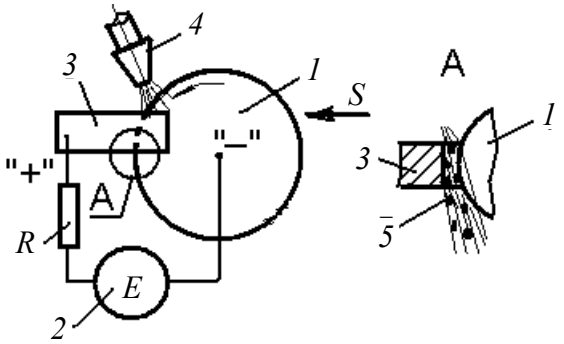


Рис. 16.8. Функциональные схемы электроэрозионно-химической обработки

При такой обработке вращающийся инструмент *1* (рис. 16.8), выполненный в форме диска и подключенный к отрицательному полюсу источника питания *2*, подается к обрабатываемой поверхности

заготовки *3*, подключенной к положительному полюсу. Одновременно в зону обработки из сопла *4* поступает электролит, в котором под действием электрического тока происходит растворение обрабатываемого металла. При этом на его поверхности образуется тонкая пленка *5*, обладающая малой механической прочностью и высоким сопротивлением. Эта пленка легко удаляется от контакта с вращающимся инструментом, при этом в момент ее удаления между сопрягающимися поверхностями возникают искровые разряды, обеспечивающие электроэрозионное удаление материала. Затем образуется новая пленка, и эти процессы чередуются с высокой частотой. Обработка осуществляется при плотности тока 100–800 А/см^2 и среднем рабочем напряжении 17–30 В с производительностью 3–7 см^3 удаляемого металла в минуту. Этим методом обычно разрезают заготовки из высоколегированных и труднообрабатываемых сплавов, а также используют его для шлифования труднообрабатываемых поверхностей. Скорость резания диском достигает 35 см/мин при ширине реза 1,5–3,0 мм. Точность выполнения размеров соответствует квалитетам *IT*7–*IT*10, при параметре шероховатости поверхности по 5–8 классам. Обрабатывающий инструмент обычно изготавливают из низкоуглеродистой стали, а в качестве электролита применяется водный раствор жидкого стекла.

17. Покрытия лакокрасочные, гальванические, окисными и пластмассовыми пленками

Покрытия наносят на изделия из различных материалов для защиты их от коррозии, придания декоративного вида, а также создания специальных поверхностных свойств (электропроводности, теплопроводности, электроизоляционных, магнитных и немагнитных свойств, светоотражающей и светопоглощающей способности, износостойкости и др.).

При выборе покрытий необходимо учитывать их назначение, условия эксплуатации, материал детали, свойства и характеристику покрытий, способ нанесения, допустимость и недопустимость контактов сопрягаемых материалов.

17.1. Лакокрасочные поверхностные покрытия

Лакокрасочные поверхностные покрытия являются простым, универсальным и широко распространенным средством защиты изделий от разрушающих воздействий окружающей среды, а также для

придания их поверхностям электроизоляционных свойств и декорирования. Они наносятся на разнообразные изделия, выполненные из металла, древесины, пластмассы, стекла, керамики, картона, бумаги, тканей, различных композиционных и других материалов. Декоративные лакокрасочные покрытия выполняются как однотонными, так и имеющими рельефный или разноцветный рисунок. По характеру рисунка их подразделяют на «молотковые», «шагрень», трескающиеся, кристаллизующиеся («мороз»), морщинистые («муар») и многоцветные. «Молотковые» покрытия имеют как бы чеканную поверхность со следами удара молотком. Рисунок «шагрень» напоминает по внешнему виду фактуру шагреневой кожи. Трескающийся рисунок по внешнему виду напоминает крокодиловую кожу. Внешний вид кристаллизующегося покрытия («мороз») напоминает узоры, образуемые кристаллами льда на стекле. Многоцветные покрытия представляют собой однослойные покрытия, по которым «разбросаны» разноцветные пятна различной формы. Морщинистый рисунок («муар») применяется редко, так как его получение связано с определенными технологическими трудностями. Для выполнения таких покрытий промышленностью выпускается широкая гамма разнообразных лакокрасочных материалов.

Лакокрасочные материалы – многокомпонентные составы, способные при нанесении тонким слоем на поверхность изделий высыхать с образованием тонкой пленки, удерживаемой силами адгезии. По назначению они подразделяются на грунтовки, шпатлевки, краски, эмали и лаки.

Грунтовки – лакокрасочные композиции, наносимые непосредственно на декорируемую поверхность и обладающие высокой адгезией как к ней, так и к наносимому последующему слою краски (эмали).

Шпатлевки служат для выравнивания неровностей на покрываемых поверхностях и обладают хорошей адгезией к грунту и последующему слою краски (эмали).

Пленкообразующими компонентами в лакокрасочных материалах служат растительные масла, естественные и синтетические смолы, а также эфиры целлюлозы, которые для возможности нанесения пленки в жидкой фазе растворяют в растворителях. Такие растворы называют ***лаками*** (лак-основа и покрывные лаки).

Лаки представляют собой прозрачные бесцветные или окрашенные затвердевающие жидкости. При введении в лак-основу пигмента, т. е. вещества, придающего ему непрозрачность и окрашен-

ность в заданный цвет, образуется ***эмалевая краска – эмаль***, которая дополнительно характеризуется видом пленкообразующего, например, перхлорвиниловая эмаль, нитроэмаль.

Растительные масла, загущенные пигментами, называют ***масляными красками*** или просто ***красками***, которые при большом содержании пигментов именуются *густотертыми красками*.

Пигменты – тонкодисперсионные порошкообразные вещества, вводимые в состав лакокрасочной композиции для придания ей определенного цвета и укрывистости (непрозрачности), а также повышения световой, атмосферной, коррозионной, эрозионной, термической стойкости и механической прочности образующейся пленки. Пигменты, в отличие от красителей, нерастворимы в воде, маслах, смолах и растворителях и при введении в лакокрасочные композиции образуют с ними суспензии.

В лакокрасочные композиции вводят также легирующие добавки (или присадки), которые подразделяются на: пластификаторы (смягчители) – для повышения пластичности пленки; сиккативы – для ускорения высыхания; разбавители – для придания краскам малярной консистенции; наполнители (улучшители) – для удешевления и придания покрытию твердости, химической стойкости, светостойкости, теплостойкости и т. д.

По составу пленкообразователя лакокрасочные материалы подразделяются на следующие основные группы: ацетобутиратцеллюлозные (АБ), полиамидные (АД), полиакриловые (АК), алкидно-акриловые (АС), алкидно-уретановые (АУ), ацетилцеллюлозные (АЦ), битумные (БТ), поливинилацетатные (ВА), поливинилацетальные (ВЛ), винил- и дивинилацетиленовые (ВН), сополимер-винилацетатные (ВС), глифталевые (ГФ), полиамидные (ИД), кремнийорганические (КО), копаловые (КП), сополимерокарбонольные (КС), ксифталевые (КТ), канифольные (КФ), масляные (МА), меламинные (МЛ), масляно- и алкидно-стирольные (МС), мочевинные (МЧ), нитроцеллюлозные (НЦ), полиэфирные насыщенные (ПЭ), полиуретановые (УР), фенолоалкидные (ФА), фторопластовые (ФП), фуриловые (ФР), перхлорвиниловые-поливинилхлоридные (ХВ), хлорированные полиэтиленовые (ХП), сополимеровинилхлоридные (ХС), циклогексановые (ЦГ), политуры шеллачные (ШЛ), эпоксидные (ЭП), этрифталевые (ЭТ), эпоксидоэфирные (ЭФ), этилцеллюлозные (ЭЦ), янтарные (ЯН) и т. д.

По назначению они разделены на группы со следующими условными обозначениями: 1 – атмосферостойкие; 2 – ограниченно атмосферостойкие (под навесом и внутри помещений); 3 – консервационные; 4 – водостойкие; 5 – специальные; 6 – маслобензостойкие; 7 – химически стойкие; 8 – термостойкие; 9 – электроизоляционные.

В обозначение марки лакокрасочного материала входят буквенное обозначение группы и несколько цифр, первая из которых указывает назначение материала, а остальные составляют порядковый номер его регистрации. Например, обозначение эмали марки ХВ-16 означает: ХВ – перхлорвиниловая эмаль; 1 – атмосферостойкая; 6 – ее регистрационный номер.

В чертежах и других технических документах лакокрасочные покрытия записываются по следующему примеру:

Покрытие: *Грунтовка* ФЛ-03К ГОСТ 9109–81; *Эмаль* ПФ-218, *светло-оранжевая* ГОСТ 21227–75.II.УХЛ4, где II – требования к внешнему виду покрытия (от I до VII со снижением качества); УХЛ4 – условия эксплуатации по ГОСТ 9.104–79.

Процесс нанесения лакокрасочных покрытий (ЛКП) включает следующие основные этапы: подготовку поверхности; ее окраску; сушку и отделку окрашенного слоя.

Подготовка поверхности предусматривает ее очистку, грунтовку и шпатлевку со шлифованием. Очистку поверхностей производят химическим воздействием или механическими средствами (пескоструйной обработкой, зачисткой шлифовальными шкурками и проволочными щетками). Затем на очищенную поверхность наносят грунтовку. По условиям работы грунтовки должны иметь высокую адгезию к покрываемому материалу, заполнять все его неровности и поры, обладать защитными (антикоррозионными) свойствами и хорошей адгезией к последующему слою краски (эмали). Поэтому каждому виду покрываемого металла или другого материала соответствуют грунтовки определенного состава. Загрунтованную поверхность, при необходимости, подвергают шпатлевке. Шпатлевки состоят из минеральной части – пигмента и наполнителей (до 85–90 %), затертых на специальных шпатлевочных лаках (или других пленкообразующих) с добавлением пластификаторов, отвердителей, поверхностно-активных и других легирующих веществ до образования однородной тонкодисперсионной пластичной (пастообразной) массы. Шпатлевками выравниваются неровности на поверхностях изделий перед окрашиванием, а также на уже окрашенных участках, при устранении обнаруженных

дефектов. Шпатлевки обладают хорошей адгезией, обеспечивающей прочное сцепление с грунтованной и негрунтованной (грунтшпатлевки, подмазки) поверхностями и достаточной пластичностью, способствующей отвердению шпатлевочного слоя оптимальной толщины (0,1–0,4 мм) без образования трещин и отслоений. Некоторые шпатлевки обладают особыми свойствами – термостойкостью, химической стойкостью, малой теплопроводностью и др. Затем затвердевшая шпатлевка шлифуется пемзой или специальными шкурками с водой для получения качественной поверхности под последующую окраску.

Окраску поверхностей производят в один или несколько слоев следующими способами: ручной окраской кистью, накаткой валками, окунанием, наливом, а также воздушным распылением и распылением в электростатическом поле. В частности, крашение распылением в электростатическом поле характеризуется тем, что аэрозольным частицам краски придается в процессе распыления отрицательный заряд, вследствие чего они более целенаправленно переносятся воздушным потоком и осаждаются на положительно заряженном окрашиваемом изделии. Этот способ окраски характеризуется более высокой производительностью, минимальными потерями краски и относительно высоким уровнем механизации процесса на стационарных окрасочных линиях. Особенно он эффективен при окраске изделий сложной формы, а также решетчатых конструкций.

Отверждение нанесенных лакокрасочных покрытий осуществляется в результате испарения из них растворителей (углеводородных, спиртовых, кетонных, из сложных и простых эфиров), либо в результате реакции окисления (масляные краски и лаки), либо за счет реакции полимеризации или конденсации, либо за счет испарения растворителей с одновременными химическими превращениями. Из этого следует, что термин «сушка», которым называют процесс отверждения покрытия, не вполне отражает физико-химическую сущность протекающих при этом процессов. Различают сушку естественную, протекающую при температуре воздуха 18–23 °С, и горячую, продолжительность которой по сравнению с естественной уменьшается в 5–6 и более раз, а также высокоэффективную УФ-сушку. Естественная сушка может продолжаться от 30–40 мин (нитроэмали) до 48 и более ч (масляные и спиртовые лакокрасочные материалы).

Существуют следующие виды горячей сушки: конвективная, терморадиационная (лучевая) и с предварительным аккумулированием тепла.

При конвективной сушке нагрев изделий в сушильной камере осуществляется потоками воздуха с температурой 40–80 °С. При этом процесс высыхания начинается на наружной поверхности покрытия, и образовавшаяся пленка препятствует свободному удалению паров растворителя с его нижних слоев. Это увеличивает время сушки и может привести к ухудшению качества покрытия (образованию в нем пузырьков и кратеров).

Терморадиационная сушка основана на способности лакокрасочного материала пропускать основной поток инфракрасных лучей, нагревающих в результате покрываемую поверхность. В этом случае пленкообразование начинается на внутренней поверхности покрытия, а направление потока тепла (от изделия к поверхности покрытия) совпадает с направлением движения испаряющихся летучих частиц. Этим улучшается качество покрытия и сокращается продолжительность сушки. Обычно в таких сушильных камерах в качестве источников тепла применяются трубчатые электронагреватели (ТЭНы), реже – электролампы и обогревающие панели.

Сушка с предварительным аккумулированием тепла заключается в том, что декорируемое изделие предварительно нагревают, а затем на его горячую поверхность наносится лакокрасочное покрытие. При этом пленкообразование начинается на внутренней поверхности покрытия и этим улучшается его качество, а также сокращается продолжительность сушки. Кроме этого, предварительный нагрев изделия способствует частичному удалению воздуха из его поверхностных пор, что также способствует повышению качества покрытия.

Наряду с рассмотренными применяется также и высокоэффективное фотохимическое отверждение полиэфирных покрытий ультрафиолетовыми лучами с длиной волны 320–400 нм (УФ-сушка). При такой сушке молекулы покрытия, поглощая энергию УФ-лучей, переходят скачкообразно в электронно-возбужденное состояние и более активно вступают в реакцию. В результате этого продолжительность отверждения соответствующих покрытий сокращается до нескольких десятков секунд. Чтобы повысить чувствительность к УФ-облучению, например, в полиэфирный лак вводят сенсибилизатор, который непосредственно в реакции сополимеризации не участвует, а служит только для переноса поглощенной им энергии на молекулы реагирующих компонентов, так как он интенсивнее, чем ненасыщенные смолы, поглощает ультрафиолетовое излучение. Поверхности, декорированные беспарафиновыми полиэфирными лаками и эмалями, при

отверждении облучают ультрафиолетовыми лампами высокого давления (ДРТ-12000) мощностью 1–12 кВт, и после сушки таким покрытиям, как правило, не требуется отделочная обработка.

Отделка и облагораживание окрашенных поверхностей предусматривает их выравнивание и полирование, печатание рисунков и изображений, например, имитирующих текстуру, а также лакирование. Выравнивание поверхности лакокрасочного покрытия производится последовательным ее шлифованием шлифшкурками: вначале с зернистостью № 4–5, а затем № 3–4. Толщина удаляемого при этом слоя составляет 50–100 мкм, а глубина рисок после шлифования не должна превышать 2 мкм. Выполняется этот процесс на разнообразных ленточношлифовальных станках, выбор которых определяется размерами и формой изделия. Полирование покрытий производится в основном полировочными пастами, содержащими абразивный материал различной зернистости. При этом мазеобразную полировальную пасту наносят обычно на полируемую поверхность, а твердую – на полирующий инструмент. Например, широко применяемая мазеобразная полировочная паста № 221 содержит оксид алюминия, аэросил, масла и уайт-спирит; размер входящего абразива – не более 35 мкм. Выполняется полирование на однобарабанных или многобарабанных полировальных станках. При этом наряду с механическим срезанием микровыступов происходит и нагрев поверхности за счет трения до температуры 60–70 °С. В результате поверхность лакокрасочного покрытия становится пластичной и процесс механического удаления микронеровностей дополняется выглаживанием размягченной поверхности. После полирования остатки паст и масел удаляют составами, которые содержат мягкие минеральные или синтетические порошкообразные материалы, хорошо адсорбирующие масла, или органические растворители. Для обработки поверхностей с нитроцеллюлозными покрытиями используют безабразивные полировочные составы и разравнивающие жидкости. Их действие основано на растворении выступающих микронеровностей и заполнении впадин. Обработка такими составами придает покрытиям блеск на уровне 3–4-й строк по рефлектоскопу Р-4. Из разравнивающих жидкостей используют РМЕ (смесь органических растворителей с добавкой вазелина и поверхностно-активных веществ) и НЦ-313 (раствор коллоксилина и циклогексанон-формальдегидной смолы в органических растворителях с добавлением пластификаторов).

Нанесение на лакокрасочные покрытия декоративных рисунков и графических изображений с последующим их защитным лакированием осуществляется полиграфической печатью и другими методами.

17.2. Металлические покрытия

Металлические покрытия применяют как защитные, декоративные, износостойкие и технологические. Наиболее распространенными из них являются следующие:

– цинковое (Ц) – защита от коррозии стали, чугуна, меди и ее сплавов;

– кадмиевое (Кд) – защита от коррозии, в том числе и морской воды, стали, чугуна, меди и ее сплавов;

– никелевое (Н) – защита от коррозии, декоративная отделка, получение светопоглощающей и светоотражающей поверхности;

– хромовое (Х) – защита от коррозии, декоративная отделка, повышение твердости, получение светопоглощающей и светоотражающей поверхности;

– медное (М) – обеспечение способности к пайке, повышение электропроводности, экранирование от электромагнитных излучений;

– оловянное (О) – обеспечение способности к пайке, защита от коррозии;

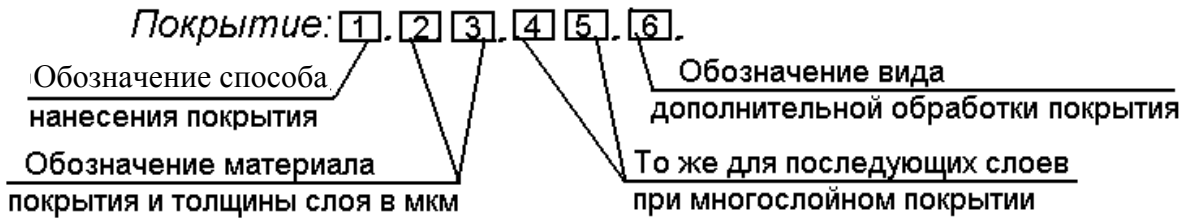
– серебряное (Ср) – повышение электропроводности, получение светоотражающей поверхности и декоративная отделка;

– золотое (Зл) – повышение электропроводности, защита от коррозии и декоративная отделка дорогостоящих изделий.

Металлические покрытия могут быть анодными и катодными.

Первые обеспечивают лучшую защиту, срок которой определяется лишь скоростью разрушения металла покрытия и не зависит от его пористости (например, цинк и кадмий). Катодные покрытия защищают основной металл только при отсутствии пор в покрытии (например, никель).

Структура записи металлических покрытий в конструкторской и другой технической документации следующая:



1 – обозначение способа нанесения покрытия. Применяются следующие способы нанесения металлических покрытий: катодное восстановление (не обозначается); анодное окисление (Ан.); химический (Хим.); горячий (Гор.); диффузионный (Диф.); металлизационный (Мет.); конденсационный (Кон.); контактный (Кт.); вжигание (Вж.) и катодное распыление (Кр.);

2 и 3 – обозначение материала покрытия и толщины первого слоя в микрометрах. Металлические покрытия могут быть однослойными и многослойными, а также выполняться из сплавов металлов. Толщина металлических покрытий может составлять от десятых долей до нескольких десятков микронов и выбирается из соответствующего параметрического ряда;

4 и 5 – то же для последующих слоев при многослойном покрытии;

6 – обозначение вида дополнительной обработки покрытий: фосфатирование (фос.); хроматирование (хр.); оксидирование (окс.); оплавление (опл.); пропитка (прп.); гидрофобизирование (гфз); пропитка маслом (прм.); наполнение в воде (нв.); нанесение лакокрасочного покрытия (лкп.).

Примеры обозначения покрытий:

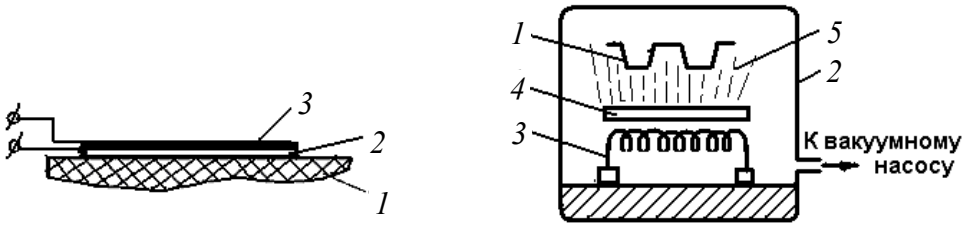
Покрытие: Ц12.хр.;

Покрытие: М3Н12 тв;

Покрытие: Хим. Окс. прм.

Металлизацией изделий, в том числе и пластмассовых, называют процесс нанесения на их поверхность металлических покрытий, в результате чего изделия приобретают особые декоративные свойства и улучшаются их эксплуатационные характеристики. Такие покрытия обычно выполняются из алюминия, меди, никеля и хрома. Металлические покрытия на пластмассы можно наносить несколькими способами, однако наиболее экономичными и распространенными из них являются химико-гальваническая и вакуумная металлизация.

Сущность процесса ***химико-гальванической металлизации*** заключается в том, что на покрываемых поверхностях *1* пластмассовых изделий (рис. 17.1, *а*) химическим осаждением металла из раствора его солей создается электропроводящий подслой *2*, на который затем электрохимическим способом наносится основной слой *3* металлического покрытия. Этим способом, например, на пластмассовую тару для косметической и парфюмерной продукции, а также пластмассовые корпуса часов, авторучек и других изделий можно наносить блестящие элементы декоративной отделки, имитирующие серебро, золото и другие металлы.



а) *б*)

Рис. 17.1. Схемы процессов металлизации

При ***металлизации напылением в вакууме*** изделие *1* (рис. 17.1, *б*) помещается в герметичную камеру *2*, которая затем закрывается и в ней создается вакуум путем откачивания воздуха вакуумным насосом. Далее раскаленной спиралью *3* или электрическим дуговым разрядом в камере испаряется наносимый металл навески *4*, и его пары *5* осаждаются на покрываемой поверхности изделия *1*, образуя металлическое покрытие толщиной до 1 мкм. Этим способом металлические покрытия наносятся как на отдельные изделия, так и на упаковочные материалы. В частности, этим способом наносят алюминиевое покрытие толщиной 0,03–0,05 мкм на бумагу или полимерные пленки в процессе их перемотки в камере с одного рулона в другой. Причем такая металлизация может производиться путем прямого напыления на их поверхность алюминиевого покрытия в вакууме, либо трансфертным способом – когда металлизированный слой вначале напыляется в вакууме на полимерную пленку, а затем с нее полимерной композицией переклеивается, например, на бумажную основу. В результате этого поверхность металлизированного слоя получается глянцево-блестящей. Такие оберточные металлизированные материалы сочетают в себе высокие барьерные и технологические свойства с оптимальной стоимостью. В выполненные из них красочные обертки упаковывают карамель, чай, кондитерские изделия, сливочное масло, пищевые жиры и концентраты, сырково-творожные продукты, фармацевтические, табачные и многие другие товары.

17.3. Неметаллические неорганические покрытия

Неметаллические неорганические покрытия получают, например, оксидированием или фосфатированием. Этими способами на поверхности металла создаются неорганические защитные пленки путем химической или электрохимической обработки изделий в специальных растворах, а также термическим способом.

К химическим способам относятся щелочное и кислотное оксидирование. В первом случае обработку стальных деталей производят в горячем концентрированном растворе щелочи, содержащем окислители; во втором – рабочий раствор содержит ортофосфорную кислоту и окислители.

Электрохимическое оксидирование деталей из черных и цветных металлов и сплавов производят в растворе едкой щелочи. На деталях из алюминия и алюминиевых сплавов анодно-оксидные покрытия получают в сернокислом, хромовокислом или щавелевокислом электролитах. Причем в хромовокислом электролите покрытия получаются более эластичные и с меньшей шероховатостью поверхности, чем в сернокислом электролите. Анодно-оксидные покрытия с толщиной 24–100 мкм являются износостойкими, а также обладают тепло- и электроизоляционными свойствами. Для придания деталям декоративного вида анодно-оксидные покрытия наполняются в растворах различных красителей. Эти покрытия являются также хорошей основой для нанесения лакокрасочных покрытий, клеев и герметиков.

При фосфатировании на поверхности металла химическим путем создается пленка нерастворимых фосфорнокислых солей марганца и железа или железа и цинка. Толщина фосфатной защитной пленки может быть от 2 до 15 мкм и более. Фосфатные покрытия обладают сравнительно низкими защитными свойствами в связи с пористым строением. Для повышения коррозионной стойкости фосфатированные детали необходимо подвергать окраске, промасливанию, гидрофобизированию или другой обработке в зависимости от условий эксплуатации.

Термический способ заключается в нагреве стальных деталей на воздухе в среде водяного пара или расплавленной селитре, при этом на поверхности образуется защитная пленка толщиной около 1 мкм.

17.4. Пластмассовые и резиновые покрытия

Пластмассовые и резиновые покрытия позволяют применять углеродистые стали вместо легированных и цветных металлов в химическом машиностроении, в машинах для производства пищевых продуктов, а также во многих других областях. Применяются они в качестве декоративных, антикоррозионных и антифрикционных покрытий. Для их нанесения используются термопластичные и термореактивные пластмассы (полиэтилен, полипропилен, фторопласт, полиуретан и др.), которые наносятся на поверхность металлов в виде мелкодисперсного порошка, переходящего при нагреве в вязкотекучее состояние. Толщи-

на таких покрытий обычно составляет 0,15–0,35 мм. Изделия перед напылением обычно нагреваются до температуры 180–300 °С. Иногда в качестве грунта под покрытие, повышающего адгезию, используются клеи (88-Н, ХГС и др.).

18. Методы выполнения основных видов сборочных соединений

Сборка – процесс, содержащий действия по установке и образованию соединений составных частей изделия (ГОСТ 23887–79). Требуемая точность сопряжения деталей при сборке может быть обеспечена методами полной взаимозаменяемости, неполной (частичной) взаимозаменяемости, групповой взаимозаменяемости, а также регулировки и индивидуальной пригонки.

Метод полной взаимозаменяемости заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у всех объектов путем включения в нее составляющих звеньев (деталей) без выбора, подбора или изменения их величин. При этом методе размерные цепи рассчитываются на максимум-минимум, т. е. он основывается на расчете крайних предельных отклонений размеров цепи при неблагоприятном их сочетании. Метод прост и обеспечивает стопроцентную взаимозаменяемость деталей, однако имеет существенный недостаток – уменьшенные допуски на составляющие звенья, что приводит к увеличению трудоемкости и себестоимости их изготовления. Этим методом обеспечивается организация поточной сборки изделий в серийном и массовом производствах, а также упрощается ремонт машин в процессе эксплуатации и снабжения их запасными частями.

При ***методе неполной (частичной) взаимозаменяемости*** допуски на размеры сопрягаемых деталей (составляющих звеньев) берутся несколько большими, чем при полной взаимозаменяемости. Требуемая точность замыкающего звена достигается при этом не у всех собираемых объектов. В основе этого метода лежит известное положение теории вероятности, по которому крайние величины отклонений звеньев размерной цепи встречаются гораздо реже, чем средние. Поэтому процент изделий, у которых величина замыкающего звена будет выходить за пределы требуемого допуска, окажется незначительным. А дополнительные затраты, связанные с исправлением небольшого количества несобирающихся изделий, будут при этом

малы в сравнении с экономией труда и средств, полученной от изготовления входящих деталей по менее жестким допускам. Этот метод широко применяется в серийном и массовом производствах.

Метод групповой взаимозаменяемости заключается в том, что если назначенные на собираемые детали конструкторские допуски оказываются труднодостижимыми, то эти детали изготовляют экономическими методами обработки по производственным или технологическим допускам, превышающим в несколько раз конструкторские. Требуемая точность сборки обеспечивается при этом непосредственным подбором сопрягаемых деталей, предварительной сортировкой их на группы или сочетанием сортировки деталей на группы с непосредственным подбором.

Непосредственный подбор собираемых деталей (селективная сборка) заключается в том, что под фактический размер одной детали из числа изготовленных подбирается такая вторая сопрягаемая деталь, которая в соединении с нею обеспечивала бы заданный допуск замыкающего звена.

Сортируют же детали на группы по их действительным размерам таким образом, чтобы в каждой группе сборка обеспечивалась с заданной точностью замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости. Выполняется это следующим образом:

– определяют по чертежу соединения, допуск требуемой посадки путем суммирования конструктивных допусков $\delta_а$ и $\delta_в$ на размеры сопрягаемых элементов деталей, например отверстия $\delta_а$ втулки и сопрягаемого с ним наружного диаметра $\delta_в$ вала;

– устанавливают приемлемые для производства расширенные допуски на изготовление сопрягаемых деталей, т. е. технологические допуски $\delta_{ат}$ и $\delta_{вт}$, которые по величине должны быть кратными конструкторским допускам;

– определяют число групп сортировки деталей по следующей формуле:

$$n = \frac{\delta_{ат} + \delta_{вт}}{\delta_а + \delta_в};$$

– определяют предельные отклонения размеров для каждой группы деталей следующим образом: для первой группы деталей предельные отклонения размеров принимаются равными конструкторским значениям, а для каждой последующей группы к значениям предельных отклонений предыдущей группы прибавляется соответствующее значение конструкторского допуска.

При сочетании сортировки деталей на группы с подбором в пределах каждой группы рассортированных деталей производится еще и непосредственный подбор сопрягаемых деталей для достижения оптимального значения посадки.

Метод групповой взаимозаменяемости применяется при сборке прецизионных подшипников и других высокоточных изделий. При этом дополнительные затраты, связанные с сортировкой деталей на размерные группы и их подбором при сборке, окупаются за счет экономии, получаемой от изготовления этих деталей экономическими методами обработки по расширенным технологическим допускам.

Метод регулировки заключается в том, что на размеры сопрягаемых деталей, входящих в узел или комплект, устанавливают технологические допуски, а требуемую посадку обеспечивают при этом введением в размерную цепь дополнительного компенсирующего звена. В качестве же компенсаторов применяют резьбовую пару, наборы прокладок, клинья и другие конструктивные элементы. Достоинства этого метода, широко применяемого в машиностроении, заключаются в возможности производить обработку деталей по расширенным допускам, простоте сборки, обеспечении высокой точности соединений и в возможности их регулировки (поднастройки) в процессе эксплуатации. К недостаткам следует отнести увеличение числа деталей в изделии, что несколько усложняет его конструкцию, технологию сборки и трудоемкость изготовления.

Метод индивидуальной пригонки заключается в том, что в сборочную размерную цепь включается дополнительное, так называемое компенсирующее звено, при этом на все составляющие звенья размерной цепи назначаются легкодостижимые допуски. Требуемая же точность соединения достигается при сборке за счет дополнительной обработки (пригонки) этого компенсирующего звена путем снятия с него слоя материала шлифованием, притиркой, шабрением, опиливанием, зачисткой, обработкой отверстий по месту и другими способами. В качестве компенсатора обычно используется одна из деталей сборочного соединения или дополнительная деталь в виде прокладки, проставочного кольца или другого конструктивного элемента. Достоинства этого метода заключаются в получении высокой точности сборки при расширенных допусках на составляющие звенья цепи, что снижает трудоемкость механической обработки входящих деталей, при этом трудоемкость сборки существенно повышается, а детали собранного узла можно использовать только комплектно. Сборка этим методом целесообразна в единичном и мелкосерийном производствах.

18.1. Основные виды сборочных соединений

Сборочные соединения деталей подразделяются на подвижные и неподвижные, а неподвижные соединения выполняются в свою очередь разъемными и неразъемными.

В ***подвижных соединениях*** сопрягающиеся детали образуют кинематические пары, что обеспечивается соединением их по переходным посадкам и посадкам с зазором, обеспечивающим требуемую подвижность сочленений.

Неподвижными разъемными называются такие соединения, которые могут быть разобраны и повторно собраны без повреждения сопрягающихся элементов или крепежных деталей. В ряде случаев эти соединения выполняются в сочетании с переходными посадками и с посадкой на конус. К ним относятся резьбовые, шпоночные, шлицевые и штифтовые соединения.

В частности, ***резьбовые соединения*** выполняются посредством шпилек, болтов, винтов и гаек, часто с использованием различных шайб (плоских, пружинных, стопорных). В массовом производстве трудоемкость сборки резьбовых соединений составляет от 25 до 40 % общей трудоемкости сборочных работ, поэтому механизации и автоматизации этих процессов должно уделяться повышенное внимание. При выполнении многоболтовых соединений затяжку гаек и болтов на собираемых деталях необходимо производить в определенной последовательности. Например, в соединениях с прямоугольным расположением крепежных деталей затяжку гаек или болтов следует начинать с тех, которые расположены в средней части. При расположении же крепежных деталей по окружности или овалу – их затягивают «накрест» (вначале расположенные на одной оси симметрии, затем расположенные на перпендикулярной к ней оси симметрии, а затем в том же порядке затягивают остальные – расположенные на промежуточных осях симметрии). Затяжка при этом должна производиться постепенно в 2–3 приема до достижения заданной прочности соединения. Требуемое усилие затяжки при необходимости обеспечивается применением тарированных и динамометрических ключей. В конструкторской и другой технической документации стандартные резьбовые крепежные детали записывают по следующим примерам:

Болт М12×1,25-6*g*×60.58.019 ГОСТ 15163–69,

где М12 – диаметр резьбы; 1,25 – шаг резьбы; 6*g* – класс точности резьбы (поле допуска); 60 – длина болта; 58 – класс прочности материала; 01 – вид покрытия (цинковое) и 9 – его толщина в мкм.

Гайка 2М12×1,25-6*Н*.12.40*Х*.019 ГОСТ 15522–70,

где 2 – исполнение по стандарту; М12 – диаметр резьбы; 1,25 – шаг резьбы; 6*Н* – класс точности резьбы (поле допуска); 12 – класс прочности материала; 40*Х* – марка материала; 01 – вид покрытия (цинковое) и 9 – его толщина в мкм.

Шпоночные соединения – неподвижные соединения вала и надетой на него детали (зубчатого колеса, шкива, муфты и т. п.) с помощью шпонки, обеспечивающей передачу крутящего момента. В таких соединениях применяются, как правило, разнообразные стандартные шпонки, которые подразделяются на призматические (ГОСТ 23360–78), призматические высокие (ГОСТ 10748–79), призматические направляющие с креплением на валу (ГОСТ 8790–79) и призматические скользящие (ГОСТ 12208–66) шпонки, а также на сегментные (ГОСТ 8795–68) и клиновые (ГОСТ 8792–68) шпонки.

Шлицевые соединения – соединение с тугой или скользящей посадкой двух деталей, имеющих сцепляющиеся пазы и выступы, обеспечивающие передачу больших крутящих моментов. Применяются прямоблочные (ГОСТ 1139–58) шлицевые соединения, которые являются наиболее распространенными, а также эвольвентные (СТ СЭВ268–76) и мелкозубые треугольные шлицевые соединения. При тугой посадке, которую обычно выполняют с предварительным подогревом охватывающей детали до температуры 80–120 ^{o}С, шлицевое соединение получается неподвижное, а при скользящей – возможно взаимное осевое перемещение сопрягаемых деталей. Допуски в таких соединениях устанавливают с центрированием сопрягаемых деталей по внешнему диаметру, по внутреннему диаметру или по боковым сторонам зубьев.

Штифтовые соединения применяют для неподвижного соединения двух деталей, а также в качестве установочных элементов, координирующих точное взаимное расположение сопрягаемых деталей. В отличие от болтов и шпилек, работающих на растяжение, штифты от воспринимаемой нагрузки работают на срез. В таких соединениях широко применяются стандартные штифты, которые подразделяются на цилиндрические с засверленными концами (ГОСТ 10774–75), цилиндрические для глухих отверстий (ГОСТ 12207–66) и конические штифты (ГОСТ 3129–70), а также на конические штифты с внутренней резьбой (ГОСТ 9464–70), резьбовой цапфой (ГОСТ 9465–70) и разводные штифты (ГОСТ 19119–73).

Неподвижными неразъемными называются такие соединения, разборка которых при эксплуатации не предусматривается и сопровождается либо повреждением сопрягаемых элементов, либо разрушением крепежных деталей или скрепляющего шва. К ним относятся соединения, выполняемые с гарантированным натягом, развальцовкой, клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием и сшиванием.

Соединения с гарантированным натягом осуществляют на прессах или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали. На величину натяга оказывают существенное влияние шероховатости посадочных поверхностей, которые назначаются не ниже 6–7 класса. Качество соединений контролируется по величине силы запрессовки. Сборка с тепловым воздействием обеспечивает прочность соединения в 1,5–2,5 раза выше обычных прессовых посадок, так как в этом случае сглаживания микронеровностей на сопрягаемых поверхностях не происходит, и поэтому сопрягаемые поверхности можно обрабатывать менее тщательно. Температура нагрева охватывающей детали при тепловой сборке находится в пределах 75–450 °С в зависимости от требуемой величины натяга. Время и интенсивность нагрева устанавливаются опытным путем.

Развальцовывание применяется при сборке герметичных неразъемных соединений. Осуществляется путем пластической раздачи (увеличения диаметра) полой охватывающей детали в результате создаваемого на нее в месте выполняемого соединения давления вращающимся роликовым инструментом, который называется вальцовкой. Выполняется развальцовка на сверлильных, токарных и специальных станках или вручную.

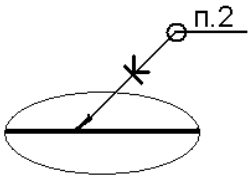
Клепка применяется для прочного и герметичного соединения деталей. С развитием технологий сварочного производства область применения заклепочных соединений постепенно сокращается. В настоящее время заклепки применяют в тех случаях, когда нагрев сопрягаемых деталей нежелателен (узлы приборов, закрепление плоских пружин), а также при сборке деталей из разнородных материалов (сталь–чугун, металл–пластмасса), сварка и пайка которых затруднена, а склеивание не обеспечивает требуемой прочности. Для клепки применяют стандартные заклепки с потайной (ГОСТ 10300–80), сферической (ГОСТ 10299–80) и плоской (ГОСТ 10303–80) головками нормальной и повышенной точности; пустотелые заклепки (трубчатые) со скругленной (ГОСТ 12638–67), потайной (ГОСТ 12640–67) и плоской (ГОСТ 12639–67) головками; а также заклепки полупусто-

телые с полукруглой (ГОСТ 12641–80), потайной (ГОСТ 123634–80) и плоской (ГОСТ 123642–80) головками. Клепку в труднодоступных местах (сборка резервуаров с узкими наполнительными отверстиями) производят взрывными заклепками или заклепками, которые можно ставить с одной стороны («слепая» клепка). Стальные заклепки диаметром более 14 мм устанавливают в горячем состоянии, нагревая их до температуры 1000–1100 °С. Для установки заклепок диаметром до 10 мм применяют пневмомолотки, а диаметром свыше 10 мм – пневмогидравлические и гидравлические прессы. При горячей клепке на прессах создаваемое усилие в тоннах должно быть не менее $10F$, а при холодной клепке – $25F$, где F – площадь поперечного сечения стержня заклепки в см^2.

Склеивание позволяет производить соединение деталей, выполненных как из однородных, так и разнородных материалов. Такие соединения снижают вес изделий, обеспечивают, при необходимости, герметичность и коррозионную стойкость соединительных швов, а также во многих случаях снижают себестоимость сборочной операции.

Клей – это вещество, способное соединять между собой твердые тела за счет образования между их поверхностями и клеевой прослойкой прочной адгезионной связи, т. е. связи, образуемой силами как межмолекулярных, так и химических связей, включая обобществление электронов. Интенсивность таких взаимодействий, а следовательно, и прочность клеевого соединения существенно зависит как от химической природы клея, так и склеиваемых поверхностей. Клей должен содержать молекулы, способные взаимодействовать с молекулами веществ, соединяемых твердых тел. Поскольку на практике приходится соединять весьма разнообразные по химическому составу детали, постольку и клеи оказываются весьма многообразными.

По сравнению со сварными, паянными и заклепочными соединениями, клеевые соединения дают равномерное распределение напряжений в соединяемых материалах и не вызывают их коробления. Они хорошо работают на сдвиг, равномерный отрыв и плохо на неравномерный отрыв (отдир); хорошо переносят динамические и переменные нагрузки. К недостаткам клеевых соединений можно отнести их невысокую теплостойкость, склонность к ползучести при длительном приложений больших статических нагрузок, потребность в длительной выдержке соединения под постоянным давлением в процессе полимеризации клея, а также сопутствующие этим операциям вредные условия труда.



2. Клей 88-Н ТУ38-105.1061–82

Рис. 18.1. Пример обозначения клеевого шва

На чертежах клеевые швы обозначаются утолщенной линией (2*S*), а также идущей от нее выносной линией со стрелкой и условным знаком (рис. 18.1), заканчивающейся полкой, над которой приводится пункт технических требований чертежа, где записана марка клея.

Применяемые в производстве клеи делятся на фенольные, бакелитовые, эпоксидные, полиамидные, карбонатные, полиуретановые, перхлорвиниловые, цианакриловые и т. д. Используются также и специальные клеи, обладающие повышенной теплостойкостью, доходящей до 500 °С, и обеспечивающие прочность соединения на сдвиг в 600–700 кг/см^2.

При склеивании сопрягаемые поверхности деталей очищают, обезжиривают и в некоторых случаях обрабатывают механическим или химическим путем для получения шероховатости, обеспечивающей лучшую адгезию клея. Затем соединяемые поверхности смазывают клеем, соединяют между собой и выдерживают соединение под давлением до полной полимеризации клея. Наряду с чисто клеевыми в настоящее время применяются и комбинированные соединения, например клеезаклепочные.

18.2. Сварные неразъемные соединения

Сварка – технологический процесс образования неразъемного соединения между деталями и элементами конструкций путем их местного сплавления или совместного деформирования, в результате чего возникают прочные связи между атомами (молекулами) соединяемых тел. Существует свыше 60 методов сварки, которые подразделяют на следующие основные группы:

– сварка плавлением – газовая, электродуговая, аргонодуговая, высокочастотная, электрошлаковая и др.;

– сварка пластическим деформированием – горновая, холодная и газопрессовая сварки, а также контактная, стыковая и точечная электросварки;

– специальные методы сварки – диффузионная сварка в вакууме, сварка трением, сварка электронным лучом, химическая, лазерная и ультразвуковая сварки.

В производстве сварных конструкций применяются следующие типы сварных соединений: стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные.

Стыковое соединение (рис. 18.2, *а–б*) – это сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями.

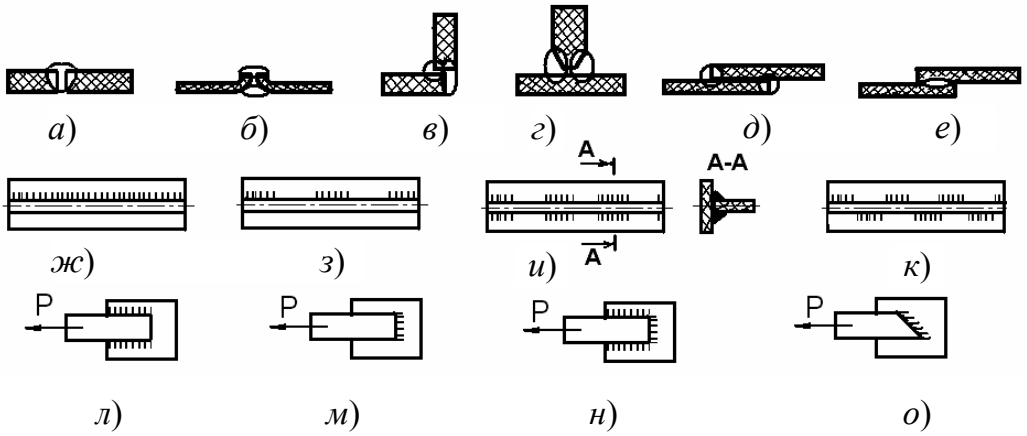


Рис. 18.2. Конструктивные исполнения сварных соединений

Угловое соединение (рис. 18.2, *в*) – это сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев.

Тавровое соединение (рис. 18.2, *г*) – это сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приваривается к боковой поверхности другого элемента.

Нахлесточное соединение (рис. 18.2, *д–е*) – это соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и перекрывают друг друга.

В зависимости от толщины свариваемых материалов швы могут выполняться с различным способом подготовки кромок – с отбортовкой кромок (рис. 18.2, *б*), без скоса кромок (рис. 18.2, *а*, *в*, *д*, *е*), со скосом одной или двух кромок (рис. 18.2, *г*). По способу же выполнения сварные швы делятся на односторонние (рис. 18.2, *а*, *е*) и двусторонние (рис. 18.2, *б–д*). По протяженности различают непрерывные (рис. 18.2, *ж*), прерывистые и точечные швы. Прерывистые швы в свою очередь подразделяются на односторонние (рис. 18.2, *з*) и двусторонние (рис. 18.2, *и*) цепные, а также двусторонние шахматные (рис. 18.2, *к*). Непрерывные швы обычно применяются для получения высокопрочных и герметичных сварных соединений. Прерывистые же швы создают меньшие деформации сварной конструкции, обеспе-

чивают экономию присадочного материала, времени и стоимости сварки. По отношению к действующим усилиям *P* сварные швы также подразделяются на фланговые (рис. 18.2, *л*), лобовые (рис. 18.2, *м*), комбинированные (рис. 18.2, *н*) и косые (рис. 18.2, *о*). Основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений регламентированы:

– ГОСТ 16037–80 «Сварные соединения, выполняемые ручной дуговой сваркой»;

– ГОСТ 14806–69 «Дуговая ручная сварка в защитных газах неплавящимся металлическим электродом»;

– ГОСТ 8713–79 «Автоматическая и механизированная сварка под флюсом»;

– ГОСТ 14771–76 «Дуговая сварка в защитных газах» и др.

Швы сварных соединений условно изображаются и обозначаются на чертежах в соответствии с ГОСТ 2.312–72 следующим образом. Сплошной шов независимо от способа сварки обозначается сплошными основными линиями, невидимые швы – штриховыми линиями, а сварную точку обозначают знаком «+». Условное обозначение стандартного сварного шва имеет следующую структуру (рис. 18.3):

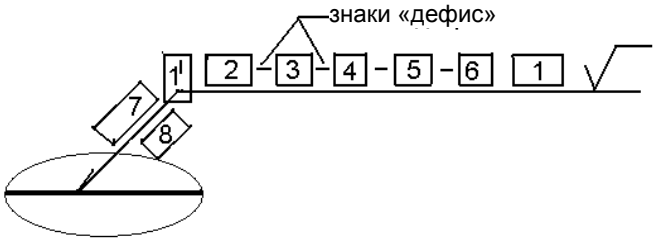


Рис. 18.3. Структура условного обозначения стандартного сварного шва, *1* – вспомогательные знаки шва (*1'* – вспомогательные знаки «О» или «┐»):
О – шов по замкнутой линии; ⊐ – шов по незамкнутой линии;
⌒ – усиление шва снять; ⌣ – наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу; ┐ – шов выполнить при монтаже изделия; / – шов прерывистый или точечный с цепным расположением; *Z* – шов прерывистый или точечный с шахматным расположением; *2* – обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений; *3* – буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту; *4* – условное обозначение способа сварки по стандарту (допускается не указывать); *5* – знак ◺ и размер катета сварного шва; *6* – для прерывистого шва – длина провариваемого участка, знаки «/» или «*Z*» и размер шага; *7* – количество одинаковых швов и номер шва; *8* – обозначение контрольного комплекса или категории контрольного шва

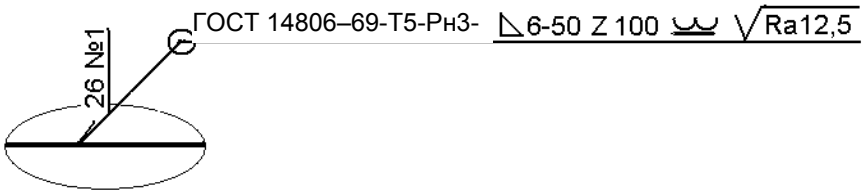


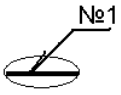
Рис. 18.4. Пример условного обозначения стандартного сварного шва

В качестве примера (рис. 18.4) приведено обозначение следующего сварного шва – шов таврового соединения без скоса кромок, двухсторонний, прерывистый с шахматным расположением, выполняемый дуговой ручной сваркой в защитных газах неплавящимся металлическим электродом по замкнутой линии с высотой катета шва 6 мм; длина провариваемого участка 50 мм при шаге 100 мм; на изделии выполнить 26 швов такого типа в указанных местах, наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу с параметром шероховатости поверхности *Ra* 12,5 мкм.

Примечания:

1. Условное обозначение шва наносят под полкой линии выноски, проведенной от изображения шва с оборотной стороны.

2. При наличии на чертеже нескольких типов швов, выполняемых по одному стандарту, обозначение этого стандарта указывают в технических требованиях чертежа.

3. Места выполнения одинаковых швов обозначаются на чертеже следующим образом: 

.

В машиностроении широкое распространение получили следующие способы сварки:

Электродуговая сварка – способ электросварки, при котором кромки соединяемых деталей расплавляются электрическим дуговым разрядом, возникающим между свариваемым (основным) металлом и электродом. Различают электродуговую сварку плавящимся электродом, обеспечивающим заполнение сварочного шва дополнительным электродным металлом, и неплавящимся электродом (угольным, графитовым, вольфрамовым), при которой требуется дополнительный присадочный материал, подаваемый в зону дуги.

Электродуговая сварка плавящимся покрытым электродом – сварка с применением электродов с обмазкой, защищающей металл от окисления и азотирования. Осуществляется обычно вручную и является наиболее универсальной.

Электродуговая сварка в защитных газах – сварка, при которой в сварочное пространство подается газ (водород, углекислый газ, азот, аргон, гелий) с целью защиты дуги и сварочной ванны от атмосферного воздуха. Такую сварку осуществляют вручную и механизированным способом неплавящимся электродом, а также на автоматических и полуавтоматических установках плавящимся электродом.

Электродуговая автоматическая сварка под флюсом – сварка с защитой металла флюсом от окисления и азотирования. Обеспечивает повышение производительности в 3–6 раз в сравнении с ручной сваркой покрытым электродом. Осуществляется при помощи самоходных сварочных головок или сварочных тракторов. Сварной шов под флюсом получается проваренным по всей толщине, высокого качества.

Газовая сварка (*ацетиленовая*, *водородная*, *на природных газах*, *пропанобутановой смеси*, *пиролизном*, *коксовом и сланцевом газах*) – это сварка плавлением, при которой источником тепла является высокотемпературное пламя, образующееся в горелке от сгорания горючего газа в смеси с техническим кислородом. Применяют для сварки тонкостенных изделий из стали, цветных металлов и сплавов, а также для наплавки твердых сплавов при восстановлении изношенных поверхностей деталей.

Электрошлаковая сварка – разновидность электросварки, при которой расплавление основного металла и электрода происходит за счет сообщения тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через шлаковую ванну. Применяется для соединения толстостенных деталей и выполняется: электродной проволокой – для образования швов неограниченной длины при толщине металла до 500 мм; пластинчатым электродом – для сварки швов, не превышающих 1,5 м; плавящимся мундштуком – для сварки прямолинейных швов на заготовках большой толщины (> 500 мм) и для соединения деталей сложной формы.

Контактная электросварка – способ неразъемного соединения металлов, при котором свариваемые детали нагреваются проходящим в месте контакта электрическим током до расплавленного или пластичного состояния с одновременным их сжатием (осадкой). По виду сварного соединения она может быть стыковой, точечной (наиболее распространена), рельефной (разновидность точечной) и шовной (роликовой). Применяют для соединения рельсов, труб, изготовления баков и сосу-

дов, работающих под давлением, изготовления штампосварных конструкций посредством сварки тонких штампованных деталей и др.

Специальные методы сварки, такие как *сварка световым лучом*, *плазменно-дуговая* и *диффузионная сварка*, *сварка ультразвуковая*, *трением*, *взрывом* и др.

Кроме металлических материалов можно также сваривать термопластичные пластмассы. Процесс сварки пластмасс осуществляется при определенных условиях: повышенной температуре в месте соединения, плотном контакте свариваемых поверхностей и оптимальном времени протекания процесса. В частности, температура в месте соединения должна быть выше температуры размягчения, но ниже температуры разложения полимера, т. е. такой, когда пластмасса приходит в так называемое вязкотекучее состояние. В этом состоянии под воздействием давления протекает процесс самослипания (аутогезии), при котором сваривание происходит главным образом вследствие диффузии частей молекулярных цепей из одного объема пластмассы в другой. По использованию источников нагрева способы сварки пластмасс можно разделить на две группы.

В первую группу входят способы сварки с использованием теплоты посторонних источников нагрева; это сварка нагретым газом, нагретым инструментом и нагретым присадочным материалом. При применении перечисленных способов теплота передается к месту соединения свариваемых деталей за счет конвекции, теплопроводности и частично лучеиспускания (радиации).

Ко второй группе относятся способы сварки пластмасс, при которых теплота генерируется в зоне сварки преобразованием различных энергий; это сварка трением, сварка ТВЧ и ультразвуковая сварка. Здесь используется энергия трения, токов высокой частоты, ультразвуковых колебаний или инфракрасного излучения.

При выборе того или иного способа сварки необходимо учитывать специфику технологического процесса, производственные затраты, а также физико-механические свойства соединяемых пластмасс.

18.3. Паяные неразъемные соединения

Пайка – соединение деталей в твердом нагретом состоянии посредством расплавленного присадочного материала – припоя. Пайка осуществляется путем введения в зазор между сопрягаемыми поверхностями расплавленного припоя с последующим охлаждением и затвердеванием его, что приводит к соединению этих частей. Припой при этом растекается и затягивается в зазор между паяемыми поверх-

ностями в результате эффекта капиллярности, под которым понимается способность расплавленных металлов затекать в тончайшие зазоры. Пайкой соединяются главным образом металлические детали, реже керамические, из стекла, а также металлические со стеклянными и др. Различают пайку твердыми (на серебряной, медной и никелевой основе) и мягкими (оловяносвинцовистыми) припоями. Твердые припои имеют температуру плавления выше 550 ^{o}C и предел прочности до 50 кг/см^2, а у мягких пропоев температура плавления ниже 400 ^{o}C и предел прочности составляет 5–7 кг/см^2.

При пайке применяют различные флюсы – химически активные вещества (хлористый цинк, хлористый аммоний, канифоль, бура и др.), которые обеспечивают очистку соединяемых поверхностей от окислов и загрязнений, а также их защиту при нагреве от новых образований. Состав флюса зависит от материала соединяемых деталей, припоя и метода пайки.

Пайку производят с местным или общим нагревом соединяемых деталей вручную, а также на специальных механизированных и автоматизированных установках. В единичном и мелкосерийном производстве широко применяются такие способы пайки, как термическим контактом (паяльником) и газовой горелкой. Паяльник – это ручной инструмент, медная рабочая часть которого нагревается внешним источником тепла – чаще всего электрическим током (электропаяльник). Существуют также ультразвуковые паяльники, у которых колебания нагретого стержня разрушают окисную пленку на паяемой поверхности под слоем припоя, обеспечивая тем самым бесфлюсовую пайку.

В крупносерийном и массовом производствах нагрев деталей перед пайкой осуществляется газовыми горелками, индукционным способом, кварцевыми лампами, в соляных ваннах, в муфельных, туннельных и других печах. В приборостроении применяют, например, высокопроизводительные методы групповой пайки в припойных ваннах и волной припоя, которые в 20 раз производительнее ручной пайки обычным паяльником.

На чертежах паяные швы обозначаются утолщенной линией (2*S*), а также идущей от нее выносной линией со стрелкой и условным знаком (рис. 18.5), заканчивающейся полкой, над которой приводится пункт технических требований чертежа, где записана марка припоя.

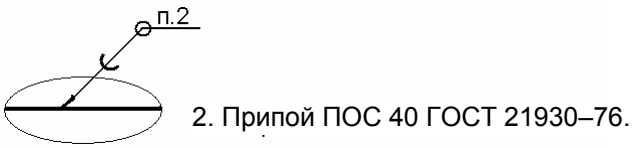


Рис. 18.5. Пример обозначения паяного шва

Технологический процесс пайки включает в себя следующие основные операции:

1. Очистка соединяемых поверхностей деталей перед сборкой под пайку.
2. Нанесение флюса или применение других методов для удаления окислов и улучшения смачивания поверхностей припоем.
3. Сборка деталей под пайку.
4. Нагрев паяемых деталей и введение припоя.
5. Удаление избытков припоя и охлаждение изделия.
6. Удаление остатков флюса.

19. Общие понятия о технологичности изделий

Совершенство конструкции машины характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобствами в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов ее изготовления применительно к заданной программе выпуска и условиям производства. Конструкцию машины, в которой эти возможности полностью учтены, называют технологичной.

Технологичность конструкции изделия (**ТКИ**) рассматривается как совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ (ГОСТ 14.205–83). Технологичность конструкции изделия – понятие относительное, так как у одной и той же машины она будет разной для различных типов производства, заводов с различными производственными возможностями и технологическим оснащением и т. д. Различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность.

Производственная **ТКИ** заключается в сокращении средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, процессы изготовления, контроля и испытаний, а также на монтаж изделий вне предприятия изготовителя.

Эксплуатационная ТКИ заключается в сокращении средств и времени на подготовку изделий к использованию по назначению, технологическое и техническое обслуживание, текущий ремонт и утилизацию.

Ремонтная ТКИ заключается в сокращении средств и времени на все виды ремонтов в процессе установленного срока эксплуатации.

Оценка ТКИ может быть двух видов – качественной и количественной.

Качественная оценка характеризует технологичность конструкции обобщенно, на основе опыта исполнителя, предшествует количественной и определяет целесообразность последней.

Количественная оценка ТКИ производится с помощью системы показателей, основными из которых являются трудоемкость и себестоимость изделия, а также его материалоемкость и энергоемкость. При расчетном методе оценки ТКИ определяют и сопоставляют показатели технологичности проектируемого изделия с соответствующими показателями базового изделия.

Абсолютная трудоемкость изделия (Та), затраченная на его изготовление, монтаж, эксплуатацию и ремонт, выражается суммой нормо-часов, затраченных на все технологические процессы, проведенные в одной из этих сфер:

$$\mathrm{T_а} = \Sigma \mathrm{T}_i,$$

где T_i – трудоемкость, затраченная на изготовление любой i-й составной части изделия в нормо-часах.

Уровень технологичности конструкции изделия по трудоемкости определяется коэффициентом $\mathrm{К_{ут}}$, который вычисляется по формуле

$$\mathrm{К_{ут}} = \frac{\mathrm{T_А}}{\mathrm{T_Б}},$$

где $\mathrm{T_А}$ – достигнутая трудоемкость изготовления изделия; $\mathrm{T_Б}$ – базовый показатель трудоемкости изготовления изделия.

Себестоимость изделия – важный обобщающий показатель качества, которым обычно является технологическая себестоимость изготовления изделия, вычисляемая по формуле

$$S_\mathrm{Т} = S_\mathrm{М} + S_\mathrm{З} + S_\mathrm{НР},$$

где $S_\mathrm{М}$ – стоимость материалов и комплектующих, затраченных на изготовление изделия; $S_\mathrm{З}$ – заработная плата производственных рабочих

с начислениями; $S_{НР}$ – накладные расходы, включающие расходы на энергию, ремонт и амортизацию оборудования и зданий, затраты на инструмент и вспомогательные материалы, а также другие расходы, связанные с процессом проведения работ.

Уровень технологичности конструкции изделия по себестоимости определяется коэффициентом $К_S$, который вычисляется по формуле

$$К_S = \frac{S_Т}{S_Б},$$

где $S_Т$ – достигнутая технологическая себестоимость; $S_Б$ – базовый показатель технологической себестоимости.

Материалоемкость изделия характеризуется количеством материалов, затраченных на его производство, эксплуатацию и ремонт, определяемым в единицах массы. Она может характеризоваться и удельной материалоемкостью, определяемой по формуле

$$К_М = \frac{М}{P},$$

где М – сухая масса изделия; P – номинальное значение основного технического параметра изделия (мощность, усилие, грузоподъемность, производительность и т. д.).

Энергоемкость изделия характеризует количество топливно-энергетических ресурсов, затраченных на его изготовление, монтаж, эксплуатацию, ремонт и утилизацию.

К вспомогательным показателям ТКИ относятся коэффициенты точности, шероховатости, применения типовых технологических процессов, унификации и стандартизации конструктивных элементов и др. Для определения базовых показателей за основу принимают статистические данные о ранее созданных конструкциях, имеющих общие конструктивно-технологические признаки с проектируемой конструкцией, а также данные аналогов или типовых представителей.

Повышение ТКИ изделия обеспечивается следующими мероприятиями:

– отработкой конструкции на технологичность на всех стадиях проектирования, производства, эксплуатации и ремонта изделия;

– повышением серийности изделия и его составных частей с широким использованием стандартизации, унификации, а также обеспечения конструктивного подобия входящих узлов и деталей;

– применением высокопроизводительных и малоотходных технологических решений;

– применением высокопроизводительных стандартных средств технического оснащения, обеспечивающих оптимальный уровень механизации и автоматизации производственных процессов;

– применением рациональных сортаментов и марок материалов, рациональных способов получения заготовок, методов и режимов упрочнения деталей и многими другими мероприятиями.

В частности, рациональный способ получения заготовок устанавливается в зависимости от объема выпуска изделий и типа производства. При серийном производстве получаемая заготовка по форме и размерам должна приближаться к форме и размерам готовой детали, обеспечивая тем самым снижение объема механической обработки. При единичном и мелкосерийном производстве заготовки рационально получать из соответствующего сортового, профильного и фасонного проката.

Отливка должна иметь форму, близкую к очертаниям готовых деталей, обуславливающую минимальные припуски на механическую обработку. При этом форма отливки должна удовлетворять следующим основным технологическим требованиям:

– иметь простые внешние очертания – без резких углов, поворотов, высоких ребер и выступов, с минимальным количеством внутренних полостей;

– обеспечивать направленное затвердевание расплавленного металла, а также достаточную сопротивляемость усадочным и термическим напряжениям;

– содержать технологические уклоны, обеспечивающие удобное извлечение модели из формы, а также полученной отливки и стержней;

– стенки отливки должны быть оптимальной толщины, удовлетворяющей условиям заливки металла выбранным способом;

– обеспечивать технологичность изготовляемых моделей и минимальную стоимость другой применяемой оснастки.

Технологичность деталей при механической обработке достигается за счет следующих факторов:

– при конструировании следует применять унифицированные элементы, определяющие форму деталей (резьбы, фаски, проточки, пазы);

– уменьшением протяженности обрабатываемых поверхностей;

– обеспечением удобного и надежного закрепления заготовки на станке;

– обеспечением достаточной жесткости детали, обуславливающей восприятие сил закрепления и резания, без их ощутимых деформаций;

– возможностью автоматизации процесса обработки, удобного подвода высокопроизводительного режущего инструмента и его свободного выхода при обработке на проход.

Детали, подвергаемые термической обработке, должны иметь простую геометрическую форму и симметричную конфигурацию, без острых граней, тонких перемычек и резких переходов от толстого сечения к тонкому.

Наиболее рациональной формой для пластмассовых деталей является такая, которая позволяет извлекать их при изготовлении из форм, выполненных из неразъемных матриц и пуансонов.

Технологичность сборки изделия обеспечивается путем его рационального расчленения на отдельные сборочные единицы (узлы) с соблюдением принципа агрегатирования, который предусматривает независимую параллельную сборку, контроль и испытание узлов, а также их установку при сборке изделия в целом без частичного демонтажа собранных деталей. Базовые поверхности сборочных единиц должны обеспечивать при этом их удобную установку при сборке, а также использоваться в качестве технологических и измерительных баз при механической обработке. Исполнение сборочных единиц должно допускать применение средств механизации и автоматизации сборочных процессов.

20. Основные принципы системы классификации и кодирования деталей

Кодирование деталей по конструктивно-технологическим признакам осуществляется по классификаторам ЕСКД (ГОСТ 2.201–80) и технологическим классификаторам деталей. В обозначении детали по этим классификаторам содержится исходная информация, которая используется предприятиями на стадиях конструкторско-технологической подготовки производства изделия для решения следующих основных задач:

– анализа номенклатуры деталей по их конструктивно-технологическим характеристикам;

– группирования деталей по конструктивно-технологическому подобию для разработки типовых и групповых технологических процессов;

– повышения серийности и концентрации производства деталей;

– тематического поиска и заимствования ранее разработанных деталей, типовых и групповых технологических процессов.

В конечном итоге это должно обеспечить снижение трудоемкости и сокращение сроков проектирования и технологической подготовки производства изделия.

При классификации деталей по конструктивным характеристикам берут за основу следующие основные признаки: геометрическую форму; функциональный, параметрический, конструктивный признаки; служебное назначение, наименование. По ЕСКД на все детали машиностроения и приборостроения установлены шесть следующих классов: 71, 72, 73, 74, 75 и 76. Основным признаком деления (кроме класса 76) является геометрическая форма деталей, например:

– класс 71 – тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, штоков и др.;

– класс 72 – тела вращения с элементами зубчатого зацепления, трубы, шланги, сегменты и т. п.; изогнутые из листов, полос и лент; аэрогидродинамические, корпусные, опорные, емкостные; подшипники;

– класс 73 – не тела вращения: корпусные, опорные, емкостные;

– класс 74 – не тела вращения: плоскостные, рычажные, грузовые, тяговые, аэрогидродинамические; изогнутые из листов, полос, лент; профильные и т. п.;

– класс 75 – тела вращения и (или) не тела вращения: кулачковые, карданные; с элементами зацепления, арматура; санитарно-технические, пружинные, ручки, крепежные и др.;

– класс 76 – детали технологической оснастки, выполняющие самостоятельные функции (сверла, метчики, пластины режущие, матрицы, пуансоны и т. д.).

Технологическая классификация является логическим продолжением и дополнением классификатора ЕСКД. В основу технологической классификации положены следующие основные признаки: размерная характеристика, группа материалов, вид деталей по технологическому изготовлению, вид исходной заготовки, квалитет, параметр шероховатости, технологические требования, характеристика термической обработки, толщина покрытия, поверхность покрытия, характеристика толщины, площадь формирования, дополнительная характеристика, характеристика массы и др. Детали кодируют буквенно-цифровым алфавитом кода. В структуре кода за каждым признаком закрепляют определенный разряд (позицию) и число знаков. Система буквенно-цифрового кодирования включает цифры от 0 до 9 и прописные буквы русского алфавита от А до Я, кроме буквы З. Структура полного конструктивно-технологического кода деталей имеет вид, приведенный на рис. 20.1.

Например, по методу изготовления детали кодируются следующим образом: *1* – детали, изготовляемые литьем; *2* – ковкой и объемной штамповкой; *3* – листовой штамповкой; *4* – обрабатываемые резанием; *5* – подвергаемые термической обработке; *6* – формообразованием из полимерных материалов и резины; *7* – детали с покрытием; *8* – подвергаемые электрофизико-химической обработке; *9* – изготовляемые порошковой металлургией.

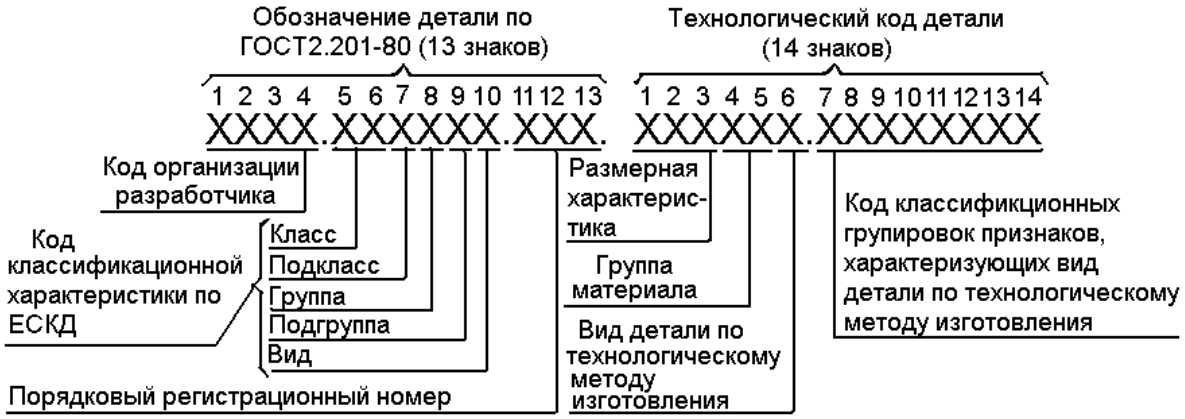


Рис. 20.1. Структура полного конструктивно-технологического кода деталей

21. Проектирование технологических процессов изготовления деталей

Проектирование технологических процессов обработки заготовок имеет целью дать подробное описание процессов изготовления деталей с необходимыми технико-экономическими расчетами и обоснованиями принятого варианта. Технологические процессы разрабатываются при проектировании новых и реконструкции существующих заводов, а также при организации производства новых объектов на действующих заводах. В соответствии с ГОСТ 14.301–83 технологические процессы подразделяются на три вида: единичный, типовой и групповой.

Техпроцесс изготовления изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства относится к ***единичному техпроцессу***.

Техпроцесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками называют ***типовым технологическим процессом***.

Групповой технологический процесс – это техпроцесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

По степени детализации описание технологических процессов подразделяют на маршрутное, операционное и маршрутно-операционное.

Маршрутное описание технологического процесса заключается в сокращенном описании всех технологических операций в маршрутной карте (МК) в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов обработки.

Операционное описание технологического процесса характеризуется полным описанием всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов обработки.

Маршрутно-операционное описание технологического процесса заключается в сокращенном описании всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения и с полным описанием отдельных операций в МК или других технологических документах.

Разработанный технологический процесс должен быть прогрессивным и обеспечивать выполнение всех требований чертежа и технических условий, повышение производительности труда и качества изделий, сокращение трудовых и материальных затрат на его реализацию, а также уменьшение вредных воздействий на окружающую среду. В основу разработки технологических процессов положены два принципа: технический и экономический.

В соответствии с ***техническим принципом*** проектируемый техпроцесс должен полностью обеспечивать выполнение всех требований рабочего чертежа и технических условий на изготовление заданного изделия.

В соответствии с ***экономическим принципом*** изготовление должно вестись с минимальными затратами труда и издержками производства. Техпроцесс должен выполняться с наиболее полным использованием технических возможностей средств производства при наименьших затратах времени и наименьшей себестоимости изделий.

Для проектирования технологических процессов изготовления машин необходимо иметь следующие ***исходные данные***:

– описание машины, подлежащей изготовлению, с четким определением ее служебного назначения, а также полный комплект на нее конструкторской документации;

– полный комплект стандартов и других нормативных документов, на которые даются ссылки в конструкторской документации, а также технологических нормативных документов и эксплуатационной документации на средства технологического оснащения;

– программу выпуска машин в единицу времени (год, квартал, месяц);

– условия, в которых будет осуществляться изготовление данных машин (проектируемый или действующий завод, возможности использования имеющегося оборудования и т. д.);

– местонахождение завода (играет существенную роль в решении вопросов по кооперированию, снабжению и т. д.);

– плановые сроки подготовки производства к освоению выпуска новых машин;

– наличие и перспективы подготовки кадров.

Наличие приведенных исходных данных позволяет приступить к проектированию технологических процессов изготовления машин. При этом проектирование технологических процессов изготовления деталей осуществляется по следующим этапам:

1. Производится изучение и анализ исходных данных, имеющихся для разработки техпроцессов (изучается и проверяется конструкторская документация, по программе выпуска определяется тип производства, анализируются производственные возможности предприятия и т. д.).

2. Выбор действующего типового, группового техпроцесса или поиск аналога единичного техпроцесса (при этом по технологическому классификатору формируется код детали и по этому коду в компьютерной базе данных производится поиск необходимого действующего техпроцесса).

3. Выбор исходной заготовки и метода ее изготовления (производится на основании данных чертежа, типа производства существующих аналогичных техпроцессов).

4. Выбор технологических баз.

5. Составление технологического маршрута обработки (определяется последовательность выполняемых операций, принимается общий план обработки и содержание операций, определяется состав применяемых средств технологического оснащения, предусматрива-

ются необходимые транспортные операции и операции технического контроля детали).

6. Разработка технологических операций (определяется рациональная структура операции, производится выбор средств ее технологического оснащения, назначаются и рассчитываются режимы обработки по переходам, разрабатываются и оформляются операционные карты).

7. Определение требований техники безопасности (указываются требования техники безопасности и средства защиты при выполнении данных операций).

8. Нормирование технологических процессов (производится расчет и нормирование затрат труда на выполнение процесса, определяется разряд работ и профессия исполнителей, рассчитывается трудоемкость операции и назначается расценка на ее выполнение).

9. Расчет экономических показателей (по трудоемкости и себестоимости отдельных операций определяется себестоимость изготовления изделия и его договорная цена).

10. Оформление технологической документации в соответствии с требованиями ЕСТД (производится оформление технологической документации, ее нормоконтроль, а также согласование со всеми заинтересованными службами и утверждение).

21.1. Построение операций технологического процесса

Проектируя технологические операции, необходимо стремиться к минимальным затратам на их выполнение. Это достигается применением в зависимости от программы выпуска изделий адекватных принципов концентрации или дифференциации операций, а также выбором оптимальных схем построения станочных операций.

Концентрацией операций называют соединение нескольких простых технологических переходов в одну сложную операцию, что ведет к сокращению числа установов заготовки на станках и широкому применению многоинструментальной обработки. При этом повышается точность обработки, сокращается длительность производственного цикла, упрощается планирование, но возрастают требования к точности станка, его технологическим возможностям, уровню квалификации рабочих. На этом принципе разрабатываются технологические процессы для единичного и мелкосерийного производств.

Дифференциацей операций называют разделение сложной операции на несколько более простых с тем, чтобы предварительная черновая обработка заготовок производилась на простых станках рабочими низкой квалификации, а точная чистовая обработка осуществлялась без переналадки инструмента на высокоточном оборудовании рабочими высокой квалификации. Этим в крупносерийном и массовом производстве существенно повышается производительность труда и снижается себестоимость изготовления изделий.

В среднесерийном же производстве при разработке технологических процессов могут применяться оба этих принципа.

Применяемые ***схемы построения станочных операций*** можно классифицировать по следующим признакам:

– по числу одновременно устанавливаемых для обработки заготовок – на одноместные и многоместные;

– по числу участвующих в обработке инструментов – на одноинструментальные и многоинструментальные;

– по циклу обработки – с последовательным, параллельным и параллельно-последовательным выполнением переходов в цикле обработки, например, на станках карусельного типа.

За счет рационального сочетания приведенных признаков при проектировании техпроцессов достигаются оптимальные схемы построения станочных операций, существенно повышающие производительность труда и снижающие себестоимость изготовления изделий.

При ***выборе технологического оборудования*** следует руководствоваться следующими основными правилами:

– размеры рабочих зон станков должны соответствовать габаритным размерам обрабатываемых заготовок (одной или нескольких);

– применяемое оборудование должно обеспечивать заданную точность и качество обрабатываемой поверхности, что особенно важно на операциях чистовой и отделочной обработки;

– мощность, жесткость и кинематическая схема станка должны соответствовать оптимальным режимам обработки;

– требуемая производительность станка должна соответствовать заданной программе выпуска изделий.

Выбор ***технологической оснастки*** осуществляется в зависимости от выбранного оборудования, конструктивных и технологических характеристик детали (габаритных размеров, формы, материала, точности размеров, параметра шероховатости поверхностей, схемы базирования и закрепления и т. д.), а также от схемы построения станоч-

ной операции (группирования переходов, количества одновременно обрабатываемых заготовок и т. д.). В результате анализа перечисленных факторов определяют исходные требования к технологической оснастке, по которым выбирается необходимая оснастка из имеющейся номенклатуры или, в случае ее отсутствия, оформляется техническое задание на разработку и изготовление требуемой оснастки.

Выбор ***измерительной оснастки***, для технического контроля параметров изготовляемых деталей, осуществляется с учетом следующих требований:

– размеры рабочей зоны оснастки должны соответствовать размерам контролируемых элементов детали;

– должна обеспечиваться требуемая чертежом точность измерения;

– процесс измерения должен осуществляться с минимальными затратами времени.

Для контроля размеров деталей в единичном и мелкосерийном производствах применяется, как правило, универсальный измерительный инструмент (штангенциркули, микрометры и т. д.), а в крупносерийном и массовом производствах для контроля основных размеров детали широко применяется специальная измерительная оснастка (скобы, пробки и др.).

21.2. Проектирование групповых технологических процессов

Групповой технологический процесс предназначен для совместного изготовления группы изделий с отличающейся конфигурацией в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах. Он разрабатывается с целью экономически целесообразного применения методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств. Работу по проектированию групповых технологических процессов разбивают на два основных этапа.

На первом этапе осуществляется классификация деталей машин по типовому или групповому признаку. При этом в отдельные группы объединяются такие детали, которые имеют общую последовательность выполняемых операций, а также на изготовление которых требуется одинаковое оборудование, общие приспособления и настройки станка. Затем в каждой такой сформированной группе выделяется характерная деталь, которая называется ***комплексной деталью***. Эта деталь может быть реальной или условной; она является основным кон-

структорско-технологическим представителем данной группы и содержит все основные элементы, характерные для вошедших в группу деталей. К основным же элементам относятся поверхности, определяющие конфигурацию деталей и технологические задачи, которые необходимо решать в процессе их изготовления.

На втором этапе осуществляется разработка типовых или групповых технологических процессов на основе проведенной классификации. При этом разрабатываемый на комплексную деталь техпроцесс должен быть рациональным в конкретных производственных условиях, характеризоваться единством содержания и последовательности выполнения технологических операций для сформированной группы изделий, обладающих общими конструктивными и технологическими признаками. Техпроцесс же, разработанный на комплексную деталь, должен быть пригоден для любой детали данной группы, при конкретном изготовлении которых упускают те операции или переходы, выполнение которых для них не требуется. Широко применяемая для такой обработки групповая оснастка представляет собой совокупность приспособлений и инструментов, которая обеспечивает изготовление всех деталей данной группы с применением небольших подналадок. При этом могут производиться небольшие подналадки и самого технологического оборудования.

На заключительном этапе, строго соблюдая стандарты ЕСТД, оформляют документацию на групповые технологические процессы и операции. При этом производится нормоконтроль содержания документов и разрабатываются технические мероприятия для реализации групповых техпроцессов. В производственном отношении применение групповой технологии равноценно увеличению серийности выпуска комплексной детали, что ведет к снижению трудоемкости их производства.

22. Проектирование технологических процессов сборки машин

Сборка – образование соединений составных частей изделия. Выполняется сборка машин и их узлов по сборочным чертежам и техническим условиям (ТУ). При этом сборочный чертеж должен содержать необходимые проекции и разрезы; размеры, выдерживаемые при сборке; посадки в сопряжениях; данные о массе сборочной единицы, а также спецификацию входящих в нее элементов. Конст-

руктор должен согласовывать сборочные чертежи с технологом на технологичность выполнения сборочных соединений, а технолог при этом может предлагать и требовать изменений в конструкции с целью применения более рациональных методов сборки.

Сборочные единицы различных уровней называют машинами (изделиями), а также агрегатами, комплектами, узлами и подузлами. Разделение машины на сборочные единицы и детали производится как из конструктивных соображений, так и по требованиям производства. Детали, образующие сборочную единицу, можно в свою очередь разделить на базовые, комплектующие и соединительные. Базовыми чаще всего являются корпусные детали, связывающие в единое целое отдельные элементы сборочной единицы. При разделении машины на сборочные единицы необходимо выполнять следующие требования:

– сборочные единицы должны состоять из небольшого числа деталей и сопряжений, а также представлять собой функционально законченные узлы;

– изделия на узлы следует разбивать таким образом, чтобы в процессе его сборки они устанавливались без демонтажа входящих деталей;

– сборочная единица, как правило, должна образовываться на основе применения одного способа соединения входящих элементов (сварки, склеивания, соединений с натягом, разъемных соединений);

– монтаж узлов в машину должен осуществляться по кратчайшему пути и выполняться минимальным количеством крепежных деталей;

– габаритные размеры и масса сборочных единиц должны соответствовать грузоподъемности имеющимся на рабочих местах подъемно-транспортирующим устройствам.

В зависимости от условий, типа и организации производства сборка может иметь следующие организационные формы:

– по уровню расчленения изделия на составные части – общей и поузловой;

– по способу перемещения собираемого изделия – стационарной и подвижной;

– по организации производства – непоточной и поточной.

Преимущества поузловой сборки перед общей заключаются в сокращении длительности цикла сборки, повышении ее качества, а также в снижении трудоемкости и, соответственно, себестоимости сборочных работ.

При стационарной сборке изделие полностью собирается на одном рабочем месте, к которому подаются все детали и сборочные единицы. При этом такая сборка может осуществляться без расчленения (принцип концентрации) и с расчленением (принцип дифференциации) сборочных работ.

Подвижная сборка может осуществляться только при условии расчленения сборочных работ. При этом перемещение собираемого изделия по рабочим местам может быть свободным или принудительным. В первом случае изделие перемещается самими исполнителями с помощью подъемно-транспортных средств или тележек в нерегламентированном ритме, а принудительное перемещение объектов сборки производится с заданным ритмом механическими транспортерами (конвейерами) непрерывного или периодического действия. Применяется обычно такая сборка в крупносерийном и массовом производствах.

Если рабочие места, на которых собирается изделие, располагаются произвольно, то такая сборка является непоточной. При поточной сборке рабочие места располагаются строго в последовательности выполнения сборочных операций, сборка при этом ведется одновременно на всех рабочих местах, а готовые изделия выходят периодически, через определенный промежуток времени (такт). Поточная сборка может быть как подвижной (например, конвейерной), так и стационарной, когда на неподвижные объекты последовательно приходят рабочие со своими средствами технологического оснащения, выполняющие закрепленные за ними сборочные операции.

Оборудование сборочных цехов условно можно разделить на две группы:

– ***технологическое***, предназначенное непосредственно для выполнения работ по осуществлению всевозможных сопряжений и соединений деталей, а также для регулировки и технического контроля узловой и общей сборки изделий;

– ***вспомогательное***, предназначенное для механизации вспомогательных работ, объем которых достаточно большой и достигает в серийном производстве 30–40 % от общей трудоемкости сборки (подъемно-транспортирующие средства, технологические стеллажи, кассеты и т. д.).

Различают следующие виды сборочных работ:

– ***подготовительные*** – это приведение деталей и покупных изделий в состояние, необходимое для сборки (расконсервация, мойка,

сортировка на размерные группы, комплектование и укладка в технологическую тару и т. д.);

– ***пригоночные*** – обеспечение точности сборки соединений в соответствии с техническими требованиями к ним путем опиливания, зачистки и шабрения сопрягающихся поверхностей, совместного сверления деталей, развертывания и др.;

– ***собственно сборочные*** – соединение двух и большего числа деталей между собой с целью получения сборочных единиц и готовых изделий основного производства (свинчивание, напрессовывание, сварка и др.);

– ***регулировочные*** – достижение требуемой точности взаимного расположения деталей в сборочных единицах и изделиях;

– ***контрольные*** – проверка соответствия сборочных единиц и изделий в целом параметрам, установленным чертежом и техническими условиями на сборку;

– ***демонтажные*** – частичная разборка изготовленных изделий с целью подготовки их к упаковыванию и транспортированию потребителям.

К технологическому процессу сборки относят также операции, связанные с проверкой правильности действия отдельных механизмов и машин в целом: операции очистки, промывки, смазки, окраски и отделки изделия или составляющих его сборочных единиц.

Проектирование технологических процессов сборки изделий осуществляется обычно по следующим этапам:

1. В зависимости от объема выпуска (заданной программы) устанавливают целесообразную организационную форму сборки, определяют ее такт и ритм.

2. Осуществляют технологический анализ сборочных чертежей с позиции отработки конструкции на технологичность.

3. Производят размерный анализ сопряжений в конструкции собираемых изделий, выполняют расчеты размерных цепей и устанавливают рациональные методы достижения точности сборки (полная, частичная, групповая взаимозаменяемость, регулировка или пригонка).

4. Определяют целесообразную в данных условиях степень дифференциации или концентрации сборочных операций.

5. Устанавливают последовательность соединения всех сборочных единиц и деталей изделия и составляют схемы общей сборки и узловых сборок изделия.

6. Выбирают наиболее производительные, экономичные и технически обоснованные способы сборки, контроля и испытаний изделия.

7. Выбирают необходимое стандартное и вспомогательное технологическое оборудование, а также оснастку (приспособления, режущий, монтажный и измерительный инструмент); при необходимости проектируют специальные средства технологического оснащения.

8. Составляют технологический маршрут сборки (принимают общий план сборки, определяют последовательность выполняемых операций и их содержание, предусматривая при этом необходимые транспортные операции и операции технического контроля).

9. Разрабатывают планировку сборочных рабочих мест и участков.

10. Определяют требования техники безопасности при выполнении сборочных работ (указываются требования техники безопасности и средства защиты для выполнения всех входящих операций).

11. Производится нормирование технологического процесса (расчет и нормирование затрат труда на выполнение процесса, определяется разряд работ и профессия исполнителей, рассчитывается трудоемкость операции и назначается расценка на ее выполнение).

12. Рассчитываются экономические показатели (по трудоемкости и себестоимости отдельных операций определяется себестоимость изготовления изделия и его договорная цена).

13. Оформляется технологическая документация на выполнение сборочных работ в соответствии с требованиями ЕСТД (производится оформление технологической документации, ее нормоконтроль, а также согласование со всеми заинтересованными службами и утверждение).

22.1. Составление технологических схем сборки изделия

Последовательность сборки определяется конструкцией изделия, компоновкой его сборочных единиц и деталей, применяемыми методами достижения заданной точности соединений, а также программой выпуска, определяющей организационную форму сборки. В единичном производстве, например, целесообразно применять стационарную общую сбору, а при серийном производстве того же изделия более эффективной будет подвижная поточная организационная форма сборки, требующая расчленения данного изделия на составные части (узлы и подузлы), трудоемкость сборки которых должна быть при этом равной или кратной такту выпуска продукции. Затем опре-

деляют оптимальную последовательность установки и соединения между собой всех сборочных единиц и деталей изделия путем составления соответствующей технологической схемы сборки.

Технологической схемой сборки называют графическое изображение порядка комплектования изделия и (или) сборочных единиц составляющими конструктивными элементами. Различают технологические схемы общей и поузловой сборки, которые разрабатываются на конструктивно сложные машины, а также комбинированные – составляемые на простые изделия. При разработке технологической схемы сборки сложной машины вначале разрабатывают технологическую схему общей сборки, а затем технологические схемы на входящие в нее агрегаты, узлы и подузлы. Комбинированная же схема объединяет в себе общую и поузловые схемы сборки.

На технологических схемах сборки каждый элемент изделия обозначается прямоугольником, разделенным на три зоны (рис. 22.1, *б*), в которых указываются: наименование, обозначение (индекс) и количество данных элементов изделия, входящих в сборку, а для стандартизированных элементов – их наименование и обозначение, номер стандарта и количество (рис. 22.1, *в*).

Составление технологической схемы начинают с определения базовых деталей для общей сборки изделия, а также входящих узлов и подузлов. Например, для сборочной единицы – ступица, приведенной на рис. 22.1, *а*, базовой деталью для общей сборки является ступица *1*, для первого входящего подузла (шкив в сборе) – шкив *2*, а для второго подузла (фланец в сборе) – фланец *3* (рис. 22.1, *г*). Далее прямоугольники, обозначающие базовые детали, готовое изделие и входящие подузлы, соответственно соединяются между собой линиями, к которым затем присоединяют прямоугольники, обозначающие входящие в них конструктивные элементы (подузлы и детали) в последовательности их установки при сборке изделия. В этих точках присоединения при необходимости приводятся надписи, поясняющие действия, которые необходимо выполнить при установке данного конструктивного элемента (например, шлифовать по месту, смазать, подобрать, контроль и т. д.).

Составленные таким образом технологические схемы сборки являются основой для дальнейшего поэтапного проектирования маршрутных технологических процессов сборки в приведенной выше последовательности.

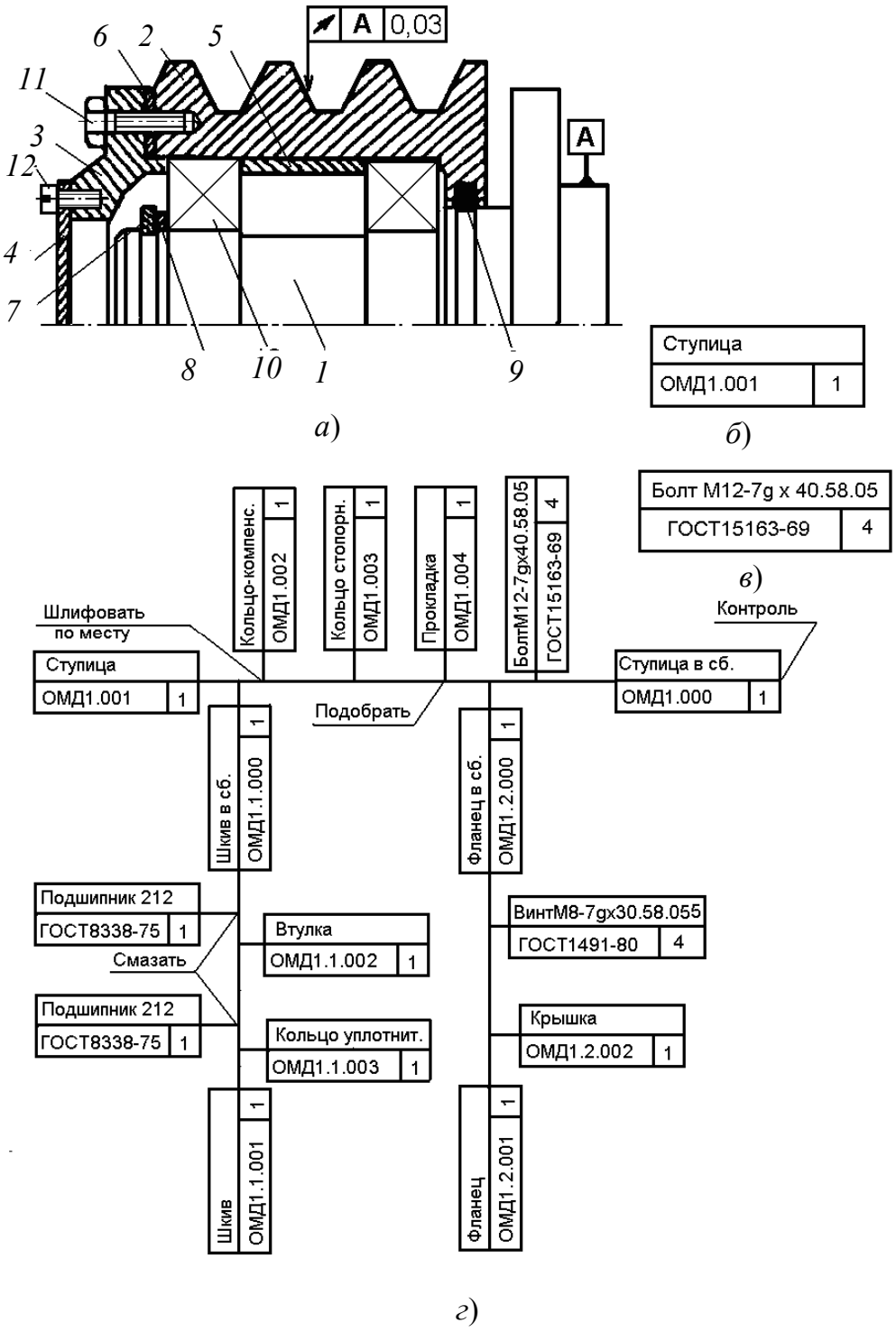


Рис. 22.1. Комбинированная технологическая схема сборки ступицы:

а – ступица: *1* – ступица; *2* – шкив; *3* – фланец; *4* – крышка; *5* – втулка; *6* – прокладка; *7* – кольцо стопорное; *8* – кольцо-компенсатор; *9* – кольцо уплотнительное; *10* – подшипник; *11* – болт; *12* – винт; *б* – обозначение элемента изделия; *в* – обозначение для стандартизированного элемента; *г* – технологическая схема сборки

22.2. Основные показатели сборки

К основным показателям сборки относятся: действительный такт и ритм выпуска изделий, производительность сборочного рабочего места, коэффициент загрузки рабочего места или поточной линии, коэффициент трудоемкости слесарно-сборочных работ и др.

Действительный такт выпуска (в мин) рассчитывается по формуле

$$T_{\text{Д}} = \frac{60DC\left(T_{\text{см}}\eta - T_{\text{об}} - T_{\text{отд}}\right)}{N}, \text{ мин},$$

где D – число рабочих дней в году; C – число рабочих смен за сутки; $T_{\text{см}}$ – длительность смены, ч; η – коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования; $T_{\text{об}}$ – потери времени в течение смены на обслуживание рабочих мест, ч; $T_{\text{отд}}$ – потери времени в течение смены на технологические перерывы и естественные надобности рабочих, ч; N – годовая производственная программа, шт.

Действительный ритм выпуска продукции (мин$^{-1}$) определяется по формуле

$$R_{\text{Д}} = \frac{1}{T_{\text{Д}}}, \text{ мин}^{-1}.$$

Производительность Q сборочного рабочего места – число узлов и изделий, собираемых на рабочем месте за единицу времени, – определяют по формуле

$$Q = \frac{tB_n}{t_{\text{ш}}},$$

где t – рабочее время, к которому отнесена производительность, мин; B_n – число рабочих, выполняющих операцию на данном рабочем месте; $t_{\text{ш}}$ – штучное время на выполнение сборочной операции, мин.

Коэффициент загрузки К_i – степень загруженности работой – определяют по формулам:

для рабочего места $\quad \text{К}_i = \dfrac{t_{\text{ш}}}{T_{\text{Д}}B_n}$;

для поточной линии $\quad \text{К}_n = \dfrac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n}\text{К}_i$,

где n – число рабочих мест.

Коэффициент трудоемкости $К_m$ слесарно-сборочных работ определяется по формуле

$$К_m = \frac{Т_с}{Т},$$

где $Т_с$ – трудоемкость слесарно-сборочных работ по данному изделию; Т – общая трудоемкость изготовления данного изделия: $Т = \sum_{1}^{n} t_ш$.

Одним из путей повышения производительности труда при сборке является применение технически совершенной технологической оснастки (сборочных приспособлений и инструментов) как стандартной, так и специально созданной.

Экономическая оценка вариантов технологических процессов производится сравнением себестоимостей или трудоемкостей рассматриваемых техпроцессов. При сравнении себестоимости достаточно рассчитать и анализировать только те статьи затрат, которые изменяются с изменением варианта технологического процесса. Сумму таких затрат называют ***технологической себестоимостью***. При сопоставлении вариантов техпроцессов по себестоимости (затратам) технолог должен учитывать также удобства, безопасность работы, степень автоматизации и механизации выполняемых работ и другие данные, входящие в себестоимость.

23. Виды технологической документации и правила ее оформления

Виды технологической документации устанавливаются системой стандартов ЕСТД, которая представляет собой комплекс государственных стандартов и руководящих нормативных документов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, комплектации, оформления и обращения технологической документации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий (включая контроль, испытания и перемещения) (ГОСТ 3.1001–81). Основное назначение комплекса стандартов ЕСТД заключается в следующем:

– обеспечение применения различных методов и средств проектирования, обработки информации и размножения технологических документов;

– обеспечение оптимальных условий при передаче технологической документации с одного предприятия на другое (другие предприятия) с минимальным переоформлением;

– установление единых унифицированных форм технологических документов и централизованного их размножения;

– установление единых правил оформления технологических документов в зависимости от типа и характера производства, состава и вида разрабатываемых технологических процессов (операций), применяемых способов их описания;

– установление единых требований и правил по оформлению документов на единичные, типовые и групповые технологические процессы и операции;

– создание единой информационной базы для автоматизированных систем управления и проектирования;

– создание предпосылок по снижению трудоемкости инженерно-технических работ в сфере технологической подготовки и управления производством;

– обеспечение взаимосвязи с другими общетехническими системами стандартов (ЕСКД, ЕСТПП и др.), а также с международными системами стандартов ИСО и МЭК.

Единые правила комплекса документов ЕСТД распространяются на всю технологическую документацию, а также на соответствующие НТД отраслей промышленности и научно-техническую литературу, в которых описываются соответствующие положения об оформлении технологической документации.

Стандарты и рекомендации ЕСТД распределены по следующим классификационным группам:

0 – Общие положения.

1 – Общие требования к документам.

2 – Классификация и обозначение технологических документов.

3 – Общие требования к документам на магнитных носителях.

4 – Основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления, специализированные по методам изготовления или ремонта изделий.

5 – Основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления на испытания и контроль.

6 – Вспомогательное производство. Формы технологических документов и правила их оформления.

7 – Правила заполнения технологических документов.

8 – Прочие.

9 – Информационная база.

В зависимости от назначения технологические документы подразделяются на основные и вспомогательные.

К ***основным*** относятся документы, содержащие сводную информацию, необходимую для решения одной или комплекса инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач, а также полностью и однозначно определяющие технологический процесс (операцию) изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия).

К ***вспомогательным*** относятся документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании технологических процессов и операций (ГОСТ 3.1113–79). К ним относятся:

– карты заказа на проектирование и изготовление технологической оснастки;

– ведомости заказа изготовления технологической оснастки;

– карты согласования технологического процесса (операции);

– акты внедрения технологического процесса (операции) и (или) оснастки.

Основные технологические документы подразделяются на документы общего и специального назначения (ГОСТ 3.1102–81).

К ***документам общего назначения*** относятся документы, применяемые в отдельности или в комплектах документов на технологические процессы, независимо от применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделий. К ним относятся:

• Титульный лист (ТЛ) – документ, предназначенный для оформления комплекта или отдельных технологических документов на изготовление или ремонт изделия.

• Карта эскизов (КЭ) – графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы и предназначенный для пояснения выполнения технологического процесса, операции или перехода изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения.

• Технологическая инструкция (ТИ) – документ, предназначенный для описания технологических процессов, методов и приемов, повторяющихся при изготовлении или ремонте изделий, правил эксплуатации средств технологического оснащения. Применяется в целях сокращения объема разрабатываемой технологической документации.

К ***документам специального назначения*** относят документы, применяемые при описании технологических процессов и операций в зависимости от типа и вида производства и применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделий. К ним относятся:

• Маршрутная карта (МК) – документ для маршрутного или маршрутно-операционного описания технологического процесса или указания полного состава технологических операций при операционном описании изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения по всем операциям различных технологических методов в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, технологической оснастке, материальных нормативах и трудовых затратах.

• Карта технологического процесса (КТП) – документ для операционного описания технологического процесса изготовления или ремонта изделия в технологической последовательности по всем операциям одного вида формообразования, обработки, сборки или ремонта с указанием переходов, технологических режимов и данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах.

• Карта типового (группового) технологического процесса (КТТП) – документ для описания типового (группового) технологического процесса в технологической последовательности, аналогичной КТП. Применяется совместно с ВТП.

• Операционная карта (ОК) – документ для описания технологической операции с указанием последовательного выполнения переходов, данных о средствах технологического оснащения, режимах обработки и трудовых затратах. Применяется при разработке единичных техпроцессов.

• Карта типовой (групповой) операции (КТО) – документ для описания типовой (групповой) технологической операции в объеме ОК. Применяется совместно с ВТО.

• Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (ВТП и ВТО) – документ для указания состава деталей (сборочных единиц, изделий), изготовляемых или ремонтируемых по типовому (групповому) технологическому процессу (операции), и переменных данных о материале, средствах технологического оснащения, режимах обработки и трудозатратах.

• Карта технологической информации (КТИ) – документ для указания дополнительной информации, необходимой при выполнении отдельных операций (техпроцессов) и связанной с применением уникальных средств технологического оснащения, прогрессивных методов изготовления или ремонта изделия.

• Комплектовочная карта (КК) – документ для указания данных о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия; применяется при разработке техпроцессов сборки.

• Технико-нормированная карта (ТНК) – документ для разработки расчетных данных к технологической операции по нормам времени (выработки) и описания выполняемых приемов; применяется при решении задач нормирования трудозатрат.

• Карта расчета и кодирования информации (КРИ) – документ для расчета и кодирования информации, используемой при разработке управляющей программы к станкам с программным управлением.

• Карта наладки (КН) – документ для указания дополнительной информации к технологическим процессам (операциям) по наладке средств технологического оснащения.

• Ведомость технологических маршрутов (ВТМ) – документ для указания технологического маршрута изготовления или ремонта изделия по подразделениям предприятия; применяется для решения технологических и производственных задач.

• Ведомость оснастки (ВО) – документ для указания применяемой технологической оснастки при выполнении техпроцесса изготовления или ремонта изделия.

• Ведомость оборудования (ВОБ) – документ для указания применяемого оборудования, необходимого для изготовления или ремонта изделия.

• Ведомость материалов (ВМ) – документ для указания данных о подетальных нормах расхода материалов, о заготовках, технологическом маршруте прохождения изготовляемого или ремонтируемого изделия; применяется для решения задач по нормированию материалов.

• Ведомость специфицированных норм расхода материала (ВСН) – документ для указания данных о нормах расхода материалов для изготовления или ремонта изделия; применяется для решения задач по нормированию расхода материалов на изделие.

• Ведомость удельных норм расхода материала (ВУН) – документ для указания данных об удельных нормах расхода материалов, используемых при выполнении технологических процессов и операций изготовления или ремонта изделия; применяется для решения задач по нормированию расхода материалов.

• Технологическая ведомость (ТВ) – документ для комплексного указания технологической и организационной информации, исполь-

зуемой перед разработкой комплекта (комплектов) документов на технологические процессы; применяется на одном из первых этапов технологической подготовки производства.

• Ведомость применяемости (ВП) – документ для указания применяемости полного состава деталей, сборочных единиц, средств технологического оснащения и др.; применяется для решения задач технологической подготовки производства.

• Ведомость сборки изделия (ВСИ) – документ для указания состава деталей и сборочных единиц, необходимых для сборки изделия в порядке ступени входимости, их применяемости и количественного состава.

• Ведомость операций (ВОП) – документ для операционного описания технологических операций одного вида формообразования, обработки, сборки и ремонта изделия в технологической последовательности с указанием переходов, технологических режимов и данных о средствах технологического оснащения и норм времени; применяется совместно с МК или КТП.

• Ведомость деталей, изготовляемых из отходов (ВДО) – документ для указания данных о деталях, изготовленных из отходов при раскрое материала.

• Ведомость дефектации (ВД) – документ для указания изделий, подлежащих ремонту, с определением вида ремонта, дефектов и для указания дополнительной технологической информации; применяется при ремонте изделий.

• Ведомость стержней (ВСТ) – документ для указания информации, необходимой при изготовлении стержней для отливок.

• Ведомость технологических документов (ВТД) – документ для указания полного состава документов, необходимых для изготовления или ремонта изделий; применяется при передаче комплекта документов с одного предприятия на другое.

• Ведомость держателей подлинников (ВДП) – документ для указания полного состава документов, необходимых при передаче комплекта документов на микрофильмирование.

Состав документов, входящих в комплект технологической документации, зависит от стадии разработки изделия, типа производства и определяется ГОСТ 3.1102–81. (Всего видов технологических документов – 33, в том числе вспомогательных – 4, общего назначения – 3, специального назначения – 26).

23.1. Формы и правила оформления маршрутных карт

Маршрутная карта (МК) является основной и неотъемлемой частью всех комплектов технологических документов. Их следует применять независимо от типа и характера производства, а также степени детализации описания технологического процесса. Формы и правила оформления МК устанавливаются ГОСТ 3.1118–82. Данным стандартам предусматриваются шесть следующих видов комплектов унифицированных форм МК:

Формы: 1 (заглавный лист); $1^{а}$ (оборотная сторона); $1^{б}$ (последующие листы)	Комплект бланков предназначен для единичных, типовых и групповых ТП, выполняемых с применением различных методов обработки. Формы с горизонтальным расположением поля подшивки
Формы: 2 (заглавный лист); $1^{а}$ (оборотная сторона); $1^{б}$ (последующие листы)	Комплект бланков предназначен для единичных, типовых и групповых ТП сборки (разъемные и неразъемные соединения). Формы с горизонтальным расположением поля подшивки
Формы: 3 (заглавный лист); $3^{а}$ (оборотная сторона); $3^{б}$ (последующие листы)	Назначение комплекта бланков идентичное формам 1. Формы с вертикальным расположением поля подшивки
Формы: 4 (заглавный лист); $3^{а}$ (оборотная сторона); $3^{б}$ (последующие листы)	Назначение комплекта бланков идентичное формам 2. Формы с вертикальным расположением поля подшивки
Формы: 5 (заглавный лист); $5^{а}$ (последующие листы)	Назначение комплекта бланков идентичное формам 1. Формы с горизонтальным расположением поля подшивки и предназначены для автоматизированного метода проектирования ТП
Формы: 6 (заглавный лист); $6^{а}$ (последующие листы)	Назначение комплекта бланков идентичное формам 2. Формы с вертикальным расположением поля подшивки и предназначены для автоматизированного метода проектирования ТП

При разработке маршрутного или маршрутно-операционного технологического процесса МК является основным документом, в котором описываются в технологической последовательности все выполняемые операции с указанием данных об оборудовании, технологической оснастке, материальных нормативах и трудовых затратах.

При разработке же операционного описания в МК указывается полный состав технологических операций изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения, а операции при этом описываются в операционных картах (ОК) с указанием последовательного выполнения переходов, данных о средствах технологического оснащения, режимах обработки и трудовых затратах.

Для изложения технологических процессов в МК используют способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими типами строк, при этом каждому типу строки соответствует свой служебный символ (А, Б, К, М, О, Т), который проставляется перед номером соответствующей строки и условно выражает состав информации, размещаемой в графах данного типа строки (табл.). При этом на строках, расположенных ниже граф, в которых указаны их наименования и обозначения, служебные символы проставляет разработчик документов.

Таблица

Виды служебных символов

Обозначение символа	**Содержание информации, вносимой в графы, расположенные в строке**
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция; номер операции, код и наименование операции; обозначение документов, применяемых при выполнении операции
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам
К	Информация по комплектации изделия (сборочной единицы) составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, обозначения подразделений, откуда поступают комплектующие составные части, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке; информация о применяемых вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования и кода материала, обозначения подразделений, откуда поступают материалы, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
О	Содержание операции (перехода)
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке

При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ «О», следует руководствоваться требованиями стандартов ЕСТД седьмой классификационной группы, устанавливающих правила записи операций и переходов (ГОСТ 3.1701–79–ГОСТ 3.1707–84). Записывать же эту информацию следует в технологической последовательности по всей длине строки с переносом, при необходимости, на последующие строки.

При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ «Т», следует руководствоваться требованиями соответствующих классификаторов, государственных и отраслевых стандартов на кодирование (обозначение) и наименование технологической оснастки. Информацию по применяемой на операции технологической оснастке записывают в последовательности: приспособления; вспомогательный инструмент; режущий инструмент; слесарно-монтажный инструмент; специальный инструмент, применяемый при выполнении специфических технологических процессов (операций), например, при сварке, штамповке и т. п.; средства измерения. Запись следует выполнять по всей длине строки с ее переносом, при необходимости, на последующие строки.

Для каждой операции маршрутных техпроцессов заполнение информации по типам строк должно осуществляться в следующем порядке: на форме 1 – М01; М02; А; Б; О; Т; на форме 2 – А; Б; К; М; О; Т; на форме $1^б$ для техпроцессов с применением различных методов обработки – А; Б; О; Т; на форме $1^б$ для техпроцессов сборки – А; Б; К; М; О; Т. В случае отсутствия информации с каким-либо служебным символом записывается информация с символом, следующим за ним.

Примеры заполнения маршрутных карт приведены в приложениях ГОСТ 3.1119–83.

При разработке техпроцессов, специализированных по методам изготовления или ремонта изделий, следует руководствоваться требованиями стандартов ЕСТД четвертой классификационной группы, устанавливающих формы технологических документов и правила их оформления (ГОСТ 3.1401–85–ГОСТ 3.1428–77).

Примечание. В настоящее время в состав ЕСТД входят следующие стандарты:

ГОСТ 3.1001–81 Общие положения.

ГОСТ 3.1102–81 Стадии разработки и виды документов.

ГОСТ 3.1103–82 Основные надписи.

ГОСТ 3.1104–81 Общие требования к формам, бланкам и документам.

ГОСТ 3.1105–84 Форма и правила оформления документов общего назначения.

ГОСТ 3.1107–81 Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения.

ГОСТ 3.1109–82 Термины и определения основных понятий.

ГОСТ 3.1111–77 Правила учета, хранения и внесения изменений.

ГОСТ 3.1113–79 Правила оформления документов, применяемых при разработке, внедрении и функционировании техпроцессов.

ГОСТ 3.1115–79 Правила оформления документов, применяемых при ремонте изделий.

ГОСТ 3.1116–79 Нормоконтроль.

ГОСТ 3.1118–82 Формы и правила оформления маршрутных карт.

ГОСТ 3.1119–83 Общие требования к комплектности и оформлению документов на единичные техпроцессы.

ГОСТ 3.1120–83 Общие правила отражения и оформления требований безопасности труда в технологической документации.

ГОСТ 3.1121–84 Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые техпроцессы.

ГОСТ 3.1122–84 Форма и правила оформления документов специального назначения. Ведомости технологические.

ГОСТ 3.1123–84 Формы и правила оформления технологических документов, применяемых при нормировании расходов материала.

ГОСТ 3.1125–88 Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок.

ГОСТ 3.1126–88 Правила выполнения графических документов на поковки.

ГОСТ 3.1201–85 Система обозначения технологической документации.

ГОСТ 3.1401–85 Формы и правила оформления документов на технологические процессы литья.

ГОСТ 3.1402–84 Формы к правила оформления документов на технологические процессы раскроя материалов.

ГОСТ 3.1403–85 Формы и правила оформления документов на техпроцессы и операции ковки и штамповки.

ГОСТ 3.1404–86 Формы и правила оформления документов на техпроцессы и операции обработки резаньем.

ГОСТ 3.1405–86 Формы и требования к заполнению и оформлению документов на техпроцессы термической обработки.

ГОСТ 3.1407–86 Формы и требования к заполнению и оформлению документов на техпроцессы (операции), специализированные по методам сборки.

ГОСТ 3.1408–85 Формы и правила оформления документов на техпроцессы получения покрытий.

ГОСТ 3.1409–86 Формы и требования к заполнению и оформлению документов не техпроцессы изготовления изделий из пластмасс и резины.

ГОСТ 3.1412–87 Требования к оформлению документов на техпроцессы изготовления изделий методом порошковой металлургии.

ГОСТ 3.1428–77 Правила оформления документов на процессы изготовления печатных плат.

ГОСТ 3.1502–85 Формы и правила оформления документов на технологический контроль.

ГОСТ 3.1507–84 Правила оформления документов на испытание.

ГОСТ 3.1602–74 Правила оформления документов на процессы перемещения.

ГОСТ 3.1701–79 Правила записи операций и переходов. Холодная штамповка.

ГОСТ 3.1702–79 Правила записи операций и переходов. Обработка резанием.

ГОСТ 3.1703–79 Правила записи операций и переходов. Слесарные, слесарно-сборочные работы.

ГОСТ 3.1704–81 Правила записи операций и переходов. Пайка и лужение.

ГОСТ 3.1705–81 Правила записи операций и переходов. Сварка.

ГОСТ 3.1706–83 Правила записи операций и переходов. Ковка и горячая штамповка.

ГОСТ 3.1707–84 Правила записи операций и переходов. Литье.

ГОСТ 3.1901–74 Состав нормативно-справочной информации, вносимой на машинные носители.

Всего в настоящее время ЕСТД включает в себя 41 ГОСТ.

24. Краткие сведения по приспособлениям для механосборочного производства

Станочные приспособления относятся к оснастке, под которой понимают средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса. Это режущий и измерительный инструмент, штампы и литьевые формы, разнообразные приспособления и т. д. Приспособления в свою очередь подразделяются на связывающие со станком изготавливаемые объекты (заготовки, детали, изделия) и связывающие со станком обрабатывающий инструмент (фрезы, резцы, формы, штампы и т. д.). Огромной номенклатурой самых разнообразных изготавливаемых деталей и изделий определяется большая номенклатура всевозможных конструктивных исполнений приспособлений, а также высокий уровень предъявляемых к ним требований. Классифицируются станочные приспособления по целевому назначению (рис. 24.1), по технологическим признакам, по степени механизации и автоматизации, по степени универсальности и специализации, а также по степени унификации и стандартизации.

В частности, в зависимости от степени унификации и стандартизации в машиностроении утверждены следующие семь стандартных систем станочных приспособлений:

Рис. 24.1. Классификация станочных приспособлений

• ***Универсально-безналадочные приспособления*** (УБП), которые предназначены для установки различных заготовок на постоянные, регулируемые, несъемные установочные элементы. К ним относятся: различные центры (жесткие, рифленые, вращающиеся), поводковые устройства, зажимы, патроны различных типов, оправки, магнитные и электромагнитные плиты.

• ***Универсально-наладочные приспособления*** (УНП), состоящие из универсального базового агрегата и сменных наладочных элементов. Базовая часть этих приспособлений представляет собой сборочную единицу долговременного действия в различных компоновках. Агрегатами же служат стандартизированные на различных уровнях (ГОСТ, стандарты отраслевые и предприятий) машинные тиски, скальчатые кондукторы, самоцентрирующиеся патроны, планшайбы со сменными элементами и другие составные части. Наладку этих приспособлений осуществляют путем смены установочных и зажимных элементов, монтируемых на базовом агрегате.

• ***Специализированные наладочные приспособления*** (СНП) аналогичны УНП, но базовый агрегат у них не универсальный, а специализированный. Применяются они для установки заготовок различных размеров (в заданном диапазоне), близких по конфигурации и с идентичными схемами базирования.

• ***Универсально-сборные приспособления*** (УСП) компонуются на стандартизированных плитах различных размеров, в которых предусмотрены взаимно перпендикулярные Т-образные пазы. Фиксация же на данных плитах входящих в комплекты установочных элементов и узлов осуществляется адекватными крепежными деталями или их конструктивными элементами, располагающимися в этих пазах. УСП применяют в опытном и мелкосерийном производстве, а при постановке на производство новой продукции и в среднесерийном производстве.

• ***Универсально-сборные механизированные приспособления*** (УСМП) разработаны на базе традиционных УСП и характеризуются наличием в них нормализованных гидравлических, пневматических, магнитных и других устройств, обеспечивающих быстрое закрепление в собранных приспособлениях изготовляемых деталей и изделий, что позволяет применять их в крупносерийном производстве.

• ***Сборно-разборные приспособления*** (СРП) по конструктивному исполнению и компоновке аналогичны УСП, но в их составе наряду с унифицированным комплектом узлов и деталей применяются

специально проектируемые и изготовляемые сменные элементы, обеспечивающие установку в собранном приспособлении только определенных обрабатываемых деталей. Такие специализированные приспособления, в частности, широко применяются на различных металлорежущих станках в условиях средне- и крупносерийного производства.

• ***Неразборные специальные приспособления*** (НСП) служат для оснащения конкретных операций индивидуального и группового технологических процессов. Они обеспечивают установку и закрепление только однотипных по форме и конфигурации заготовок с идентичными схемами базирования и применяются в крупносерийном и массовом производствах.

Основными составными частями приспособлений являются установочные, зажимные, направляющие, делительные (поворотные) и крепежные элементы, а также корпуса и механизированные приводы.

Установочные элементы предназначены для определения положения обрабатываемой заготовки относительно приспособления и положения обрабатываемой поверхности относительно режущего инструмента. Ими обычно служат стандартизированные основные опоры в виде штырей со сферическими, насеченными и плоскими головками, а также шайб и опорных пластин. Если же невозможно установить заготовку только на основные опоры, то применяют вспомогательные опоры, которые могут быть в виде винтов со сферической опорной поверхностью и самоустанавливающиеся опоры.

Зажимные элементы служат для закрепления обрабатываемой заготовки и состоят из трех основных частей: контактного элемента, силового механизма и привода. При этом привод, преобразуя определенный вид энергии, развивает силу Q, которая с помощью силового механизма преобразуется в силу зажима P и через контактные элементы передается закрепляемой заготовке. В зависимости от источника энергии приводы подразделяются на механические, пневматические, гидравлические, электромеханические, электромагнитные, вакуумные и др. Силовые механизмы в свою очередь характеризуются коэффициентом усиления $i = P/Q$. Контактные же элементы обычно позволяют рассредоточивать усилия зажима, предотвращая тем самым смятие контактирующих поверхностей заготовки.

Направляющие элементы предназначены для повышения жесткости системы и для направления или определения положения режущих инструментов. К ним относятся кондукторные и направляю-

щие втулки, щупы, установы, копиры, кондукторные плиты и другие конструктивные элементы.

Делительные и поворотные элементы служат для точного изменения положения обрабатываемой поверхности заготовки относительно режущего инструмента. В частности, для фиксации и определения положения поворачивающейся части приспособления используют делительные устройства, состоящие из поворотного диска с лимбом и фиксаторов.

Корпуса являются базовыми частями, на которых монтируются установочные элементы, а также все остальные устройства и механизмы приспособлений. В зависимости от конструктивного исполнения они могут быть литыми, штампованными, сварными, сварно-штампованными, а также собранными из отдельных составных частей.

Крепежные детали обеспечивают соединение отдельных элементов приспособления между собой, а также со станком.

К ***вспомогательным элементам приспособлений*** относятся опорные ножки корпусов, шпонки для установки и центрирования, выталкиватели, упоры, ручки, а для тяжелых приспособлений – рымболты и т. д.

В зависимости от назначения и вида обработки станочные приспособления можно сгруппировать следующим образом:

• Приспособления для токарных и шлифовальных станков – патроны, планшайбы, люнеты и др. Патроны, в частности, служат для закрепления коротких заготовок по наружной или внутренней поверхности. Планшайба же представляет собой диск с зажимными устройствами, который устанавливается на центрирующие элементы шпинделя станка. Люнеты – устройства, обеспечивающие при обработке в центрах повышение жесткости длинных заготовок типа тел вращения с соотношением d/l = 1/(10 и более) во избежание их прогиба под действием сил резания.

• Приспособления для плоскошлифовальных станков – электромагнитные плиты, которые служат для закрепления заготовок из ферримагнитных материалов на их столах. При этом на плоскошлифовальных станках используются прямоугольные электромагнитные плиты, а на станках с круговым вращением стола применяют круглые плиты.

• Приспособления для фрезерных, сверлильных и расточных станков – машинные тиски с различными приводами, призмы, угольники, кондукторы, делительные головки, поворотные столы и т. д.

В частности, конструкции сверлильных приспособлений различаются устройством кондукторных плит и положением, которое занимает заготовка в процессе обработки. Исходя из этого, различают приспособления стационарные, передвижные, опрокидываемые и поворотные. Для повышения производительности на сверлильных станках применяют также многошпиндельные сверлильные головки. Делительные головки выполняются, в свою очередь, с горизонтальной или вертикальной осью вращения и используются для периодического поворота на заданный угол закрепляемых в них небольших заготовок. Поворотные же столы применяются для непрерывного или позиционного фрезерования плоских поверхностей.

• Приспособления для зубообрабатывающих станков (зубофрезерных, зубодолбежных, для шевингования, хонингования и шлифования зубчатых колес) – патроны, центра, втулки, оправки и т. д. Эти приспособления характеризуются простотой конструктивного исполнения и обычно являются универсальными нормализованными или типовыми. Основная особенность их заключается в беззазорной установке заготовок.

• Приспособления для обработки фасонных и сложнопрофильных поверхностей, отличительной особенностью которых является наличие копиров. Назначение копиров – направлять режущий инструмент относительно заготовки для получения заданной траектории его движения.

Если для изготовления деталей, а также сборки узлов и изделий невозможно использовать приспособления общего назначения из широкой номенклатуры стандартных, то в этом случае проектируют специальные станочные приспособления. Конструирование приспособлений тесно связано с разработкой соответствующего технологического процесса. При этом технолог, разрабатывая техническое задание на проектирование, должен в карте заказа (форма 1 ГОСТ 3.1113–79) представить схему приспособления, схемы базирования в нем обрабатываемых заготовок и другие данные. Вместе с картой заказа конструктор должен получить чертежи заготовки и детали, технические требования на их изготовление, операционные эскизы на предшествующую и выполняемую операции, альбомы стандартизированных элементов, паспортные данные об установочных базах применяемого станка (размеры стола и т. д.). Конструирование приспособления – это процесс синтеза его элементов, обеспечивающих заданную точность, производительность и экономичность изготовления деталей машин. Эту задачу ус-

пешно решают с помощью средств автоматизированного проектирования (САПР) приспособлений, например, созданной в институте технической кибернетики НАН Республики Беларусь.

25. Краткие сведения о средствах автоматизированного проектирования технологических процессов

На производственных предприятиях сегодня применяется следующих три вида проектирования технологических процессов: неавтоматизированное, автоматизированное и автоматическое.

При ***неавтоматизированном проектировании*** все работы по проектированию технологических процессов выполняются непосредственно инженером-технологом без применения ЭВМ. При этом порядка 10 % его времени уходит на творческое мышление и принятие решений, а остальное время – на поиск нужной информации и оформление технологической документации. Как известно, ЭВМ не может решать творческие задачи, но намного быстрее и лучше человека обеспечивает хранение и поиск информации, а также оформление выходных документов. Следовательно, порядка 90 % работ, выполняемых технологом, можно осуществлять на ЭВМ, делая тем самым его труд более эффективным и производительным.

В связи с этим все более широкое применение **получает *автоматизированное проектирование*** технологических процессов. Проектировщик при этом работает с ПЭВМ в диалоговом режиме, т. е. он участвует в решении задачи и, например, при выполнении программой определенных промежуточных этапов сам выбирает наиболее оптимальный вариант из числа предлагаемых ПЭВМ. Он также может в процессе работы изменить или дополнить исходные данные, изменить последовательность уровней проектирования или некоторые из них исключать, принимая решение без ПЭВМ. Автоматизированное проектирование техпроцессов осуществляется, как правило, на основе применения техпроцессов-аналогов, либо на основе технологических решений на уровне типовых техпроцессов. При этом поиск необходимого техпроцесса-аналога производится ПЭВМ путем сравнения сформированного конструкторско-технологического кода детали, на которую разрабатывается техпроцесс, с конструкторско-технологическими кодами деталей, технологические процессы которых уже хранятся в базе данных на машинных носителях информации. Далее

производится доработка выбранного техпроцесса-аналога под разрабатываемую деталь по тем операциям, которые отличаются от содержащихся в нем, включая проектирование технологического маршрута и технологических операций, расчеты режимов обработки и норм времени и т. д., а затем на заключительном этапе производится распечатка вновь созданного технологического документа.

В ***автоматическом же* (*пакетном*) *режиме*** проектировочная задача решается ПЭВМ по составленной программе при неизменной последовательности всех уровней и без вмешательства проектировщика. Он может лишь прервать ход работы и изменить исходные данные для повторного проектирования.

Работы, связанные с автоматизацией процессов проектирования, на начальных этапах включают в себя разработку отдельных пакетов прикладных программ, обеспечивающих, например, расчет режимов резания, оформление маршрутных техпроцессов, разработку инструмента и приспособлений, составление управляющих программ для станков с ЧПУ и т. д., а на заключительных этапах – создание системы автоматизированного проектирования (САПР) высокого уровня.

САПР – это комплекс средств автоматизированного проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователей системы), осуществляющих проектирование.

В свою очередь САПР технологического проектирования может входить составной частью в комплексную автоматизированную систему технологической подготовки производства (КАС ТПП). Например, в КАС ТПП «Технолог», предназначенной для проектирования техпроцессов изготовления деталей класса «тела вращения», процесс проектирования разделен между следующими подсистемами (рис. 25.1):

– подсистема «Код» – выполняет кодирование множества чертежей деталей и преобразование массива их формальных описаний в массивы конструкторско-технологических кодов деталей;

– подсистема «Технолог 1» (Т1) – осуществляет проектирование техпроцессов основного производства;

– подсистема «Приспособление» (П) – производит выбор унифицированных типовых или групповых приспособлений, а также их конструктивных элементов;

– подсистема «Инструмент» (И) – производит выбор необходимого стандартного режущего и измерительного инструмента, а также конструирование требующегося специализированного инструмента;

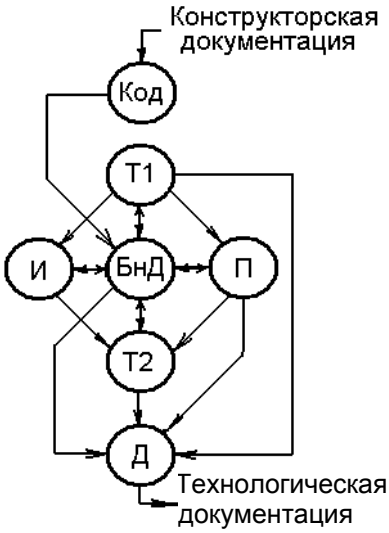


Рис. 25.1. Структурная схема КАС ТПП «Технолог»

– подсистема «Технолог 2» (Т2) – осуществляет выбор и доработку типовых маршрутных техпроцессов на изготовление деталей приспособлений, специализированного режущего и измерительного инструмента, а также разработку управляющих программ для станков с ЧПУ;

– подсистема «Документ» (Д) – вычерчивает операционные карты эскизов, оформляет маршрутные, операционные карты и другую технологическую документацию на основные техпроцессы и технологическую оснастку, а также производит распечатку (размножение) созданной технологической документации;

– подсистема «Банк данных» (БнД) – обеспечивает в свою очередь необходимой информацией все подсистемы автоматизированного проектирования, а также системы управления базой данных (СУБД). В ней содержатся, например, исходные данные для кодирования деталей, по припускам на обработку, допускам, режимам резания, нормам времени, режущему и измерительному инструменту, технологическому оборудованию, оснастке и т. д.

В многоуровневой структуре приведенной КАС ТПП «Технолог» на первом уровне находятся подсистемы общего назначения, такие как «Код», «БнД» и «Д», второй уровень – включает подсистему «Т1», третий – подсистемы «П» и «И», а четвертый – подсистему «Т2». В целом же рассмотренная в качестве примера КАС ТПП «Технолог» представляет собой комплексный многоуровневый типовой модуль, реализующий законченный этап проектирования определенной совокупности задач ТТП.

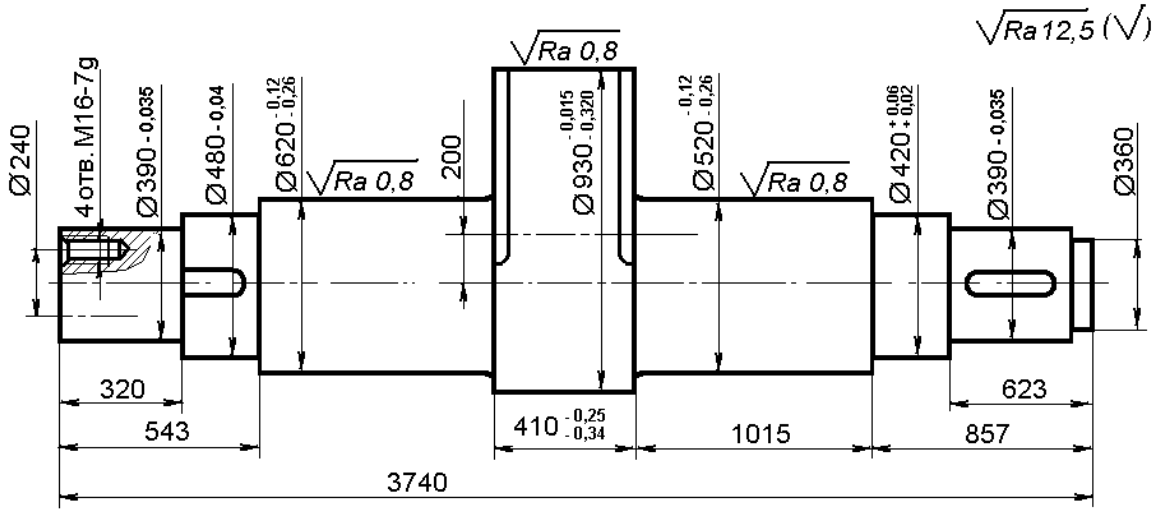
На следующем этапе из таких типовых взаимосвязанных модулей создаются комплексные САПР еще более высокого уровня.

26. Технология изготовления типовых деталей

Маршрутные технологические процессы обработки наиболее сложных деталей, применяемых в технологическом оборудовании, рассмотрим на примерах изготовления их эксцентриковых и коленчатых приводных валов, а также зубчатых колес передаточных механизмов.

26.1. Технология изготовления эксцентриковых и коленчатых валов

В частности, эксцентриковый вал горячештамповочного пресса (рис. 26.1) обычно изготовляется из стали 45, а для тяжелых условий работы в прессах усилием более 2500 т – из стали 40ХН. Заготовками для таких валов служат поковки, получаемые на горячештамповочных прессах или откованные на молотах. После ковки эти заготовки подвергаются нормализации с отпуском. Затем проверяется твердость материала заготовок, а также макроструктура и флокены. В ряде случаев после черновых операций обработки валы подвергаются отпуску для снятия внутренних напряжений перед чистовыми операциями. Коренные шейки и рабочая поверхность эксцентрика этого вала обрабатываются по 6–7 квалитетам точности и 7–8 классам шероховатости, а их допуск радиального биения составляет при этом 0,05 мм. Допуск же параллельности осей коренных шеек и эксцентрика составляет 0,15 мм на 1000 мм их длины.



Неуказанные пред. откл. размеров: H14; h14; ± IT14/2.

Рис. 26.1. Чертеж эксцентрикового вала пресса

Маршрутный техпроцесс изготовления этой детали включает в себя следующие операции:

1. Разметка заготовки вала с учетом расположения эксцентрика.

2. Фрезерование торцов заготовки с припуском 20 мм на сторону.

3. Разметка на торцах коренных шеек центровых отверстий.

4. Сверление центровых отверстий на расточном станке.

5. Черновая токарная обработка в центрах всех ступеней вала и торцов эксцентрика с припуском 10–15 мм, а также протачивание на концах вала шеек длиной 80 мм для установки и приварки на них бугелей.

6. Вытачивание из отдельных заготовок двух кольцевых бугелей под проточенные на концах вала шейки.

7. Установка на шейки вала с двух сторон бугелей и их приварка.

8. Разметка на торцах бугелей соосных центровых отверстий с эксцентриситетом 200 мм для последующей обработки эксцентрика вала.

9. Сверление в бугелях на расточном станке размеченных вспомогательных центровых отверстий (рис. 26.2).

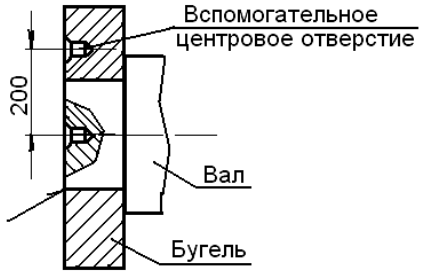


Рис. 26.2. Чертеж эксцентрикового вала с бугелем

10. На токарном станке в центрах бугелей обтачивание и накатка роликами эксцентрика вала по размерам, заданным чертежом, и с шероховатостью поверхности по 7 классу.

11. Установка вала на токарном станке в основные центровые отверстия; обработка его коренных и всех осевых шеек в размеры чертежа; срезание бугелей и подрезка торцов по размерам чертежа, при вращении вала в люнете; полировка коренных шеек вала с доведением до 7 класса шероховатости.

12. Разметка шпоночных пазов и торцевых отверстий.

13. Фрезерование шпоночных пазов в размеры чертежа.

14. Сверление и нарезание резьбы М16-7*g* в четырех торцевых отверстиях.

15. При слесарной обработке притупляются острые кромки, и вал клеймится номером чертежа и номером плавки заготовки.

16. Проверка вала на соответствие всем основным размерам и техническим условиям чертежа.

При проверке диаметральные размеры шеек валов измеряют скобами или микрометрами по каждому сечению в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Биение коренных шеек и биение торцов проверяют с помощью индикатора, проворачивая при этом вал в центрах токарного станка или на роликовых призмах контрольной плиты. Установив же вал параллельно контрольной плите, проверяют индикатором непараллельность поверхности эксцентрика, снимая показания индикатора в крайних точках его ширины, а по наибольшей разности этих показаний судят о величине непараллельности. Кроме этого проверяется твердость и шероховатость обработанных поверхностей, радиусы закруглений между сопрягающимися поверхностями, размеры отверстий, резьбы, шпоночных пазов и других конструктивных элементов.

Технология изготовления *коленчатых валов* несколько сложнее, чем эксцентриковых, в связи с наличием дополнительных операций по обработке щек шатунных (мотылевых) шеек и сверлением отверстий в этих шейках для уменьшения их массы. Весь же технологический маршрут обработки коленчатых валов включает в себя 21 операцию.

26.2. Технология изготовления зубчатых колес

Технология обработки зубчатых колес, широко применяемых в передаточных механизмах, имеет свои характерные особенности. Рассмотрим ее на примере изготовления цилиндрических зубчатых колес диаметром от 1000 до 3000 мм (рис. 26.3), используемых в передаточных механизмах кузнечно-прессовых машин. Заготовки для таких зубчатых колес отливаются по деревянным или металлическим моделям из стали 45 или чугуна СЧ 24-44, а припуски на них назначаются по стандарту на литье. Базовые же поверхности таких отлитых заготовок должны быть ровными и чистыми, без следов разъема полуформ, выпоров, литников и тому подобных дефектов. Зубчатые колеса, работающие в редукторах, выполняются по 6–8 квалитетам точности, а работающие в открытых приводах прессов – по 8-му квалитету.

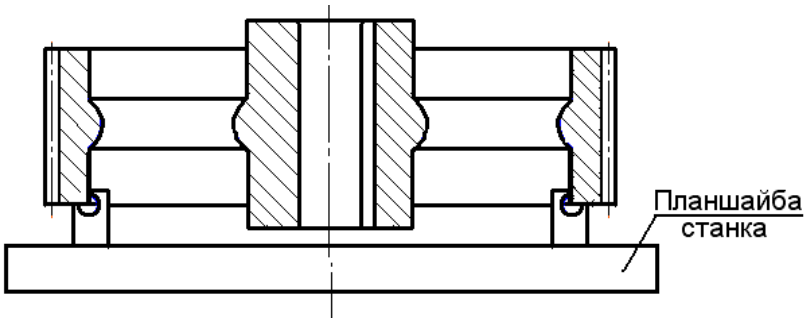


Рис. 26.3. Операционный эскиз цилиндрического зубчатого колеса

Маршрутный техпроцесс изготовления этой детали включает в себя следующие операции:

1. Проверить литую заготовку на отсутствие дефектов и нанести на нее осевые линии центрального отверстия, а также линии торцов колеса с двух сторон, равномерно распределив при этом припуски на обработку.

2. Установить заготовку на стол карусельного станка, базируя ее по торцу и внутреннему диаметру обода колеса (рис. 26.3); срезать приливы, обточить наружный диаметр и расточить центральное отверстие с припуском 5 мм; подрезать торцы обода и ступицы сначала с одной стороны, а затем, после переворота заготовки, с другой стороны с припуском 2,5 мм на сторону.

3. Разделать открывшиеся на обработанных поверхностях раковины под заварку.

4. Заварить раковины и после этого отжечь заготовку. При отсутствии раковин заготовку допускается не отжигать, но необходимо дать ей вылежаться в течение 8–10 дней.

5. Установить заготовку на стол карусельного станка и с одной установки окончательно расточить центральное отверстие ($Ø285^{+0,05}$ мм), обточить обод ($Ø1945_{-0,3}$ мм), подрезать торцы ступицы и обода. Затем перевернуть заготовку, установить и выверить индикатором по проточенному торцу и наружному диаметру обода; проточить вторые торцы ступицы и обода в заданные чертежом размеры по высоте.

6. Установить заготовку на зубофрезерном станке, закрепив ее на оправке, проходящей через центральное отверстие, с базированием по этому отверстию и торцу обода. Нарезать зубья ($m = 18$, $z = 107$, $\alpha = 20^{o}$) эвальвентного профиля за три прохода; третий проход зачищающий.

7. Установить заготовку на расточном станке и сверлить в ней четыре отверстия Ø15 мм под смазку; выполнить сверление крепежных отверстий и нарезание в них резьбы.

8. Выполнить шпоночный паз в центральном отверстии, установив колесо на протяжном или долбежном станке в зависимости от его размеров и наличия оборудования.

9. Произвести зачистку заусенцев на колесе, очистку поверхностей, а также его грунтовку и окраску малостойкой нитрокраской, защитив от покрытия центральное и крепежные отверстия, а также зубья колеса.

10. Произвести контроль готовой делали на соответствие всем основным размерам и техническим условиям чертежа, заполнить на нее паспорт.

11. Закрыть ответственные поверхности зубчатого колеса для предохранения их от ударов при транспортировании и общей сборке изделия.

26.3. Методы нарезания зубчатых колес и отделки зубьев

Распространение получили следующие методы образования профиля зубьев: зубофрезерование, зубодолбление, зубострогание и накатывание.

Зубофрезерование в свою очередь может осуществляться по методу копирования и методу обкатки (огибания).

При ***методе копирования*** заготовку устанавливают на оправку делительного механизма и обрабатывают модульной дисковой (рис. 26.4, *а*) или концевой (рис. 26.4, *б*) фрезой, имеющими профиль впадины между зубьями. После нарезания впадины заготовку поворачивают на один зуб с помощью делительного механизма, затем фрезой выполняется вторая впадина и т. д. до нарезания всех зубьев. Этот способ фрезерования впадин зубьев требует точного механизма деления, повышенных затрат времени на врезание и выход фрезы и применяется главным образом при изготовлении крупных колес с большими модулями, так как изготовление червячных фрез с модулем больше 15 мм связано с большими трудностями.

При ***методе обкатки*** (огибания) инструментом является червячная модульная фреза *1* (рис. 26.5), которая, вращаясь как червяк, обкатывается колесом *2*, выбирая на нем при этом впадины между зубьями по всей длине окружности. Устанавливают же фрезу на станке относительно колеса под углом β, соответствующим углу подъема винтовой линии фрезы. Кроме вращения фреза имеет также поступательную подачу как в радиальном *S*рад, так и в продольном $S_{пр}$ направ-

лениях относительно обрабатываемой поверхности колеса, в результате чего колесо обрабатывается по всей ширине за один (при $m < 2{,}5$ мм) или несколько рабочих ходов. Универсальные зубофрезерные станки для такой обработки выпускаются в свою очередь как с вертикальной, так и горизонтальной осью вращения червячной фрезы.

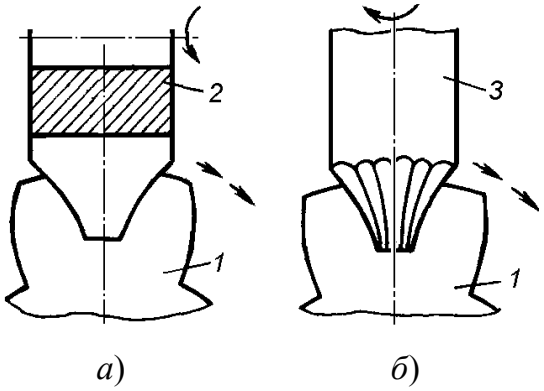


Рис. 26.4. Схемы фрезерования цилиндрических зубчатых колес методом копирования:
а – дисковой фрезой; *б* – концевой фрезой; *1* – заготовка; *2* – дисковая фреза; *3* – концевая фреза

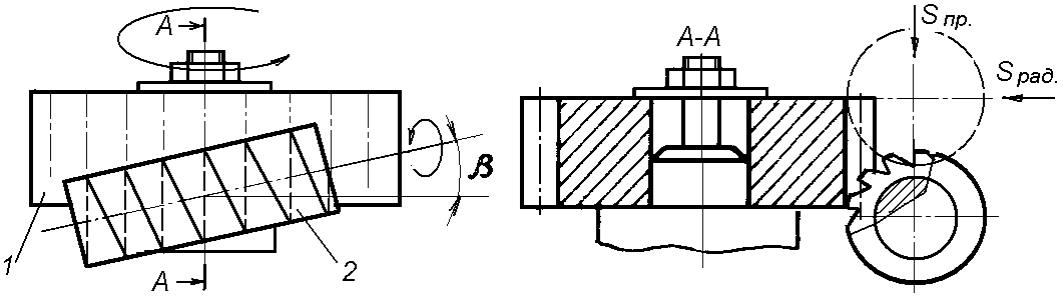


Рис.26.5. Схема фрезерования зубьев червячной фрезой

Этот метод обработки более производительный в сравнении с предыдущим, поскольку процесс образования эвольвентной поверхности зубьев колеса идет практически непрерывно при одновременной работе нескольких зубьев фрезы. Обеспечивается также и более высокая точность обработки, так как погрешность по шагу зубьев фрезы не передается целиком на обрабатываемое зубчатое колесо, а равномерно распределяется по всем его впадинам.

Метод зубодолбления применяется при малых расстояниях между торцом и фланцем зубчатого колеса или соседними шестернями блока, а также при нарезании колес с внутренним расположением зубьев. Зубодолбление может применяться и вместо зубофрезерова-

ния, так как во многих случаях эти процессы равноценны. Обработка производится на зубодолбежных станках, а режущим инструментом является долбяк, имеющий вид зубчатого колеса с эвольвентным профилем зубьев. При этом точность изготовления долбяка должна быть высокой, так как погрешность каждого его зуба полностью передается обрабатываемому колесу. Обработка осуществляется по методу обкатки долбяка по колесу (рис. 26.6), т. е. они находятся при этом в относительном движении зацепления.

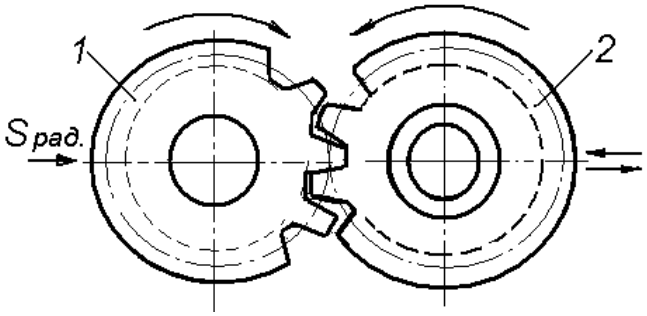


Рис. 26.6. Схема зубодолбления:
1 – долбяк; *2* – заготовка

Резание происходит в процессе движения долбяка вниз, а при его обратном ходе вверх колесо отводится от долбяка, чтобы не было трения зуба долбяка по задней грани. Колесо обрабатывается по всей ширине за один проход при $m < 2$ мм, при $2 < m \leq 4$ мм – за два прохода, а при $m > 4$ мм – за три и большее количество проходов.

Метод зубострогания основан в свою очередь на зацеплении обрабатываемого колеса с инструментом в виде зубчатой рейки, называемого гребенкой. Обработка осуществляется на станках двух типов: с вертикальной и горизонтальной осью расположения заготовки. Станки последнего типа применяют также для обработки колес с неразрывным шевронным зубом. Производительность этого метода обработки ниже, чем у зубофрезерования червячной фрезой и зубодолбления.

При ***накатывании*** зубчатых поверхностей колес производительность повышается в 5–30 раз в сравнении со способами обработки резанием. При этом повышается износостойкость и прочность зубьев, а также значительно снижаются отходы металла. Различают холодное, горячее и комбинированное накатывание.

Холодное накатывание рекомендуется применять при изготовлении мелкомодульных колес (при $m < 2$ мм). При горячем накатыва-

нии с радиальным движением подачи (рис. 26.7) заготовку *3* нагревают до температуры 1000–1200 °С, затем устанавливают на оправку *5* специального станка и накатывают на ней зубья сближающимися и синхронно вращающимися накатниками *1* за время от 30 с до 2 мин, в зависимости от модуля зуба (m = 2–5 мм, соответственно). Комбинированное накатывание может применяться для изготовления колес с зубьями средних и крупных модулей. При этом основная пластическая деформация производится в горячем состоянии, а окончательное профилирование – в холодном.

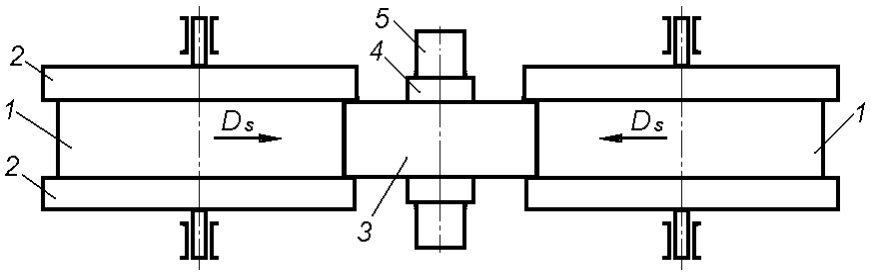


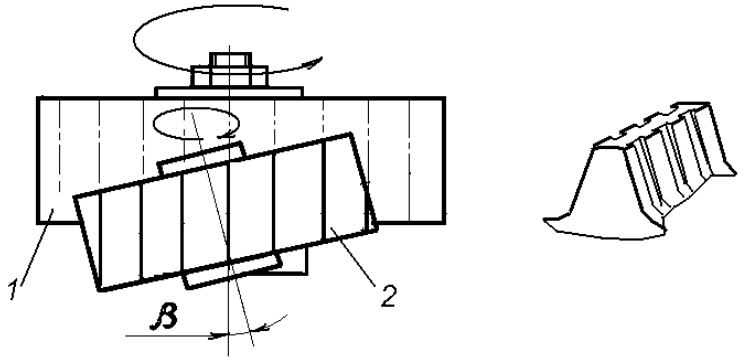
Рис. 26.7. Схема горячего накатывания зубьев колес:
1 – накатники; *2* – реборды; *3* – заготовка;
4 – переходная втулка; *5* – оправка

Торцы зубьев обычно закругляют на передвижных шестернях коробок скоростей, так как это значительно облегчает их переключение. Кроме этого, у большинства зубчатых колес снимают фаски или притупляют торцевые кромки. Производится такая обработка на универсально-фрезерных и специальных станках конусной и дисковой фасонными фрезами. Острые же кромки чаще всего притупляют вращающимися щетками или червячными фрезами с насечками.

Качество обработки зубьев колес улучшают при необходимости методами отделочной обработки, такими как шевингование, шлифование и хонингование.

Шевингование – чистовая обработка зубьев незакаленных цилиндрических зубчатых колес с помощью шевера, имеющего форму зубчатого колеса, на зубьях которого содержатся канавки от головки до ножки (рис. 26.8, *б*), образующие режущие кромки. У шевера *2* (рис. 26.8, *а*) зубья располагаются под углом β = 5–15 градусов и под этим же углом его устанавливают по отношению к обрабатываемому колесу *1*, благодаря чему происходит скольжение по зубьям, находящимся в зацеплении, и снятие с них тонких стружек толщиной 0,05–0,01 мм острыми кромками канавок. Шевингованием достигается точность обработки по 5–6 квалитетам, а время обработки обычно составляет 2–3 мин.

Шевинговальные станки выпускаются с горизонтальной и вертикальной осью (для обработки колес больших диаметров). Применяется несколько методов шевингования, в том числе параллельное, диагональное, тангенциальное и врезное. Шевингуют зубчатые колеса как наружного, так и внутреннего зацепления.



а) *б*)

Рис. 26.8. Схема шевингования зубьев колес:
1 – зубчатое колесо; *2* – шевер

Шлифование зубчатых колес проводится после их термической обработки для устранения короблений. Обработка осуществляется на различных зубошлифовальных станках, которые обрабатывают зубья методом копирования, а также дисковыми и червячным шлифовальными кругами. На станках, работающих по методу копирования, шлифуют зубья колес профилированными абразивными кругами. При шлифовании дисковыми кругами инструментом является воображаемая рейка, боковые стороны зуба которой образуют два синхронно вращающихся абразивных тарельчатых круга. При обработке эта пара кругов вводится последовательно во впадины между зубьями колеса, выполняющего возвратно-поступательное движение. Наиболее же производительной является обработка зубьев колес червячными шлифовальными кругами, подобно процессу фрезерования зубьев червячными фрезами. Шлифованием обеспечивается точность обработки до 5-го квалитета и параметр шероховатости поверхности по 7–8 классу.

Хонингование применяют для чистовой отделки зубьев, как правило, закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацеплений. Процесс осуществляется на зубохонинговальных станках зубчатым абразивным инструментом – хоном. Зубчатые хоны вращаются со скоростью 180–200 об./мин и представляют собой прямозубые или

косозубые колеса, обычно состоящие из стальной ступицы и абразивного венца того же модуля, что и обрабатываемое колесо. Время хонингования зубчатого колеса составляет 30–60 с.

Качество изготовления зубчатых колес контролируют универсальными методами измерений. В процессе контроля проверяют следующие параметры:

– перпендикулярность торцов ступицы к оси отверстия;

– диаметр центрального отверстия;

– наружные размеры колеса;

– основной шаг t_o, окружной шаг, накопленную погрешность по окружному шагу, а также толщину зуба и погрешность радиального биения.

27. Технология изготовления инструментальной оснастки

Для производства высококачественной оснастки и снижения ее себестоимости за счет повышения серийности и специализации многие производственные объединения имеют в своем составе инструментальные заводы или цеха, оснащенные высокоточным и специфичным для такого производства технологическим оборудованием. В таких подразделениях высококвалифицированными специалистами обеспечивается централизованное изготовление пресс-форм, штампов и другого специализированного обрабатывающего инструмента, а также специального мерительного инструмента и разнообразных специализированных приспособлений. В частности, разнообразие конструкций штамповой оснастки и ее количество, необходимое для обеспечения производственной программы, требуют дифференцированного подхода к выбору принципиальных решений по ее изготовлению. Не рационально, например, изготовлять все штампы по принципу полной взаимозаменяемости или индивидуальной пригонки, хотя в большинстве случаев изготовление штампов – это индивидуальное и партионное производство. Здесь различают следующие четыре типичных подхода.

Если для выполнения производственной программы достаточно одного штампа без запасных деформирующих деталей (матриц, пуансонов), то в этом случае следует максимально использовать имеющиеся заготовки и полуфабрикаты, высвободившиеся из производства или других штампов, а требуемую точность сборки целесообразно обеспечивать индивидуальной пригонкой сопрягающихся деталей штампа.

Если для выполнения производственной программы помимо одного штампа требуются еще и запасные деформирующие детали, то их желательно изготовлять одновременно с основным комплектом, обеспечивая взаимозаменяемость этих деталей. Этот вариант является наиболее распространенным.

При больших объемах производства деталей, требующих одновременной эксплуатации нескольких одинаковых штампов, такие штампы можно рассматривать как самостоятельные рабочие комплекты, снабженные сменными деформирующими деталями (матрицами, пуансонами). В этом случае посадочная взаимозаменяемость должна быть обязательно обеспечена в пределах каждого комплекта, а по возможности ее желательно обеспечить и для всей партии штампов.

Если же штамповкой осуществляется длительное массовое производство одинаковых деталей, то при изготовлении этих штампов должна быть обеспечена полная взаимозаменяемость не только по рабочим частям деформирующих деталей, но и посадочным местам всех соединений деталей.

При изготовлении штамповой оснастки необходимо стремиться к снижению себестоимости производства, но только не за счет уменьшения ее эксплуатационных показателей, так как это ведет к повышению себестоимости в основном производстве, где используются данные штампы.

Весь же процесс изготовления штамповой оснастки можно разделить на следующих четыре последовательных этапа.

1. Подготовительный – включает изготовление поковок, моделей для литья и отливок, шаблонов и другого инструмента второго порядка, а также отрезку заготовок из сортового проката согласно спецификации.

2. Предварительная станочная обработка – производится обдирка поковок, литья и заготовок из сортового поката на строгальных, фрезерных, токарных и других металлорежущих станках, а также формирование базовых поверхностей, шлифование плоскостей под разметку и их разметка.

3. Окончательная обработка и сборка – включает обработку всех деталей на металлорежущих станках, их термическую и чистовую обработку в размеры чертежа, слесарную обработку и пригонку, а также сборку штампов по спецификациям и сборочным чертежам.

4. Доведение штамповой оснастки до рабочего состояния – производится испытание штампов на прессе, проверка годности от-

штампованных деталей, выявление и устранение дефектов, комиссионная сдача готовых штампов в эксплуатацию.

В качестве примера более подробно рассмотрим технологию изготовления разделительных штампов для холоднолистовой штамповки (ХЛШ).

27.1. Технология изготовления штампов для холоднолистовой штамповки

Основным документом, определяющим требования к штампам, является ГОСТ 22472–77 «Штампы листовой штамповки. Общие технические условия». В нем содержатся технические требования к материалам основных деталей, к их точности и шероховатости поверхностей, к исходным заготовкам, к сборке, определяется точность применяемых блоков, правила приемки и методы контроля штампов, правила маркировки и упаковывания, содержатся указания по эксплуатации штампов и гарантии изготовителя в части работоспособности и стойкости штампов.

По технологическим особенностям изготовления все детали штампов ХЛШ можно разделить на основные и вспомогательные. К основным относятся устанавливающие (плиты, колонки, направляющие втулки) и деформирующие (пуансоны, матрицы) детали, т. е. те, которые обеспечивают и определяют заданные параметры штампа и требуют высокой точности и качества изготовления. К вспомогательным относятся монтажно-сборочные детали, такие как съемники, выталкиватели, упоры, буферы и другие, т. е. те, которые обеспечивают сборку и функционирование штампа. Эти детали изготовляются обычно по квалитетам точности *IT*14–*IT*16. Большинство деталей штампа (основных и вспомогательных) входит в стандартизированные сборочные единицы, которые называются универсальными блоками штампов. Например, ГОСТ 19842–74–ГОСТ 19846–74 устанавливаются конструкции и размеры блоков универсальных и комплектующих деталей сменных штампов для листовой штамповки; ГОСТ 23209–78–ГОСТ 23212–79 – конструкция, размеры и технические требования на блоки универсальные штампов для обрезки; ГОСТ 14672–83–ГОСТ 14678–83 – конструкция и размеры блоков с шариковыми направляющими для штампов листовой штамповки и т. д.

Основные детали стандартизированных блоков (верхняя и нижняя плиты, направляющие колонки и втулки) целесообразно изготовлять заранее, обрабатывая их полностью или частично, с последую-

щей доработкой при сборке штампа в целом. В частности, маршрутная технология изготовления плит из литых заготовок включает в себя следующие операции:

– строгать (фрезеровать) плоскости, торцы и выступы плиты;

– разметить отверстия на плоскости плиты под колонки или втулки, а также на боковых поверхностях – под транспортные штыри;

– сверлить с припуском отверстия под колонки или втулки, а также под резьбу для транспортных штырей;

– шлифовать плоскости плит в размер чертежа;

– на координатно-расточном станке расточить отверстия под колонки или втулки в заданный размер в комплекте плит или по отдельности;

– нарезать резьбу в отверстиях для транспортных штырей;

– на плите зачистить и притупить острые кромки, замаркировать.

Подавляющее большинство направляющих колонок изготовляется из цементируемых сталей (обычно из стали 20) в виде круглого проката обработкой на токарных станках с одной установки. Затем деталь цементируют на глубину 0,8–1,2 мм и закаливают до твердости $HPC_Э$ 58–62. Далее зачищают центровые гнезда, по ним колонку устанавливают на круглошлифовальном станке и обрабатывают в размеры чертежа.

Втулки направляющие изготовляют из прутка или трубы из стали 20 на токарном станке. Затем, так же как и колонки, цементируют, закаливают и шлифуют в размеры чертежа. При шлифовании отверстия втулку зажимают в патроне за наружную посадочную цилиндрическую поверхность, а затем надевают прошлифованным отверстием на оправку, которую устанавливают в центрах круглошлифовального станка и далее шлифуют ее посадочную цилиндрическую поверхность.

Из изготовленных таким образом деталей собирают ***штамповые блоки*** следующим образом:

– в верхнюю плиту запрессовываются две направляющие втулки;

– собирается нижняя часть блока путем запрессовки колонок в отверстия нижней плиты;

– затем верхняя часть блока устанавливается на колонки нижней;

– собранный штамповый блок устанавливается на кривошипном прессе и осуществляется его приработка на автоматических ходах в течение 20–30 мин, при обильной подаче смазки в направляющие узлы;

– втулки и колонки блока очищают от загрязнений, протирают, промывают в бензине и смазывают, после чего блок сдается на склад для дальнейшего использования при сборке штампа.

Среди основных наиболее ответственными являются деформирующие детали штампа (пуансоны и матрицы). При этом образующие их поверхности по своему назначению подразделяются на рабочие, базовые и свободные. Наиболее ответственными являются рабочие поверхности, так как они, непосредственно воздействуя на обрабатываемую заготовку, придают ей форму изделия. Базовые же поверхности – отверстия для штифтов, посадочные гнезда, опорные площадки и др. – обеспечивают фиксацию деформирующих деталей в штампе. Свободные поверхности, образуя остальную форму детали, непосредственно в работе штампа не участвуют. ***Деформирующие детали штампа*** обычно изготовляются следующим образом:

– производится общая станочная обработка заготовок матриц и пуансонов, включающая фрезерование, строгание или обтачивание их всех поверхностей, а также шлифование базовых поверхностей, зеркала матриц, а у пуансонов – рабочих торцов;

– изготовляется из стали шаблон, форма и размеры которого точно соответствуют вырубаемому изделию или пробиваемому в нем отверстию;

– производится подготовка зеркала матрицы и торца пуансона к разметке путем нанесения на них медного купороса, при высыхании которого образуется тонкий медный налет; иногда на эти поверхности методом лужения наносят тонкий слой олова, а для грубой разметки деталей крупных штампов можно также на размечаемые поверхности наносить меловые покрытия;

– производится разметка деталей станочным способом или слесарем с помощью чертилок, циркулей и штангенрейсмуса; при разметке также пользуются угломером, призмами, плоскопараллельными измерительными плитками и другими измерительными инструментами, при этом совмещение баз заготовки с базами инструмента осуществляется на разметочной плите;

– производится черновая обработка рабочих поверхностей пуансонов и матриц на универсальных, а при необходимости и специализированных станках, например, таких как пуансонострогальные станки, а при вырезке окон в матрицах – ленточнопильные вертикальные станки или станки с непрофилированным инструментом электроэрозионного, электрохимического и комбинированного принципа действия;

– выполняется чистовая обработка рабочих поверхностей чистовым и тонким фрезерованием, шлифованием на профильно-шлифовальных и внутришлифовальных станках специальными кругами, а также вручную напильниками и надфилями или с помощью механических зачистных машинок; закончив чистовую обработку рабочих поясков в матрице, распиливают под ними провальные отверстия со стороны, обратной зеркалу;

– затем сверлятся отверстия для болтов и штифтов, нарезают резьбу и выполняют все остальные слесарно-опиловочные работы, а также клеймят детали;

– производится термическая обработка деталей, заключающаяся в их закалке с отпуском;

– выполняется шлифование зеркала матрицы и пуансона на плоскошлифовальном станке, а также зачистка их рабочего контура методами шлифования и опиливания с окончательным контролем профиля и зазоров по шаблону штампуемой детали или взаимной пригонкой сопрягаемых деталей.

При больших партиях штампуемых деталей, а также при изготовлении их из материалов, вызывающих повышенный износ рабочих поверхностей, деформирующие детали штампов целесообразно изготовлять из твердых сплавов. Для этого обычно применяются вольфрамокобальтовые металлокерамические сплавы следующих марок: ВК15, ВК20 и ВК25 – в штампах для разделительных операций; ВК6 и ВК8 – в штампах для формоизменяющих операций, а также сплавы ВК10 и ВК15 – при больших нагрузках в этих штампах. Технологический процесс изготовления таких твердосплавных деформирующих деталей включает в себя следующие операции:

– прессование из порошковой смеси заготовки, близкой по форме к изготовляемой детали;

– предварительное спекание заготовки при температуре 600–700 ^{o}C;

– обработку заготовки в заданные размеры твердосплавным и абразивным инструментом;

– окончательное спекание изготовляемой детали при температуре 1340–1450 ^{o}C;

– окончательную механическую доводку детали алмазным инструментом или методом комбинированной электрохимической обработки.

После изготовления всех остальных деталей, а также соответствующей доработки ранее изготовленного штампового блока перехо-

дят к завершающим этапам изготовления, включающим сборку, доводку, испытание и приемку штампа. В частности, ***сборка штампа для вырубки (пробивки)*** производится следующим образом.

– матрица закрепляется винтами на нижней плите штампового блока по предварительно обработанным отверстиям;

– затем пуансоны через отверстия в съемнике вставляют в рабочие окна матрицы на глубину 3–4 мм, скрепляют струбцинами съемник с матрицей и в сборе сверлят и разворачивают в них отверстия под штифты;

– после установки в выполненные отверстия штифтов в съемнике сверлят отверстия под крепежные винты;

– если в штампе имеются шаговые ножи и направляющие планки, то последние устанавливают параллельно рабочему окну в матрице так, чтобы их направляющие плоскости были смещены относительно режущих кромок окон под ножи на 0,5 мм каждая для свободного прохода полосы. В таком положении планки прижимают к матрице съемником, скрепляют струбцинами и в сборе обрабатывают отверстия под штифты;

– завершают сборку нижней части штампа установкой и креплением всех остальных входящих в нее деталей, а затем приступают к сборке верхней части;

– сборку верхней части штампа начинают с установки в пуансонодержатель пуансонов и шаговых ножей. При этом в первую очередь устанавливают вырубной пуансон, обращая особое внимание на отсутствие качки в посадке и строгую его перпендикулярность к плоскости пуансонодержателя. Затем поочередно вставляют все остальные пуансоны и шаговые ножи и проверяют эту сборку накладыванием матрицы на пуансоны при подсветке снизу, визуально убеждаясь при этом в равномерности зазоров между пуансонами и соответствующими окнами матрицы;

– если пуансоны не имеют заплечиков, то после проверки их слегка расклепывают с верхней стороны и шлифуют, чтобы совместить опорные плоскости пуансонов и пуансонодержателя;

– затем пуансоны вводят в окна матрицы, закрепленной на нижней плите блока, на пуансонодержатель накладывают верхнюю плиту, надетую втулками на направляющие колонки, в таком виде весь штамп скрепляют струбцинами и в сборе сверлят крепежные и штифтовые отверстия в верхней плите и пуансонодержателе;

– нарезают резьбу в отверстиях пуансонодержателя, разворачивают отверстия под штифты, винтами и штифтами крепят к плите пуансонодержатель с установленными пуансонами;

– завершают сборку штампа установкой и креплением хвостовика, а также транспортных штырей, ограждений и остальных деталей.

Каждый изготовленный штамп после завершения сборки подвергается приемочному контролю и приемо-сдаточным испытаниям. Целью приемочного контроля является установление соответствия штампа требованиям чертежа и технических условий (ТУ). Контроль производится визуальным осмотром и с помощью необходимых измерений. Если установлено, что штамп удовлетворяет требованиям конструкторской документации и ТУ, то приступают к его доводке и приемо-сдаточным испытаниям. Особенностью сборки штампов является то, что качество ее выполнения не всегда поддается контролю, и поэтому допущенные при сборке ошибки выявляют в процессе доводки и приемо-сдаточных испытаний штампа, которые подразделяются на два этапа: условные и производственные (комплексные).

Условные испытания штампов для разделительных операций производят путем рубки на них бумаги (для зазоров до 0,04 мм) или картона (при больших зазорах). Если срезы получаются чистыми по всему контуру, то зазоры выполнены правильно. Обрыв же или затягивание бумаги (картона) в зазоры указывает на их неравномерность либо чрезмерную величину, или на затупление режущих кромок инструмента. Штампы для формоизменяющих операций условно испытывают в свою очередь на мягком материале, толщина которого равна номинальной толщине материала детали, подлежащей штамповке.

При получении положительных результатов на условных испытаниях переходят к проведению ***производственных*** **(*комплексных*)** ***испытаний штампа***, являющихся завершающим этапом контроля. Как правило, эти испытания выполняет наладчик цеха, принимающего оснастку в эксплуатацию, в присутствии технолога этого цеха и контрольного мастера (или контролера) цеха-изготовителя оснастки. Например, при испытании вырубного штампа на работающем прессе наиболее часто выявляются такие дефекты, как: появление заусенца на штампуемой детали из-за неравномерного зазора; вогнутость детали из-за наличия обратного конуса у матрицы; быстрое затупление режущих кромок из-за некачественной термообработки; срез режущих кромок из-за отклонения от соосности пуансона или матрицы и др. После устранения выявленных дефектов при доработке

штампа производят его повторные испытания. На принятую же оснастку оформляется паспорт (формуляр) и акт приемки.

Паспорта составляются цехом-изготовителем на все сдаваемые штампы и хранятся в штамповочном цехе весь срок их эксплуатации. В паспорте приводится наименование и техническая характеристика штампа, отметка о приемке, данные об эксплуатации, переточках и ремонтах. Номер паспорта должен совпадать с номером, замаркированным на штампе. При снятии штампа с пресса по окончанию работы наладчик или мастер цеха по последней отштампованной детали определяют дефекты штампа и при наличии записывают их в паспорт, а затем вместе с этой деталью отправляют штамп в ремонт, а исправный штамп сдается в инструментальный склад.

В ***акт приемки штампа*** заносятся определяющие чертежные размеры его основных конструктивных элементов, а также их фактические значения и делается соответствующая запись о пригодности штампа в виде «Штамп, прошедший наладку и опробование и показавший при контрольных испытаниях полное соответствие техническим условиям, является годным для передачи в эксплуатацию». При выявлении несоответствия размеров штампа или каких-то дефектов эти данные заносятся в акт приемки, и штамп вместе с ним направляется на доработку и повторные испытания. Акт подписывается членами приемной комиссии, в состав которой входят представители ОТК, цеха-изготовителя и цеха, принимающего оснастку в эксплуатацию.

28. Организационно-технологическая подготовка работ по монтажу оборудования

Машины и оборудование, применяемые на предприятиях, подразделяются на стационарные и передвижные. Стационарные машины и оборудование отличаются от передвижных тем, что их монтируют на объектах эксплуатации.

Монтаж – это установка изделия или его составных частей на месте эксплуатации. Он включает в себя разработку монтажно-технологической документации, подготовку машин и оборудования, установку их на подготовленные основания, полную сборку и подсоединение к энергетическим и другим коммуникациям, индивидуальные и комплексные испытания вхолостую и под нагрузкой. Монтажные и пусконаладочные работы выполняются при строительстве

новых, расширении, реконструкции и техническом перевооружении действующих предприятий, а также при капитальном ремонте технологического оборудования.

Для выполнения этих работ разрабатывается ***монтажно-технологическая документация***, включающая:

• Проект организации строительства (ПОС) – разрабатывается на стадии рабочего проекта промышленного объекта. Одной из составных частей его является раздел «Монтажные работы. Монтаж оборудования», где приводятся сведения об объемах работ в физическом и денежном выражении, предложения по стройгенплану, принципиальные решения по монтажу основного оборудования, схемы установки и закрепления оборудования на фундаментах, порядок подачи оборудования в монтаж, сроки строительной готовности объекта по этапам, график поставки основного оборудования и конструкций, схемы энергообеспечения, потребность в энергоресурсах и рабочей силе, предложения по созданию производственной базы, совмещению и увязке монтажных и пусконаладочных работ. В принципиальных решениях по монтажу основного оборудования ПОС указываются монтажные приемы, схемы монтажа основного оборудования в «мертвых зонах», не обслуживаемых мостовыми кранами, технические решения по использованию строительных конструкций и специальных монтажных механизмов (порталы, подъемники и др.) для подъема оборудования.

• Проект производства работ (ППР) – является основным технологическим документом, который разрабатывается в целом на объект или отдельные виды работ в соответствии с требованиями нормативных документов. Он содержит краткую характеристику объекта, данные по объему, стоимости и трудоемкости монтажа, схему монтажной площадки; генеральный план зоны выполнения и организации работ; решения по технологии монтажа и организации труда; сведения об энергоресурсах, материалах и средствах монтажа; требования к геодезическому обеспечению; технологические карты или схемы выполнения производственных процессов монтажа; схемы энергоснабжения; проекты производства сварочных работ; мероприятия по механизации ручного труда, технике безопасности и охраны окружающей среды; графики движения рабочих кадров и перемещения механизмов; схемы строповки и перемещения монтируемых узлов, рабочие чертежи монтажных приспособлений и специальных временных сооружений, а также монтажно-технический паспорт объекта. При этом монтаж технологического оборудования и агрегатов производится в соответ-

ствии с рабочими чертежами и инструкциями заводов-изготовителей. Если же технология, заложенная в инструкциях, не соответствует условиям производства, то монтаж такого оборудования и другие сложные работы выполняют по технологическим картам.

• Технологическая карта, в которой указываются наименование и характеристика машины (объекта монтажа); объемы работ, масса и число монтажных узлов (блоков); сметная стоимость и трудоемкость работ; состав звеньев и бригад, продолжительность и сроки производства работы; план монтажной площадки (рабочей зоны, рабочего места); маршрут движения рабочих и перемещения механизмов; порядок приемки строительной части объекта и оборудования (конструкций, материалов); требования к расконсервации и подготовке оборудования к монтажу; схемы перемещения, строповки, установки и выверки оборудования; последовательность монтажно-сборочных работ; потребность в монтажных механизмах, приспособлениях, инструменте и материалах; порядок испытания (обкатки) вхолостую и под нагрузкой; технико-экономические показатели; правила техники безопасности.

ППР и технологические карты на производственные процессы монтажа составляют проектно-технологические институты или монтажные организации.

• Технологическая схема производства работ, которая составляется на работы, связанные с транспортировкой и подъемом технологического оборудования на объектах монтажа; по составу информации она аналогична технологической карте, но имеет значительно меньший объем и оформляется на типовом бланке с приложением плана монтажной зоны, схем подъема и перемещения грузов.

• Журналы производства работ – ведут при монтаже ответственного оборудования; сварке трубопроводов и конструкций, подведомственных Госгортехнадзору, а также ответственных металлоконструкций; защите оборудования от коррозии; испытаниях (обкатке) оборудования.

• Производственная исполнительная документация – это схемы фундаментов и постаментов под оборудование, а также смонтированного оборудования и трубопроводов; формуляры установки ответственных машин (компрессоров, прокатного оборудования и т. п.); акты выполнения скрытых работ и т. д. Эту документацию составляют в процессе выполнения работ. При этом в исполнительных схемах и формулярах указывают проектные и фактические размеры, положение осей и высотных отметок элементов фундаментов, оборудования,

конструкций и трубопроводов, а также допускаемые и фактические зазоры в подшипниковых опорах, зубчатых и червячных зацеплениях и других подвижных механизмах.

Все работы по монтажу ведут по определенной заранее разработанной схеме, разбивая их на следующие три этапа: подготовительный, основной и заключительный (пусконаладочный).

К ***подготовительным работам*** относят инженерную подготовку производства и объектов к монтажу. Она включает планирование монтажных работ и проверку проектно-сметной документации; изготовление монтажных приспособлений, металлоконструкций и нестандартного монтажного оборудования; подготовку ведомостей комплектации объектов оборудованием и материально-техническими ресурсами; разработку календарного плана работ; приемку готовности производственных помещений; согласование сроков поставки оборудования на объект монтажа и другие подготовительные работы.

К ***основному этапу*** относят доставку оборудования, монтажных заготовок, основных и вспомогательных материалов на объект монтажа; распаковку, расконсервацию, осмотр и укрупненную сборку оборудования; подготовку фундаментов и установку на них оборудования в проектном положении; выверку и крепление к фундаментам оборудования; сборку и установку трубопроводов, арматуры и ограждений; подключение оборудования к энергосистемам, заправку редукторов и других узлов смазочными и охлаждающими материалами; наладку и регулировку отдельных механизмов и машин в целом; окраску и испытания на холостых режимах отдельных функциональных механизмов.

Заключительный (пусконаладочный) этап включает регулировку комплексного функционирования машин и устройств в соответствии с заданной циклограммой; наладку средств автоматизации, поверку контрольно-измерительных приборов, наладку комплексов и технологических линий в целом; обкатку оборудования под нагрузкой, доведение его до проектной производительности и сдачу заказчику.

По степени совмещения работ различают последовательный, параллельный, поточный и поточно-узловой методы монтажа оборудования. При ***последовательном методе*** отсутствует совмещение выполнения разнотипных видов монтажных работ. Если же разнотипные монтажные работы выполняются параллельно, то метод называют ***параллельным***. ***Поточный метод*** основан на разделении процесса монтажа на операции – потоки, выполняемые на различных

рабочих местах за одинаковое время. ***Поточно-узловой метод*** рекомендуется применять при монтаже оборудования в низких помещениях, где затруднено использование мощных грузоподъемных средств. В этом случае бригаду монтажников разбивают на звенья, каждое из которых выполняет определенный вид работ.

29. Технические средства для проведения монтажных работ

Технические средства для проведения монтажных работ включают грузоподъемные машины и механизмы, измерительные устройства и инструмент, тяговые и грузозахватные устройства, а также монтажные приспособления и инструмент.

Грузоподъемные машины и механизмы предназначены для погрузки и разгрузки, а также перемещения и монтажа оборудования и конструкций в монтажной зоне. Они включают в себя самоходные монтажные и козловые краны, автопогрузчики, трубоукладчики, тракторы, автоматические тягачи, транспортеры на гусеничном ходу, краны ручные мостовые, электротельферы, лебедки, электротали, ручные полиспастовые подъемники и домкраты.

В частности, башенные и козловые краны используют при монтаже оборудования на строящихся и реконструируемых предприятиях, а также на производственных базах монтажных организаций.

Гусеничные краны и стреловые гидравлические применяют в основном для подъема тяжеловесного оборудования (до 100 т) и при большом объеме работ на одной площадке.

Для объектов, не имеющих тяжеловесного оборудования, применяют автомобильные и пневмоколесные краны (грузоподъемностью до 40 т), которые очень мобильны и маневренны, не требуют подготовки проездов и рабочих площадок на объектах.

Автопогрузчики и малогабаритную крановую установку, смонтированную на шасси трактора, применяют в цехах предприятий при их техническом перевооружении.

Электропогрузчики используют в помещениях, где недопустимо наличие выхлопных газов от двигателей внутреннего сгорания.

Транспортер гусеничный самоходный, передвигающийся без груза со скоростью до 12 км/ч, содержит полноповоротную стрелу, грузоподъемность которой при вылете стрелы 1,5–4,2 м составляет, соответственно, 1,6–0,5 т.

Краны ручные мостовые применяют для перемещения и монтажа оборудования в цехах, где они установлены. На строящихся объектах их монтируют до начала основных механомонтажных работ.

Трубоукладчики предназначены для перемещения оборудования в пределах монтажной площадки и при монтаже вентиляционных трубопроводов больших сечений.

Тали используют при монтаже для подъема и перемещения небольшого оборудования или его составных частей весом до 8 т. Применяют в случаях, когда использование крана или других подъемных средств затруднено. По виду привода тали разделяют на электрические и ручные. Ручные тали бывают с червячными, шестеренчатыми и рычажными передающими механизмами. Электротали обеспечивают подъем груза на высоту до 18 м, для чего их подвешивают к кошке, перемещающейся по монорельсу с помощью электродвигателя, а управляет ими с ручного пульта рабочий, находящийся на полу помещения.

К числу простейших ручных подъемных механизмов относятся блоки, полиспасты и лебедки. Блоки состоят из роликов, вращающихся на оси в подшипниках, двух щек и проушин для крепления канатов. Блоки, используемые для подъема груза, называют грузовыми, и они оснащаются грузозахватным устройством (крюком или петлей), а блоки, используемые для изменения направления движения каната, называют отводными. Ролики блоков имеют на торцевой поверхности канавку для каната и выполняются диаметром не менее 16–20 диаметров каната.

Полиспаст – это устройство, состоящее из подвижной (нижней) и неподвижной (верхней) блочных обойм (рис. 29.1, *а*), соединенных между собой канатом или другим гибким тяговым элементом, один конец которого закреплен на обойме, а второй последовательно проходит через ролики блочных обойм. На монтажных работах в основном применяются силовые полиспасты, у которых за счет уменьшения скорости перемещения груза повышается грузоподъемная сила. Для подъема и перемещения технологического оборудования как самостоятельно, так и в паре с монтажными полиспастами часто используются ручные и электрические лебедки. В частности, переносная ручная лебедка (рис. 29.1, *б*) состоит из корпуса *1* с тяговым механизмом, приводной рукоятки *2* прямого хода, приводной рукоятки *3* обратного хода и тягового троса с грузовым крюком *4*. Для монтажа же оборудования и трубопроводов, расположенных вдоль стен, применяют пристенный подъемник (рис. 29.1, *г*), оснащенный ручной лебедкой.

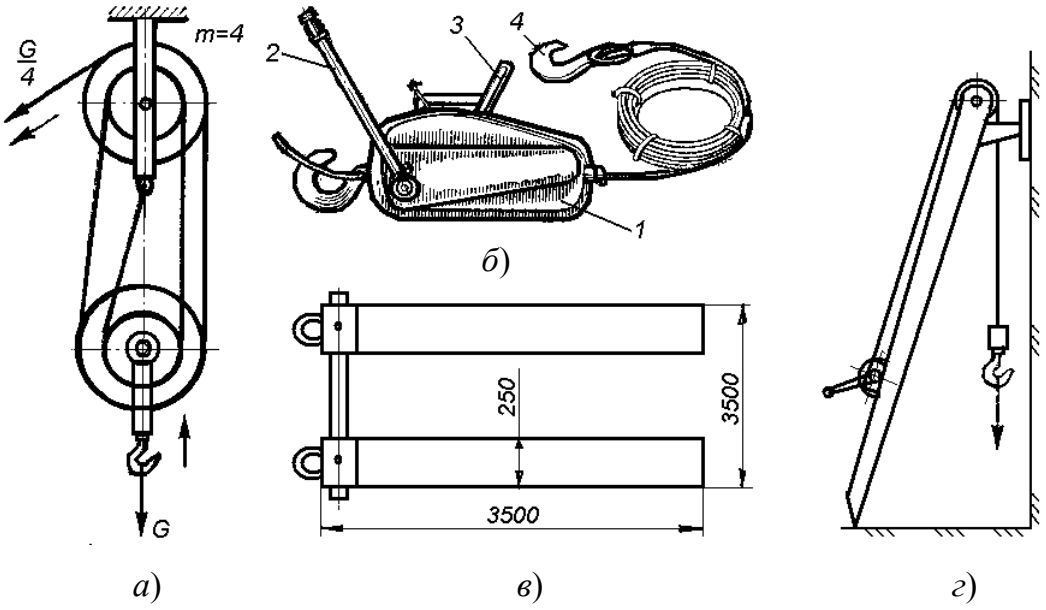


Рис. 29.1. Устройства для подъема и перемещения грузов:
а – полиспаст; *б* – переносная ручная лебедка;
в – полоз для перемещения; *г* – пристенный подъемник

Домкраты – это переносные грузоподъемные механизмы, предназначенные для подъема оборудования на небольшую высоту, а также для перемещения его по горизонтали. По исполнению передаточного механизма они подразделяются на клиновые, реечные, винтовые и гидравлические. Обеспечивают плавный подъем и опускание груза, а также высокую точность его установки на заданном уровне.

Для транспортировки грузов на монтажных площадках и внутри помещений с твердым покрытием применяют разнообразные тележки грузоподъемностью до 3 т, а также устанавливаемые в монтажные отверстия станин оборудования колесные блоки на шарикоподшипниках. Для перемещения же тяжеловесного оборудования с помощью тягачей или лебедок применяются также полозы (рис. 29.1, *в*), выполненные из листовой стали толщиной 4 мм.

К ***измерительным устройствам и инструменту***, применяемым при монтаже, относятся следующие:

Нивелиры – оптико-механический инструмент, предназначенный для геометрического нивелирования, а также для задания горизонтальных направлений; разность высот двух точек определяют по горизонтальному визирному лучу на вертикально установленных в этих точках рейках.

Уровни – прибор, содержащий стеклянные заполненные жидкостью ампулы, по воздушному пузырьку в которых и нанесенным делени-

ям проверяют горизонтальность линий и поверхностей, а также измеряют малые углы их наклона. Рамные уровни имеют корпус в виде квадрата и обеспечивают контроль как горизонтального, так и вертикального расположения поверхностей. Брусковые уровни (ГОСТ 9382–75) предназначены для измерения малых отклонений горизонтальных поверхностей и используются для проверки точности установки оборудования.

Теодолиты – геодезический инструмент для измерений горизонтальных и вертикальных углов и определения направлений при топографической, геодезической и маркшейдерских съемках, а также в строительстве, при монтаже оборудования и т. д. В основном используются при разметке и проверке расположения фундаментов под оборудование. Наряду с теодолитами для этих же целей применяют лазерные визиры, позволяющие задавать оптическим лучом определенные направления в пространстве.

Струны применяют при монтаже для проверки точности разбивки осей, контроля отклонений формы поверхностей фундаментов и оборудования. Наиболее целесообразно использовать в качестве струны стальную проволоку марки ОВС по ГОСТ 2771–81 диаметром 0,2–0,4 мм.

Отвесы – это груз, свободно подвешенный на тонкой гибкой нити; под действием силы тяжести груза эта нить принимает направление, называемое отвесной линией. С их помощью приближенно контролируют вертикальные направления при строительстве, монтажных и других работах.

Рулетки с металлической лентой, содержащей штриховую шкалу от 1 до 100 м, применяют для измерения линейных размеров и значительных расстояний.

Щупы – набор мерных пластин длиной 100 мм и толщиной от 0,02 до 1 мм с градацией через 0,01 и 0,05 мм, шарнирно закрепленных в общей обойме. Применяются для контроля зазоров при наладке оборудования и регулировании механизмов.

В качестве ***монтажного инструмента и приспособлений*** наиболее широко используются сверлильные машинки с электро- и пневмоприводом (дрели), ножевые и вырубные электроножницы, резьбонарезные инструменты, шпилькогайковерты, а также угловые и прямые шлифовальные машинки.

Тяговые устройства являются гибкими элементами грузоподъемных машин и монтажных приспособлений. Наиболее широко в этом качестве используются канаты и цепи.

Цепь – это гибкое изделие, состоящее из отдельных последовательно соединенных жестких звеньев. По конструктивному исполнению цепи подразделяются на сварные кольцевые и пластинчатые. Сварные кольцевые цепи выпускаются короткозвенными и длиннозвенными в двух исполнениях: калиброванные и некалиброванные. Пластинчатые цепи состоят из параллельных пластин, шарнирно соединенных между собой пальцами. Выпускаются они в разнообразных конструктивных исполнениях и подразделяются на однорядные и многорядные.

Канаты – гибкое изделие, изготовленное из стальной проволоки или нитей, а также пряжи из волокон растительного, синтетического или минерального происхождения. В зависимости от применяемого материала, соответственно, подразделяются на стальные, пеньковые, из синтетических волокон и т. д. Пеньковые канаты, например, выпускаются диаметром от 10 до 112 мм с разрывной нагрузкой от 7,9 до 538 кН, соответственно. Стальные канаты наиболее широко применяют в качестве тяговых гибких элементов грузоподъемных машин. Их свивают из стальной светлой или оцинкованной проволоки диаметром от 0,2 до 3 мм. Выпускаются стальные канаты диаметром от 4,1 до 51 мм.

Грузозахватные устройства и приспособления служат для захватывания и перемещения разнообразных грузов. Подразделяются они на крюки, стропы ветвевые и петлевые, а также захваты.

Крюк – деталь грузоподъемных машин, обеспечивающая подвешивание грузов или грузозахватных приспособлений к канатам или цепям механизмов подъема. Выполняются крюки однорогими (рис. 29.2, *а*) и двурогими (рис. 29.2, *б*), стальными цельнокованными или литыми грузоподъемностью до 75 т. Для предотвращения самопроизвольного выпадения грузового приспособления крюки обычно оборудуют предохранительными замками.

Строп ветвевой – это съемное приспособление, изготовляемое из одного или нескольких отрезков каната или цепи, которые одним концом присоединяются к кольцу, а на втором конце содержат грузозахватную подвеску, обычно в виде крюка или кольца. В зависимости от числа таких присоединенных к кольцу отрезков стропы подразделяются на одно-, двух-, трех- (рис. 29.2, *ж*) и четырехветвевые (рис. 29.2, *е*).

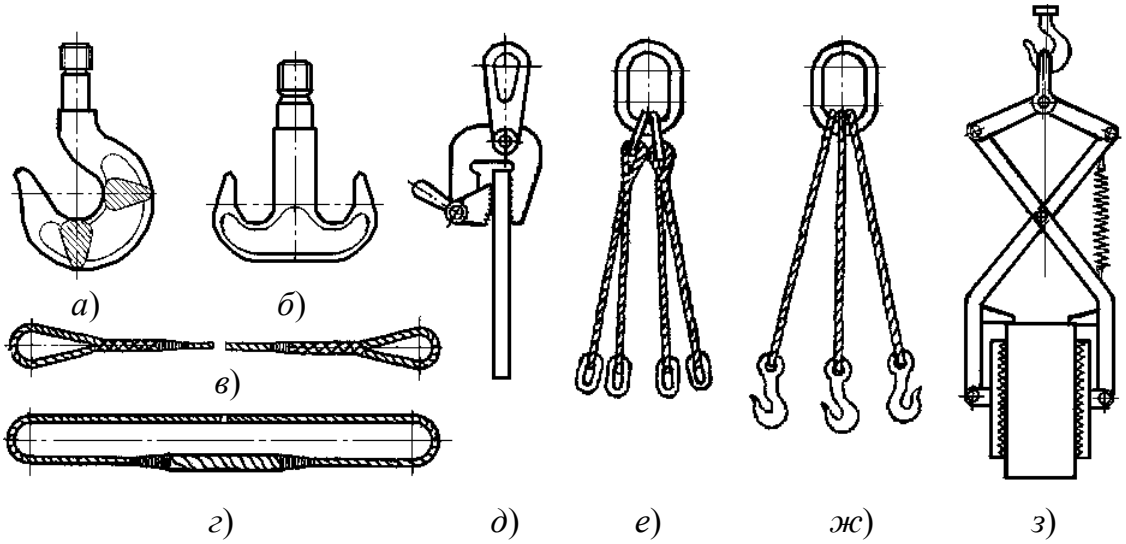


Рис. 29.2. Грузозахватные устройства и приспособления:
а, *б* – крюки одно- и двурогий; *в*, *г* – стропы петлевые;
д, *з* – захваты; *е*, *ж* – стропы ветвевые

Стропы петлевые, также используются для подвешивания грузов к крюкам и представляют собой отрезок троса или цепи, замкнутый в кольцо (рис. 29.2, *г*) или содержащий на концах петли (рис. 29.2, *в*).

При работе грузоподъемных машин со штучными грузами определенной формы и размера для сокращения времени на их подвеску и освобождение применяют разнообразные специальные захваты, которые по способу прикрепления к грузу подразделяются на механические клещевые захваты, фрикционно-зажимные (рис. 29.2, *з*) и эксцентрико-во-зажимные (рис. 29.2, *д*) захваты, а также электромагнитные, вакуумные, пневматические и комбинированные захваты.

30. Способы установки и крепления оборудования

Прочность установки любой конструкции во многом зависит от надежности основания, т. е. от массива грунта, воспринимающего давление от фундаментов. ***Фундаменты*** – это несущие элементы, на которые устанавливают здания, технологическое оборудование и другие конструкции, поэтому они должны быть прочными, устойчивыми, долговечными и экономичными. Глубина заложения фундамента должна соответствовать глубине залегания того слоя грунта, который по своим качествам может служить основанием.

Машины и оборудование устанавливают обычно на фундаменты или твердые (бетонные) площадки. Эта работа включает в себя подго-

товку фундаментов и опорных элементов к монтажу, установку оборудования и его выверку, а также подливку фундамента и окончательное крепление их станин и корпусных деталей. В зависимости от типа, массы и условий работы технологическое оборудование устанавливают на фундаментах с креплением фундаментными болтами и подливкой, креплением болтами к фундаментным плитам без подливки, а также на металлических конструкциях (рамах, кронштейнах, подвесках), на перекрытиях и непосредственно на чистых полах с креплением или без него. Оборудование крепят к фундаменту с помощью анкерных (рис. 30.1, *а*, *б*) и самоанкерующихся (рис. 30.1, *в*) болтов. Оборудование, работающее без динамических нагрузок, размещают на чистых полах или вмонтированных в станину регулировочных отжимных винтах (рис. 30.1, *ж*). Оборудование же, работающее с динамической нагрузкой, устанавливают на виброизолирующих опорах и резиновых прокладках.

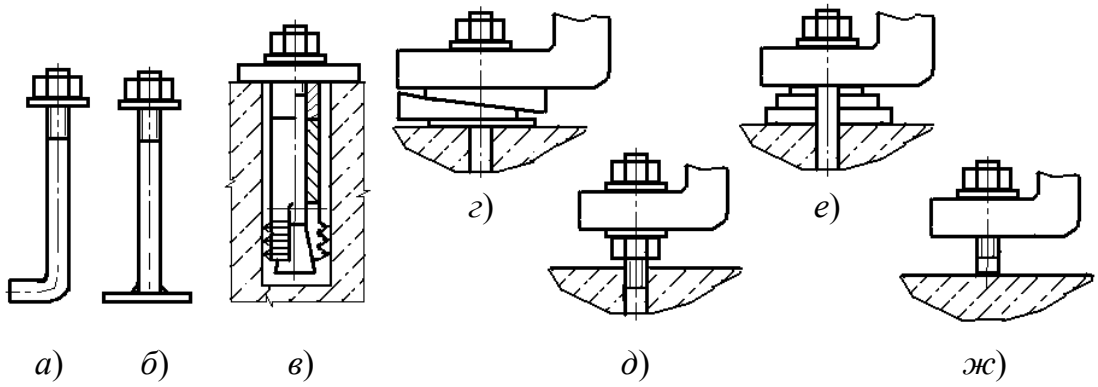


Рис. 30.1. Крепление оборудования на фундаментах и основаниях:
а, *б* – анкерные болты; *в* – самоанкерующийся болт; *г* – клиновая подкладка; *д* – установочная гайка; *е* – плоская подкладка; *ж* – регулировочный отжимной винт

Оборудование устанавливают на фундаментах с последующей выверкой и подрегулировкой положения с помощью регулировочных винтов (рис. 30.1, *ж*), установочных гаек (рис. 30.1, *д*), клиновых (рис. 30.1, *г*) и плоских (рис. 30.1, *е*) подкладок, а также инвентарных домкратов. Выверку оборудования по горизонтали и вертикали выполняют с применением уровней, нивелиров, отвесов и теодолитов. Без выверки по высоте монтируют оборудование, не требующее высокой точности расположения, а также оборудование, устанавливаемое на точно выверенные поверхности опорных конструкций. После выверки и предварительного закрепления оборудования зазор между

его опорной поверхностью и фундаментом заполняется бетонной смесью. Расстояние от опорной части оборудования до края слоя подливки должно составлять 100–200 мм с уклоном бетонной поверхности в сторону от оборудования, равным 1 : 50. Эту поверхность в течение трех суток необходимо систематически увлажнять, а для сохранения влаги следует посыпать древесными опилками или укрывать мешковиной. После достижения бетонной подливкой 70 % проектной прочности производят затяжку фундаментных болтов с помощью динамометрических ключей КД-60, предельных трещоточных ключей КПТР, ключей-мультипликаторов КМ, а также электрогайковертов ИЭ и пневмогайковертов ИП. Окончательно затягивать болты следует равномерно в два–три обхода. При этом сначала затягивают болты, расположенные по осям симметрии опорной части оборудования, а затем более удаленные от осей симметрии.

При закреплении оборудования, работающего со значительными динамическими нагрузками, гайки болтов предохраняют от самоотвинчивания путем их стопорения, которое обычно осуществляется с помощью контргаек, пружинных шайб (ГОСТ 6402–70) или стопорных шайб с лапками (ГОСТ 13463–77). Для крепления оборудования к строительным конструкциям (междуэтажному перекрытию) используют самоанкерующиеся болты и дюбели диаметром от 8 до 48 мм. При этом самоанкерующиеся болты в сборе вставляют в отверстие (рис. 30.1, *в*), выполненное в полу с помощью перфораторов (ИЭ-4709, ИЭ-4712 и др.), затем ударом молотка по оправке или отрезку трубы частично осаживают цангу на конусе болта и затягивают болт гайкой, при этом конус болта еще больше втягивается в цангу и, раздавая ее, обеспечивает заклинивание болта в отверстии пола. Диаметр отверстий под болты и дюбели должен соответствовать наружному диаметру цанг, а также диаметру режущего инструмента, применяемого для образования отверстий в фундаментах и перекрытиях.

Приемку фундаментов под монтаж оформляют актом, подписанным представителями строительной и монтажной организаций, а также представителем технического надзора заказчика. В акте не затрагиваются при этом прочностные характеристики фундамента, поскольку строительная организация, выполнившая его, и после приемки несет полную ответственность за это в течение всего установленного срока эксплуатации.

31. Технология пусконаладочных работ

Пусконаладочные работы включают в себя следующие этапы: ревизия технологического оборудования; испытание на холостых ходах; испытание и наладка под нагрузкой; комплексное опробование оборудования под нагрузкой; освоение проектных мощностей.

Ревизия технологического оборудования проводится заказчиком с целью выявления и устранения дефектов. Ее объем работ зависит от сложности оборудования, сроков и условий его хранения.

К началу испытаний на холостых ходах должны быть смонтированы следующие системы: смазочная, гидравлики, пневматики, охлаждения, управления и контроля, электрооборудования, защитного заземления, автоматики, противопожарной защиты, а также коммуникации для подвода воды, газа, сжатого воздуха и т. д. При подготовке к испытаниям проверяют качество выполнения монтажных работ: точность установки оборудования, наличие ограждений, обеспечивающих безопасную работу, а также наличие смазки в редукторах, затяжку резьбовых соединений и т. д. После этого кратковременным включением электродвигателя в работу проверяют правильность направления вращения его вала и, при необходимости, изменяют на обратное путем перемены местами проводов двух фаз его подключения. При необходимости регулируют натяжение ремней передач винтами или соответствующими натяжными роликами. Индивидуальное опробование оборудования производят вхолостую и под нагрузкой. При испытании вхолостую обкатку машин начинают при малой частоте вращения валов с постепенным увеличением ее до номинальной скорости. Дефекты, обнаруженные во время пусков, устраняют при остановленном приводе, а затем производят повторные включения. Первые пуски делаются кратковременными – от 5 до 8 мин. Продолжительность дальнейшей обкатки на холостом ходу, при нормальных первых пусках, составляет 1–8 ч и более, в зависимости от сложности оборудования.

При ***испытании под нагрузкой*** выполняют отдельные пуски оборудования, в процессе которых постепенно повышают производительность, мощность, давление и т. п. и контролируют те же параметры, что и при испытании вхолостую. Кроме этого контролируют вибрацию отдельных механизмов и машины в целом. После испытаний под нагрузкой проверяют затяжку гаек фундаментных болтов, которые могут расслабиться из-за вибрации. В процессе испытаний присутствуют представители монтажной организации и заказчика, кото-

рые по завершении испытаний подписывают акт приемки оборудования для комплексных испытаний.

Комплексные испытания также проводят сначала на холостом ходу, а затем всю технологическую линию или комплекс переводят на работу под нагрузкой с последующим выводом на устойчивый технологический режим, предусмотренный проектом и обеспечивающий выпуск продукции в установленном объеме.

32. Назначение и основные виды ремонтных работ

Ремонт – это комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности, а также ресурса технологического оборудования.

Технологический процесс ремонта – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния ремонтируемого оборудования, включающая различные выполняемые в определенной последовательности такие ремонтные операции, как: очистка оборудования, разборка, диагностика, ремонт и восстановление деталей, сборка, наладка, испытание и т. д. Его структура и степень расчленения зависят от сложности ремонтируемого оборудования, вида и методов ремонта. Ремонт должен восстанавливать первоначальную производительность и точность, а также обеспечивать длительную и бесперебойную работу оборудования в течение следующего планируемого срока эксплуатации.

Ремонт технологического оборудования выполняется на научной основе в соответствии с положением о ***Единой системе планово-предупредительного ремонта*** (***ППР***). Сущность этой системы ремонта заключается в том, что после отработки каждым агрегатом определенного количества часов производятся профилактические осмотры и различные виды плановых ремонтов агрегата (текущий, средний, капитальный), чередование и периодичность которых определяются назначением агрегата, его конструктивными и ремонтными особенностями, габаритами и условиями эксплуатации. Система ППР предупреждает прогрессирующий износ оборудования, устраняет возможность случайного выхода его из строя, позволяет осуществлять предварительную подготовку ремонтных работ и выполнять их в кратчайшие сроки, а также создает необходимые предпосылки для наиболее эффективного использования оборудования, увеличения

времени его полезной работы, уменьшения интенсивности износа деталей машин, повышения качества ремонтных работ.

Виды технического обслуживания и ремонта оборудования, периодичность их проведения устанавливает изготовитель машин; он же определяет метод проведения технического обслуживания: без остановки или с остановкой производства продукции. Для большинства технологического оборудования установлены: межремонтное обслуживание; профилактические осмотры; текущий, средний и капитальный ремонты.

Межремонтное обслуживание заключается в повседневном наблюдении за выполнением правил эксплуатации, а также в своевременном устранении мелких неисправностей и подрегулировании механизмов. Выполняется во время технологических перерывов в работе оборудования, без нарушения режимов производства.

Профилактический осмотр (О) проводится через определенные установленные промежутки времени и включает в себя следующие основные работы: проверка технического состояния быстроизнашивающихся узлов и деталей при минимальном объеме разборочно-сборочных работ; ремонт и замена деталей, которые не могут проработать до очередного планового ремонта; ремонт систем смазки, охлаждения и др.; проверка состояния привода, крепежных деталей, зубчатых и других видов передач, подшипников, сальников и других деталей; проверка качества межремонтного обслуживания; уточнение объема и срока очередного планового ремонта. Осмотры проводят по установленному графику без нарушения процесса производства (в технологические перерывы, между сменами и в нерабочее время).

Текущий ремонт (Т) – это минимальный по объему вид ремонта, обеспечивающий нормальную эксплуатацию машин (агрегатов) до очередного планового ремонта. Включает частичную разборку машины; подетальную разборку наиболее изношенных и загрязненных узлов, их промывку и очистку; проверку зазоров между валами и втулками, замену изношенных втулок, подшипников, зубчатых колес и других деталей; зачистку задиров и забоин на трущихся поверхностях; ремонт и промывку системы смазки, охлаждения и др.; замену старой смазки, а также выполнение регулировочных работ. Производится на месте установки оборудования.

Средний ремонт (С) – заключается в восстановлении эксплуатационных характеристик машин путем ремонта или замены изношенных узлов и деталей. Включает частичную разборку машины, ка-

питальный ремонт ее отдельных узлов, замену и восстановление изношенных деталей, сборку, регулировку и испытание машины под нагрузкой, а также сдачу ее в эксплуатацию. Проводится с перемещением оборудования на ремонтный участок.

Капитальный ремонт (К) – включает в себя следующий комплекс работ: полная разборка и дефектация машины; замена и ремонт износившихся узлов и деталей, включая базовые; восстановление деталей до размеров, установленных чертежом; выверка, центровка и балансировка узлов и деталей; выверка и ремонт станины или рамы машины с одновременным ремонтом, при необходимости, фундаментов, оснований и опорных конструкций; проверка, очистка и ремонт воздуховодов, трубопроводов, других систем с установленной запорно-регулирующей арматурой; отладка, регулирование или замена приборов автоматического контроля и управления; ремонт защитных устройств, изоляции, ограждений; окраска отдельных частей, а при необходимости, всей машины; сборка машины, комплексная проверка, регулирование ее испытания вхолостую и под нагрузкой. При капитальном ремонте оборудование, как правило, снимают с фундаментов и перевозят на ремонтный участок или специализированное предприятие. При среднем и капитальном ремонтах выполняют восстановление предусмотренных техническими условиями (ТУ) геометрической точности, мощности и производительности машины на срок до очередного планового среднего или капитального ремонта.

Кроме плановых ремонтов, иногда оборудование приходится ремонтировать вне плана. ***Внеплановый ремонт*** выполняется при аварии. К внеплановым ремонтам относится также и ***восстановительный ремонт***. Этому ремонту подвергаются прошедшие ряд капитальных ремонтов и сильно износившиеся уникальные машины. Обычно этот вид ремонта совмещают с модернизацией машины.

Перечень и последовательность выполнения ремонтных работ и работ по технологическому обслуживанию и осмотру в период между капитальными ремонтами или между вводом в эксплуатацию и первым капитальным ремонтом называют ***структурой межремонтного цикла***. Например, штамповочные и упаковочные автоматы, как правило, имеют следующую структуру межремонтного цикла:

К-О-О-Т-О-О-Т-О-О-С-О-О-Т-О-О-Т-О-О-К,

где капитальных ремонтов (К) – 2; средних ремонтов (С) – 1; текущих ремонтов (Т) – 4; профилактических осмотров (О) – 12.

Межремонтным циклом называется период работы оборудования, находящегося в эксплуатации между двумя капитальными ремонтами или от начала ввода в эксплуатацию до первого капитального ремонта.

Период работы оборудования между двумя очередными плановыми ремонтами называют ***межремонтным периодом***, а период работы между двумя очередными осмотрами или между очередным плановым ремонтом и осмотром – называют ***межосмотровым периодом***.

Продолжительность (в месяцах) межремонтных периодов ($П_{мр}$) определяют по формуле

$$П_{мр} = \frac{П_{рц}}{\Sigma С + \Sigma Т + 1},$$

где $П_{рц}$ – ремонтный цикл, в месяцах; ΣС – число средних ремонтов в межремонтном цикле; ΣТ – число текущих ремонтов в межремонтном цикле.

Продолжительность (в месяцах) межосмотровых периодов определяют по формуле

$$П_{мо} = \frac{П_{рц}}{\Sigma С + \Sigma Т + \Sigma О + 1},$$

где ΣО – число профилактических осмотров в межремонтном цикле.

Для проведения ППР на предприятиях применяют следующие технологические методы: индивидуальный, узловой, последовательно-узловой и агрегатный.

Индивидуальный метод ремонта заключается в том, что детали и узлы после снятия с машины ремонтируют и затем вновь устанавливают на машину, что вызывает повышенный простой оборудования в ремонте. Применяется при ремонте одной или нескольких машин.

Узловой метод предусматривает замену требующих ремонта узлов машины отремонтированными, приобретенными или изготовленными заранее. Снятые узлы затем ремонтируют, отлаживают и используют при ремонте следующих машин. Этот метод широко применяется при ремонте однотипного оборудования, имеющегося на предприятии в больших количествах. Обеспечивает сокращение простоя оборудования в ремонте.

Последовательно-узловой метод заключается в ремонте и замене узлов машины не всех сразу, а в зависимости от срока их службы (преимущественно в нерабочее время).

Агрегатный метод заключается в замене машины (агрегата) полностью отремонтированной машиной той же модели, а демонтированную машину отправляют затем в ремонто-механический цех (РМЦ) для планового ремонта. При этом методе требуется обменный фонд оборудования. Преимущества – сокращение времени простоев технологических участков и линий из-за ремонта, возможность механизации ремонтных работ и снижение стоимости ремонта.

Ремонт технологического оборудования на предприятиях обеспечивается цехами и участками отделов главного механика и главного энергетика предприятия.

32.1. Виды ремонтной нормативно-технической документации

Для рациональной эксплуатации и ремонта машин, оборудования и приборов промышленные и ремонтно-обслуживающие предприятия должны иметь следующую техническую документацию:

– руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию, монтажу и ремонту оборудования (на все виды ремонтируемых машин);

– руководство по текущему, среднему и капитальному ремонту;

– номенклатуру и нормы расхода запасных частей на техническое обслуживание и ремонт (ТОР);

– нормы времени на техническое обслуживание, ремонт и восстановление деталей;

– номенклатуру восстанавливаемых деталей;

– нормы расхода материалов и метизов на техническое обслуживание и ремонт;

– ремонтные чертежи деталей и чертежи деталей, изготавливаемых при ремонте;

– технические условия (ТУ) на сдачу в капитальный ремонт и выпуск из ремонта;

– технические требования на ремонт;

– каталог деталей и узлов выпускаемых машин, оборудования и приборов;

– табель ремонтно-технологического оборудования.

К нормативно-технической ремонтной документации, применяемой на предприятиях, относятся также: личная карта машины; журнал планового осмотра оборудования; индивидуальная карта ремонта; сменный цеховой журнал приема-сдачи оборудования; де-

фектная ведомость; альбом чертежей быстроизнашивающихся деталей; график планово-предупредительного ремонта оборудования; акт приема-сдачи оборудования после ремонта.

33. Технологический процесс ремонта оборудования

Технологический процесс ремонта представляет собой наиболее объемную часть производственного процесса. Его структура и степень расчленения зависят от устройства ремонтируемого оборудования, вида и метода ремонта. Схема технологического процесса, например капитального ремонта сложных технологических машин, приведена на рис. 33.1.

Рис. 33.1. Схема технологического процесса капитального ремонта машин

Наиболее важными операциями технологического процесса ремонта оборудования являются: очистка оборудования; разборка; дефектация деталей; ремонт деталей и узлов; сборка узлов, агрегатов и оборудования в целом; обкатка и испытание отремонтированного оборудования.

Для ***очистки оборудования*** применяют ветошь, щетки, шланговую очистку теплой водой или моющим раствором. Наиболее целесообразно для наружной очистки применять передвижные моечные машины высокого давления, обеспечивающие подачу струи воды под давлением до 10 МПа с расходом 1 $м^3$/ч. Очистка загрязненной поверхности осуществляется при этом за счет силы удара струи, выходящей из монитора машины с большой скоростью, а необходимую форму струи формируют за счет соответствующих сменных насадок. Для удаления особо прочных загрязнений к монитору подсоединяют пескоструйный инжектор, через который в струю воды добавляются твердые абразивные частицы песка или другого абразивного сыпучего материала.

Трудоемкость ***разборочно-сборочных работ*** составляет свыше 50 % от общей трудоемкости ремонта оборудования. Последовательность разборки должна соответствовать технологической карте или инструкции. Вначале снимают легко повреждаемые и защитные части (электрооборудование, трубопроводы, шланги, кожухи, тяги и т. п.), затем – самостоятельные узлы и агрегаты, которые моют и разбирают на детали. Некоторые узлы и агрегаты, требующие специфической технологии ремонта (электрооборудование, гидравлическая аппаратура, баки, рамы и т. п.), не разбирают, а отправляют на соответствующие рабочие места, где их проверяют и ремонтируют. Во время разборки нельзя разукомплектовывать детали, которые при изготовлении обрабатывают в сборе или балансируют.

Дефектация – это оценка технического состояния деталей с целью определения пригодности их к дальнейшей работе или необходимости восстановления. При этом руководствуются техническими требованиями на ремонт каждого вида оборудования, в которых указаны краткая характеристика и возможные дефекты деталей, нормальные и допустимые размеры, другие параметры, а также применяемые средства контроля. При отсутствии технических требований руководствуются инструкциями по эксплуатации оборудования и другими документами. Нормальными называют размеры и другие параметры, соответствующие рабочим чертежам, допустимыми – при

которых остаточный ресурс детали не меньше межремонтного ресурса агрегата, и она может быть поставлена на него без восстановления с гарантией удовлетворительной работы до очередного ремонта. Контролируют обычно только те размеры и параметры, которые могут изменяться при эксплуатации машины.

Комплектование деталей включает в себя сортирование, подбор для сборки соединений в соответствии с техническими требованиями, комплектование по номенклатуре и количеству в соответствии с принадлежностью к агрегатам и узлам, раскладку в технологическую тару, доставку комплектов на место сборки.

Последовательность ***сборки оборудования*** зависит от его конструкции и выполняется в порядке, обратном разборке. При этом необходимо следить за тем, чтобы предшествующие операции не затрудняли выполнение последующих. Детали, поступающие на сборку, должны быть чистыми, не иметь коррозии, заусенцев, забоин, задиров и других дефектов. При их наличии поверхности исправляют. Резьбовые поверхности перед сборкой смазывают. Перед монтажом подшипников качения их тщательно промывают дизельным топливом и смазывают. Очищают и смазывают маслом также посадочные поверхности вала и корпуса. Для облегчения запрессовки подшипника его подогревают в масляной ванне до температуры 90 ^{o}С. Неразъемные соединения с гарантированным натягом по способу сборки условно разделяют на продольно-прессовые и поперечно-прессовые. Первые собирают запрессовкой охватываемой детали (вала) в охватывающую (втулку) или наоборот, в продольном направлении, вторые – путем нагревания охватывающей детали, охлаждения охватываемой или комбинированным способом (нагрев и охлаждение). Прочность соединения во втором случае значительно больше, чем при механической сборке. Требуемое усилие, обеспечивающее запрессовку, приближенно можно вычислить по следующей формуле:

$$P_з = \frac{10^4 К_р \left(\frac{d_н}{d} + 0{,}3 \right) NL}{\frac{d_н}{d} + 41},$$

где $P_з$ – усилие запрессовки, Н; $d_н$ – наружный диаметр охватывающей детали (ступицы), мм; d – номинальный диаметр соединения, мм; N – величина натяга в соединении, мм; L – длина соединения (ступицы), мм; $К_р$ – коэффициент: $К_р = 7$ – для стали; $К_р = 4{,}3$ – для чугуна.

Температура нагрева охватывающей детали, необходимая для сборки поперечно-прессовых соединений, определяется по формуле

$$t_{н} \geq \frac{N К_t}{\alpha d},$$

где $t_{н}$ – температура нагрева, °С; N – величина натяга в соединении, мм; α – коэффициент линейного расширения материала нагреваемой детали, мм/м · град.; d – номинальный диаметр соединения, мм; $К_t$ = 1,2–1,3 – коэффициент, учитывающий охлаждение детали во время ее установки перед запрессовкой.

Температуру же охлаждения охватываемой детали, необходимую для сборки поперечно-прессовых соединений, определяют по формуле

$$t_{ох} = \frac{N + \Delta}{\alpha d}, \text{ °C}$$

где Δ – минимальный зазор, необходимый для свободного введения детали в отверстие и компенсации ее расширения за счет частичного нагревания при установке, мм; значение Δ зависит от диаметра соединения и времени, затрачиваемого на посадку детали.

Обкатка и испытание оборудования. Цель обкатки – приработать поверхности трения с наименьшим их износом, что повышает долговечность оборудования. Отремонтированное оборудование вначале обкатывают на холостом ходу, а затем под нагрузкой. Режимы обкатки конкретных видов машин указываются в паспорте завода-изготовителя.

После обкатки оборудование подвергают испытаниям в соответствии с требованиями, указанными в паспорте завода-изготовителя. Сосуды, аппараты и трубопроводы испытывают на прочность и герметичность. Вид, способ и продолжительность испытаний принимают в соответствии с технической документацией. Если ее нет или в ней отсутствуют указания, давление во время испытаний принимают в соответствии со СНиП «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы». Испытание пластмассовых трубопроводов на прочность и герметичность проводят не ранее 24 ч после их сварки или склеивания. При пневматических испытаниях давление поднимают постепенно со следующих уровней: при достижении 60%-го давления для трубопроводов, работающих при давлении до 0,2 МПа; и 30 и 60%-го – эксплуатируемых при рабочем давлении выше 0,2 МПа.

Под ***ремонтным восстановлением деталей*** понимают комплекс технологических операций по устранению дефектов, в результате которых обеспечивается возобновление их работоспособности и геометрических параметров, установленных нормативно-технической документацией.

33.1. Технология и способы восстановления деталей

Неисправности машин появляются в результате постепенного или внезапного снижения физико-механических свойств материала деталей, их истирания, деформирования, смятия, коррозии, старения, перераспределения остаточных напряжений и других причин, вызывающих износ и разрушение. При этом происходят также изменения в сопряжениях деталей, например, такие как чрезмерное увеличение заданных зазоров в подвижных соединениях или снижение натягов в неподвижных. Для восстановления же работоспособности изношенных деталей требуется в 2–4 раза меньше технологических операций по сравнению с изготовлением новых. В результате достигается экономия высококачественного металла, топлива, энергетических и трудовых ресурсов, более рациональное использование природных ресурсов и уменьшение негативных воздействий на окружающую среду.

Основные неисправности деталей машин, возникающие в процессе их эксплуатации, можно разделить на следующие три характерные группы:

– износы (истирание поверхностей в сопрягающихся подвижных соединениях);

– механические повреждения (трещины, пробоины, риски, задиры, выкрашивания, поломки, вмятины, изгибы, скручивание);

– химико-тепловые повреждения (коробления, изменение макроструктуры материала, коррозия и др.).

В настоящее время разработаны и реализованы в производственных условиях десятки различных способов восстановления деталей, выбор которых производится исходя из разновидности устраняемых дефектов, требований к восстановленным деталям с учетом условий их работы в сопряжениях, а также технического, экономического и организационного анализа производственной программы, оснащенности предприятия, обеспеченности материалами, энергией, рабочей силой и т. д. В обобщенном виде технологический процесс

восстановления изношенных деталей включает в себя следующие основные этапы:

– приемка деталей на восстановление;
– очистка деталей от загрязнений;
– дефектация и сортировка деталей;
– восстановление работоспособности деталей;
– контроль качества восстановления.

Наиболее же широко применяемые способы восстановления работоспособности деталей и их технические возможности следующие:

Сварка (ручная дуговая, аргонодуговая, газовая, трением и др.) – применяется для заварки трещин, поверхностных дефектов, приварки обломков.

Наплавка (дуговая, контактная, газовая, плазменная, жидким металлом) – применяется для наплавки изношенных поверхностей, в том числе износостойкими металлами и сплавами.

Нанесение газотермических покрытий (плазменное и пламенное порошковыми материалами) – применяется для повышения износостойкости и защитных свойств восстанавливаемых поверхностей.

Холодное пластическое деформирование (раздача, вытяжка, раскатка, осадка, правка, накатка, обжим, чеканка и др.) – восстановление изношенных поверхностей и формы деталей.

Горячее пластическое деформирование (давление в закрытом штампе, гидротермическая раздача, термопластический обжим, ротационное деформирование и др.) – восстановление изношенных поверхностей и формы деталей, а также восстановление профиля зубчатых, шлицевых и других аналогичных поверхностей.

Гальванические процессы (железнение, хромирование, никелирование, цинкование, меднение, кадмирование и др.) – восстановление поверхностей с малым износом (0,2–0,5 мм), повышение прочности и коррозионной стойкости поверхности деталей.

Нанесение полимерных материалов (напылением, газопламенным способом, в электростатическом поле, центробежным намазыванием, шпателем, кистью, валиком, литьем, под давлением, опрессовкой) – восстановление формы поверхностей облицовок и оперений, восстановление антифрикционных, электроизоляционных и декоративных покрытий, восстановление герметичности соединений.

Применение ремонтных размеров (индивидуальных, категорийных) – обработка под ремонтный размер с сопрягаемой деталью.

Применение дополнительных деталей (обрезка и приварка быстроизнашивающихся элементов, бандажирование, постановка и приварка втулок и вкладышей и т. д.) – восстановление рабочих органов почвообрабатывающих и других аналогичных машин, восстановление размеров профильных поверхностей, отверстий, устранение трещин.

Проведение химико-термических процессов (цементация, азотирование, диффузионное хромирование в вакууме и др.) – поверхностное упрочнение деталей и восстановление размеров с износом до 0,02 мм.

Электромеханическая обработка (высаживание и выглаживание) – восстановление поверхностей неподвижных сопряжений с износом до 0,2 мм.

Электрофизическая обработка (электроконтактная подводная, электроабразивная, электроэрозионная) – обработка наплавленных поверхностей с высокой твердостью.

Электрохимическая обработка (анодно-механическая, абразивным инструментом с принудительной подачей электролита и др.) – обработка наплавленных поверхностей с высокой твердостью.

Пайка – восстановление герметичности соединений и трубопроводов, восстановление инструмента.

Термическая обработка (отпуск, нормализация, отжиг, закалка, улучшение) – восстановление физико-механических характеристик и структуры материала, упрочнение.

Кроме перечисленных способов обработку наплавленных (восстановленных) поверхностей производят также всеми видами рассмотренных ранее лезвийных и абразивных инструментов. Часто детали обрабатывают этими методами и в процессе подготовки их изношенных поверхностей под восстановление.

Литература

1. Махаринский, Е. И. Основы технологии машиностроения : учебник / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов. – Минск : Выш. шк., 1997. – 423 с.

2. Мосталыгин, Г. П. Технология машиностроения / Г. П. Мосталыгин, М. М. Толмачевский. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.

3. Ковшов, А. Н. Технология машиностроения / А. Н. Ковшов. – М. : Машиностроение, 1987. – 320 с.

4. Мещерин, В. Г. Технология производства кузнечно-штамповочного оборудования и штамповой оснастки : учеб. пособие / В. Г. Мещерин, Д. В. Чарнко. – М. : Машиностроение, 1961. – 375 с.

5. Мендельсон, В. С. Технология изготовления штампов и пресс-форм / В. С. Мендельсон, Л. И. Рудман. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1982. – 207 с.

6. Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования перерабатывающих отраслей АПК : справочник / А. Н. Батищев [и др.]. – М. : Информагротех, 1997. – 288 с.

7. Кузьминцев, В. Н. Ремонт кузнечнопрессового оборудования : учеб. пособие / В. Н. Кузьминцев. – М. : Высш. шк., 1974. – 200 с.

8. Егоров, М. Е. Технология машиностроения : учебник / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. – М. : Высш. шк., 1976. – 534 с.

9. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / В. С. Корсаков [и др.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 304 с.

10. Медведев, В. А. Проектирование оснастки для обработки штампов и пресс-форм / В. А. Медведев. – М. : Машиностроение, 1982. – 173 с.

11. Палей, М. М. Технология производства приспособлений, пресс-форм и штампов / М. М. Палей. – М. : Машиностроение, 1971. – 344 с.

12. Молодык, М. В. Восстановление деталей машин : справочник / М. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.

13. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.

14. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / под общ. ред. В. А. Волосатова. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1988. – 719 с.

15. Балабанов, А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А. Н. Балабанов. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 464 с.

16. Белькевич, Б. А. Справочное пособие технолога машиностроительного завода / Б. А. Белькевич, В. Д. Тимашков. – Минск : Беларусь, 1972. – 640 с.

17. Анисимов, М. И. Ремонт и монтаж кузнечнопрессового оборудования : справ. пособие / М. И. Анисимов, О. В. Кудинов, Б. П. Украинцев. – М. : Машиностроение, 1973. – 624 с.

18. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 110 с.

19. Короткевич, В. Г. Проектирование инструмента для пластического деформирования : учебник / В. Г. Короткевич : под ред. С. Б. Сарело. – Минск : Выш. шк., 2000. – 83 с.

20. Технологичность конструкции изделия : справочник / под общ. ред. Ю. Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 768 с.

21. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов : справочник / В. И. Баранчиков [и др.] ; под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.

22. Молодык, Н. В. Восстановление деталей машин : справочник / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.

23. Аксенов, Ю. М. Машины и оборудование машиностроительных предприятий : учеб. для инженер.-экон. специальностей вузов / Ю. М. Аксенов, В. А., Салтыков, В. Г. Семин. – Л. : Политехника, 1991. – 365 с.

24. Шипинский, В. Г. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Технология производства кузнечно-штамповочного оборудования и штамповой оснастки» для студентов специальности 1204. – Гомель : ГПИ, 1994. – 60 с.

25. Шипинский, В. Г. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Технология изготовления, монтажа и ремонта кузнечно-прессового оборудования и штампов» для студентов специальности Т02.02.02. Ч. 1. – Гомель : ГПИ, 1996. – 38 с.

26. Шипинский, В. Г. Практическое руководство к лабораторным занятиям по дисциплине «Технология изготовления, монтажа и ремонта кузнечнопрессового оборудования и штампов» для студентов специальности Т02.02.02. Ч. 2. – Гомель : ГПИ, 1997. – 47 с.

Оглавление

Введение 3
1. Основные понятия об изделии и структуре технологического процесса 5
2. Характеристика машиностроительного производства 8
3. Точность изделий и способы ее обеспечения в производстве 10
4. Понятие о достижимой и экономической точности 13
5. Качество поверхностей деталей машин 14
6. Факторы, влияющие на качество обработанной поверхности 20
7. Базы и погрешность установки заготовок на станках 22
7.1. Понятие о схеме базирования и опорных точках 24
7.2. Погрешности установки заготовки 25
8. Факторы, влияющие на точность обработки 27
8.1. Упругие деформации и жесткость технологической системы 27
8.2. Размерный износ режущего инструмента 29
8.3. Погрешности настройки станка и инструмента на размер 30
8.4. Тепловые деформации технологической системы 31
8.5. Факторы, обуславливающие суммарную погрешность формы $\Sigma\Delta_{\Phi}$ 31
9. Определение суммарной погрешности механической обработки 33
10. Анализ параметров качества изделий с помощью методов математической статистики 35
10.1. Метод кривых нормального распределения 35
10.2. Метод точечных диаграмм и малых выборок 37
11. Припуски на обработку заготовок 38
11.1. Методы определения припусков на обработку 40
12. Методы получения заготовок 43
12.1. Характеристика методов получения заготовок литьем 43
12.2. Характеристика методов получения заготовок обработкой давлением 45
12.3. Характеристика методов получения заготовок из сортового проката 48
12.4. Методы получения заготовок порошковой металлургией 49
12.5. Методы получения заготовок и деталей машин из пластмасс 50
13. Методы обработки заготовок лезвийными инструментами 52
14. Методы обработки абразивными инструментами 59
14.1. Характеристика абразивных инструментов 65
15. Методы обработки без снятия стружки 67
16. Методы обработки концентрированными потоками энергии 71
17. Покрытия лакокрасочные, гальванические, окисными и пластмассовыми пленками 82
17.1. Лакокрасочные поверхностные покрытия 82

17.2. Металлические покрытия 89
17.3. Неметаллические неорганические покрытия..... 91
17.4. Пластмассовые и резиновые покрытия 92
18. Методы выполнения основных видов сборочных соединений..... 93
18.1. Основные виды сборочных соединений..... 96
18.2. Сварные неразъемные соединения 100
18.3. Паяные неразъемные соединения 105
19. Общие понятия о технологичности изделий..... 107
20. Основные принципы системы классификации
и кодирования деталей..... 111
21. Проектирование технологических процессов изготовления
деталей..... 113
21.1. Построение операций технологического процесса..... 116
21.2. Проектирование групповых технологических процессов..... 118
22. Проектирование технологических процессов сборки машин 119
22.1. Составление технологических схем сборки изделия..... 123
22.2. Основные показатели сборки 126
23. Виды технологической документации и правила ее оформления 127
23.1. Формы и правила оформления маршрутных карт 133
24. Краткие сведения по приспособлениям для механосборочного
производства 137
25. Краткие сведения о средствах автоматизированного
проектирования технологических процессов..... 143
26. Технология изготовления типовых деталей 146
26.1. Технология изготовления эксцентриковых и коленчатых
валов 146
26.2. Технология изготовления зубчатых колес 148
26.3. Методы нарезания зубчатых колес и отделки зубьев 150
27. Технология изготовления инструментальной оснастки..... 155
27.1. Технология изготовления штампов для холоднолистовой
штамповки..... 157
28. Организационно-технологическая подготовка работ по монтажу
оборудования 163
29. Технические средства для проведения монтажных работ..... 167
30. Способы установки и крепления оборудования 172
31. Технология пусконаладочных работ..... 175
32. Назначение и основные виды ремонтных работ..... 176
32.1. Виды ремонтной нормативно-технической документации..... 180
33. Технологический процесс ремонта оборудования 181
33.1. Технология и способы восстановления деталей..... 185
Литература 188

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Шипинский Владимир Георгиевич

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, МОНТАЖА И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ

Курс лекций

Электронный аналог печатного издания

Редактор *А. В. Власов*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 09.10.12.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 11,73.
Изд. № 41.
http://www.gstu.by

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр Учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».
ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48