Содержание.

1. Зубчатые механизмы	3
1.1. Возможности по преобразованию вида движения, изменению скорости, достоинства, недостатки зубчатых механизмов	
1.2. Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, недостатки разных видов зубчатых передач	1
1.3. Геометрические параметры цилиндрических прямозубых колес и передач. Передаточное отношение зубчатых передач	
1.4. Применение зубчатых передач в приборостроении11	L
2. Неразъемные соединения12	1
2.1. Паяные соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение	<u> </u>
2.2. Сварные соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение	4
2.3. Клеевые и заклепочные соединения. Виды, достоинства, недостат- ки, применение16	
2.4. Соединения заформовкой. Достоинства, недостатки18	3
3. Конструкционные материалы19	Э
3.1. Сплавы на основе железа. Чугуны. Стали. Классификация сталей, марки сталей. Применение в механических устройствах (валы, зубчатые коле са, крепеж)	
3.2. Сплавы на основе меди и алюминия. Классификация, обозначение достоинства и недостатки. Применение сплавов как конструкционных материалов в механических устройствах (упругие элементы, опоры)	
3.3. Неметаллические материалы. Виды, свойства, применение термо-	
пластов и термореактивных пластмасс. Достоинства и недостатки пластмасс. Применение резины, бумаги, композиционных (зубчатые ремни) материалов	
4. Решение задачи	
5. Список использованной литературы47	

1. Зубчатые механизмы

Зубчатая передача в современных машинах является наиболее распространенной из всех механических передач. Она отличается наибольшей универсальностью — может применяться в широком диапазоне мощностей и скоростей, начиная с передач часовых механизмов и приборов и кончая судовыми передачами мощностью до 50000 кВт, от самых тихоходных и до передач, работающих с окружной скоростью 150 м/сек. Обычно применяются зубчатые пары с передаточными числами до 8. Комбинация нескольких зубчатых пар в одном агрегате-редукторе позволяет получить передаточные числа, достигающие нескольких сот или даже тысяч (в планетарных схемах).

1.1. Возможности по преобразованию вида движения, изменению скорости, достоинства, недостатки зубчатых механизмов.

Зубчатые передачи применяются для преобразования вращательного движения между валами, которые могут иметь параллельные, пересекающиеся и скрещивающиеся оси, а также преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

Все механизмы, состоящие из зубчатых колес, подразделяются на редукторы и мультипликаторы. Редукторы предназначены для понижения числа оборотов ведущего звена и увеличения крутящего момента. Мультипликаторы — наоборот, для повышения числа оборотов, при этом уменьшается передаваемый крутящий момент.

В паре зубчатых колес меньшее зубчатое колесо называется шестерней, а большее – колесом; термин "зубчатое колесо" является более общим.

По сравнению с цепными, ременными и фрикционными передачами зубчатые передачи обладают следующими преимуществами:

- 1. Компактность передачи.
- 2. Наиболее высокий коэффициент полезного действия.
- 3. Большая долговечность. Зубчатая передача, хорошо выполненная и работающая в герметически закрытом корпусе,

может работать десятки лет без износа.

- 4. Надежность работы в самых разнообразных и даже очень тяжелых условиях.
 - 5. Простота ухода в эксплуатации.
 - 6. Малые нагрузки на валы и опоры.
 - 7. Неизменность передаточного числа.

Недостатками зубчатых передач являются:

- 1. Высокие требования к точности изготовления.
- 2. Большой шум. Зубчатую передачу можно выполнить бесшумной, но это требует очень квалифицированного изготовления.

- 3. Передача не смягчает, как ременная передача, толчки, и вибрации, возникающие в рабочей машине или двигателе. Наоборот, она сама может являться источником вибраций.
- 4. Передача не может служить предохранительным звеном, как ременная передача, предупреждающим поломку деталей и узлов машин при перегрузках.
- 5. Большие габариты при необходимости выполнения относительно большого расстояния между осями.
 - 6. Невозможность обеспечить бесступенчатое регулирование скорости.

1.2. Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, недостатки разных видов зубчатых передач.

По конструкции зубчатые передачи различают: открытые и закрытые.

<u>Открытые передачи</u> не защищены от попадания абразивной пыли; смазка периодическая. Валы смонтированы в отдельных агрегатах, не связанных жесткой рамой или корпусом. Передачи грубые, долговечность малая. Ранее были очень распространены, но в значительной степени вытеснены закрытыми передачами.

Применяются передачи, защищенные кожухом и работающие в масляной ванне. Защита не герметическая и потому износ также значительный. Точность монтажа низкая.

Передачи закрытые работают в жестком литом или сварном корпусе, хорошо защищены. Смазка окунанием или поливанием под давлением. Точность монтажа высокая, обеспечивается механической обработкой корпусов.

По скорости зубчатые передачи делятся на следующие:

- 1. Весьма тихоходные при окружной скорости $v \le 0.5$ м/сек;
- 2. Тихоходные v = 0.5 3 м/сек;
- 3. Среднескоростные v = 3 15 м/сек;
- 4. Скоростные v = 15 40 м/сек;
- 5. Высокоскоростные -v > 40 м/сек.

<u>По расположению валов и форме начального тела</u>. Зубчатые передачи могут применяться при параллельных, пересекающихся и перекрещивающихся валах.

<u>Передачи с параллельными валами</u> осуществляются цилиндрическими колесами. Являются наиболее распространенными. Выполнить эти передачи проще, чем остальные виды зубчатых передач. Для передач большой мощности применяются только они.

По виду зацепления передачи с параллельными валами могут быть выполнены: с внешним зацеплением (рис. 1, 2), с внутренним зацеплением (рис.5). Разновидностью внешней зубчатой передачи, в которой диаметр одного зубчатого колеса увеличен до бесконечности является реечное зацепление, состоящее из зубчатой рейки и колеса (рис.6).

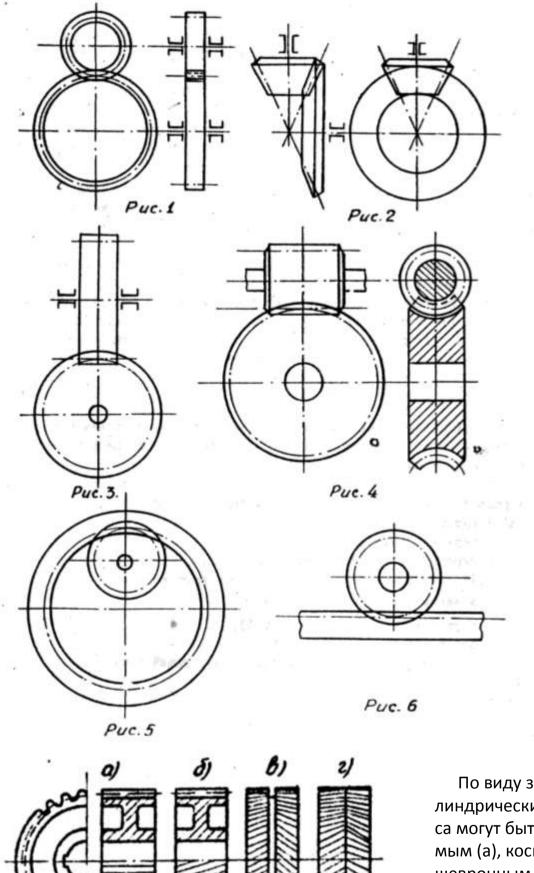


Рис. 7

По виду зуба цилиндрические колеса могут быть с прямым (а), косым (б) и шевронным (в, г) зубом (рис. 7).

Прямозубые передачи наиболее

просты в изготовлении, не создают при работе осевых усилий. Износ зуба равномерный по длине. Допускают шлифование рабочей поверхности. Их недостатки: значительный шум, большие динамические нагрузки, возникающие в результате наличия погрешностей изготовления.

Применяются прямозубые передачи при индивидуальном производстве для тихоходных передач. При массовом производстве и применении шлифованных колес большой твердости могут ставиться и в передачи средней быстроходности.

Косозубые колеса работают плавнее прямозубых, с меньшими динамическими нагрузками и с меньшим шумом. Нагрузочная способность их выше. Недостатки косозубых колес — наличие осевых сил, неравномерный износ по высоте, и вследствие этого, неравномерное распределение нагрузки по контактной линии, требуют более точного выполнения зуба по профилю.

Применяются косозубые передачи при средних и больших скоростях; для v <0,5 м/сек выполнять их нецелесообразно.

Шевронные колеса обладают всеми достоинствами косозубых колес и кроме того в них отсутствуют осевые усилия. Благодаря большему углу наклона зуба работают плавнее косозубых. Применяются преимущественно для передач средней и большой мощности.

<u>Передачи с пересекающимися осями валов</u>(рис.2) выполняются коническими колесами. В изготовлении и монтаже они сложнее цилиндрических передач и поэтому применяются значительно меньше, преимущественно для малых и средних мощностей.

По виду зуба конические колеса могут быть с прямым (а), косым тангенциальным (б) или криволинейным круговым (в) зубом (рис. 8).

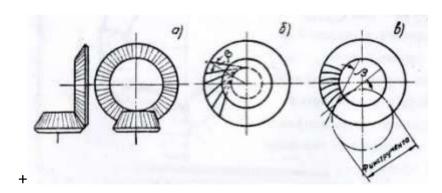
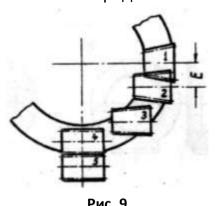


Рис. 8

Сравнительная характеристика косозубых и прямозубых конических передач та же, что и цилиндрических передач. Колеса с прямым и косым зубом применяются в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Колеса с криволинейным зубом — в массовом производстве, так как требуют для своего изготовления специальных станков, сложных в наладке.

<u>Передачи с перекрещивающимися осями</u>(рис.3, 4) могут быть осуществлены колесами с начальными телами:

- цилиндрическими винтовые передачи;
- коническими гипоидные и спироидные передачи;
- тороидными тороидные и тороидно-дисковые передачи;
- цилиндрическим или глобоидным в паре с тороидным червячные передачи.



Винтовые передачи могут выполняться при перекрещивании осей валов под любым углом. Контакт зубьев у них в одной точке. Точечный контакт и большое скольжение ведет к очень быстрому износу. Применяются преимущественно для малых мощностей и главным образом для кинематических, а не силовых передач. Примером могут служить передачи приводов к спидометру, к масляному насосу и к прерывателю- распределителю в автомобиле.

На рис. 9 дана трансформация конической передачи 1 в гипоидную 2, спироидную 3, в тороидно-дисковую 4 и червячную 5. Гипоидные передачи применяются в ряде случаев, когда необходимо осуществить передачу при перекрещивающихся осях с малым смещением E (рис. 9). Например, замена в заднем мосте автомобилей простой конической передачи гипоидной позволила понизить центр тяжести всего автомобиля. По сравнению с коническими гипоидные передачи выдерживают большие нагрузки и, благодаря лучшим условиям приработки, работают более плавно, с меньшим шумом. Зубья гипоидных передач могут быть косыми или криволинейными. Контакт обычно точечный, но может быть и линейный. Зубья работают со значительным скольжением, причем скорость скольжения направлена почти по контактной линии. Последнее обстоятельство ухудшает условия смазки и приводит к заеданию рабочих поверхностей. Вследствие этого гипоидная передача может работать только с применением специальных противозадирных смазок с сернистыми присадками.

Передачи спироидные, тороидные, тороидно-дисковые и червячные относятся к типу зубчато-винтовых передач с линейным контактом зубьев. Все они отличаются плавностью и бесшумностью работы, допускают большие передаточные числа, но им свойственно значительное скольжение, пониженный к.п.д.

По величине передаваемого крутящего момента передаче делятся на силовые, приборные и отсчетные. По величине допусков на изготовление зубчатые передачи подразделены по ГОСТу на 12 степеней точности. В приборах и механизмах РЭА обычно используются зубчатые колеса 6 — 8-й степени точности;

Зубчатые передачи продолжают совершенствоваться. Разрабатываются новые высокопроизводительные методы изготовления: протяжка, накатка зубьев, обработка многорезцовой коронкой. Совершенствуются упрочняющие операции, доводочные процессы; внедряются новые материалы, в частности пластмассы. Одновременно разрабатываются и внедряются новые виды зацеплений, совершенствуются конструкции передач, разрабатываются улучшенные виды масел, обеспечивающих большую долговечность передач. Ведется большая работа по уточнению и совершенствованию методов расчета передач.

1.3. Геометрические параметры цилиндрических прямозубых колес и передач. Передаточное отношение (число) зубчатых передач.

Основными требованиями, предъявляемыми к зубчатым передачам, являются: постоянство отношения угловых скоростей сопряженных колес, возможность изготовления рабочих поверхностей зубьев с высокой точностью простыми методами обработки металла. Форма зубьев колес должна в наибольшей мере соответствовать требованиям прочности и выносливости при действии переменных нагрузок.

До настоящего времени таким требованиям удовлетворяют зубья с эвольвентным профилем. В последнее время начинают находить применение передачи с новым зацеплением М. Л.Новикова.

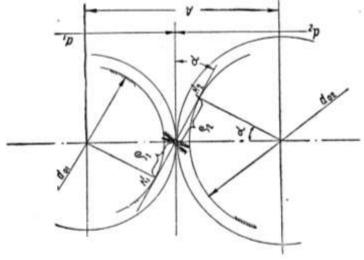


Рис. 10

Движение сопряженных колес с эвольвентным профилем можно представить, как качение начальных окружностей пары без скольжения. Начальные окружности с диаметрами d_1 и d_2 (см. рис. 10) касаются в точке, называемой полюсом зацепления. Линия N_1N_2 , составляющая угол α с общей касательной начальных окружностей, называется линией зацепления, а угол α — углом зацепления. Окружности с диаметрами d_{01} и d_{02} называются основными окружностями. Радиус основной окружности равен перпендикуляру, опущенному из центра колеса на линию зацепления. Эвольвентный профиль рабочей поверхности зуба получается как развертка основных окружностей пары

или в результате качения без скольжения линии зацепления по основной окружности. При таком построении сопряженных профилей зубьев, в случае точного изготовления колес, их точка контакта в процессе работы перемещается по линии зацепления. А нормали к поверхностям зубьев в точках контакта совпадают с линией зацепления.

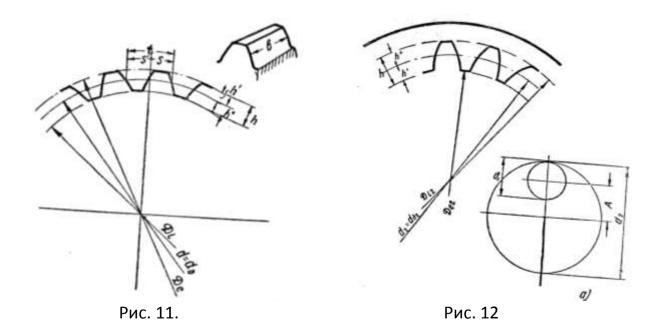
Таким образом форма эвольвенты зависит только от величины диаметра основной окружности. Одна и та же эвольвента может являться профилем боковой поверхности для зубьев различной величины. Эвольвентная форма зуба возможна только за пределами основной окружности.

Радиусы кривизны эвольвенты в полюсе зацепления ρ_1 и ρ_2 (см. рис. 10) определяются по формуле

$$\rho_1 = \frac{d_1}{2} \sin \alpha \quad \text{if } \rho_2 = \frac{d_2}{2} \sin \alpha. \tag{1}$$

Сила нормального давления на рабочую поверхность зуба, вызывающая перемещение колес, направлена вдоль линии зацепления. Угол, образованный линией зацепления с касательной к окружности, проведенной из центра колеса через точку контакта, называется углом давления. Величина угла давления по мере перемещения точки контакта по линии зацепления изменяется, а в полюсе зацепления равна углу зацепления α .

Прямозубые цилиндрические колеса выполняются с наружным (рис. 11) и внутренним зацеплением (рис. 12). Зубчатый венец колеса с наружным зацеплением нарезается на наружной поверхности заготовки параллельно оси колеса, а с внутренним зацеплением — на внутренней поверхности.



На начальной окружности располагаются *Z* зубьев. Расстояние, измеренное между одноименными профилями соседних зубьев по дуге окружности,

называемой делительной, есть шаг t. В нормальных зубчатых колесах диаметр делительной окружности d_{∂} равен диаметру начальной окружности d (см. рис. 11). Отношение шага t к π , обозначаемое m, называется модулем. Модуль является основным размером зубчатых колес, его величина стандартизирована и приведена в ОСТ 1597. Значения m в m по ОСТу 1597—2; 2,25; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10 и др.

Диаметр делительной окружности определится так (см. рис. 11):

$$\pi d_{\mathrm{A}} = Z \cdot t$$
 или $d_{\mathrm{A}} = Z \frac{t}{\pi} = Zm$, т. к. $\frac{t}{\pi} = m$. (2)

Делительная окружность делит зуб на головку и ножку.

Высота головки h' откладывается от делительной окружности от центра колеса и равна m, откуда диаметр окружности выступов (головок) D_e равен

$$D_e = d_{\pi} + 2h' = Zm + 2m = m(Z + 2). \tag{3}$$

Высота ножки h'' откладывается от делительной окружности к центру колеса и равна 1,25m, где величина h'' - h' = 0,25m есть радиальный зазор.

Отсюда диаметр окружности впадин

$$D_i = d_n - 2h'' = mZ - 2.5m = m(Z - 2.5).$$
 (4)

В некоторых случаях применяются колеса с укороченным зубом, у которых высота головки зуба равна 0,8*m* и высота ножки *m*. Толщина зуба *S*, измеренная по дуге делительной окружности, при высокой точности изготовления колес равняется толщине впадины, измеренной по той же дуге. Такое зацепление называется беззазорным. При меньшей степени точности (7...10 по ГОСТу 1643—56) ширина впадины делается несколько более толщины выступа, вследствие чего между нерабочими поверхностями зубьев появляется боковой зазор.

Длина зуба b прямозубых колес равна ширине заготовки и выбирается в зависимости от условий работы по модулю $b = \psi m$ или межосевому расстоянию передачи $b = \psi_A A$,

$$A = \frac{d_2 + d_1}{2} = m \frac{Z_2 + Z_1}{2},\tag{5}$$

где d_2 — диаметр начальной окружности колеса и d_1 —диаметр начальной окружности шестерни. Согласно ГОСТу 2185—55 коэффициент ширины ψ_A шестерни берется в пределах от 0,2 до 1,2. Для редукторов с легким режимом работы ψ_A = 0,2...0,3, для среднего режима ψ_A = 0,3...0,5, для редукторов, работающих на тяжелом режиме, ψ_A = 0,5...1,2, для коробок скоростей ψ_A = 0,1...0,2 и для открытых передач, где точность сборки и жесткость валов недостаточны, ψ_A < 0,3.

Связь между ψ_A и ψ можно получить из равенства $b=\psi_A\cdot A=\psi m$, откуда $\psi=\psi_A\frac{A}{m}$ после замены A по формуле 5 получим:

$$\psi = \psi_A \frac{Z_2 + Z_1}{2}.$$
 (6)

Профиль зубьев колес с внутренним зацеплением строится так же, как и в колесах с наружным зацеплением. Но в данном случае меньшее колесо — шестерня, имеющее зубья на наружной поверхности, сцепляется с колесом, у которого зубья нарезаны на внутренней поверхности, вследствие чего очертания выступа большого колеса соответствуют профилю впадины такого же колеса с наружным зацеплением и зуб большого колеса пары имеет вогнутую поверхность. Так как головка колеса, нарезанного на внутренней поверхности, откладывается к центру, то выражения для диаметров окружностей выступов и впадин будут иметь вид (см. рис. 12):

$$D_{e_2} = m(Z-2) \text{ in } D_{i_2} = m(Z+2.5).$$
 (7)

Нормальная работа пары колес с внутренним зацеплением возможна при условии, что разность числа зубьев колеса Z_2 и шестерни Z_1 будет не менее 10. Межосевое расстояние зубчатой пары с внутренним зацеплением (рис. 12a):

$$A = \frac{d_2 - d_1}{2} = m \frac{Z_2 - Z_1}{2}.$$
(8)

Передаточным числом передачи называют отношение числа оборотов в минуту ведущего звена передачи к числу оборотов ведомого звена.

Передачи выполняются в виде отдельных устройств: редуктора, вариаторов, коробки скоростей или узла машины. Передачи возможны с постоянным передаточным числом, с передаточным числом, изменяющимся ступенями — коробки скоростей или непрерывно — вариаторы.

1.4. Применение зубчатых передач в приборостроении.

Использование зубчатых передач позволяет осуществить приводы с минимально возможными габаритами, потерями на трение и эксплуатационными расходами при максимальной надежности в работе.

В связи с этим в силовых приводах современных машин в основном применяются зубчатые передачи. Они используются в приводах автомобилей, тракторов, металлорежущих станков, гребных винтов кораблей, винтов самолетов, горнорудных экскаваторов, самосвалы и др. Зубчатые передачи также имеют большое распространение в маломощных приводах и в различных автоматах и приборах. Они используются в качестве редукторов следящих систем или автоматических устройств, редукторов самопишущих приборов, отсчетных механизмов вычислительных устройств, механизмов настройки радиоэлектронной аппаратуры и т. д.

2. Неразъемные соединения.

К неразъемным относятся соединения, которые нельзя разобрать без разрушения соединительных элементов или повреждения соединенных деталей. К таким соединениям относятся: заклепочные, сварные, соединения пайкой, соединения заформовкой, клеевые.

2.1. Паяные соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение.

<u>Соединения пайкой</u> получаются с помощью дополнительного металла (сплава) - припоя, путем нагрева места соединения до температуры плавления припоя. Соединение происходит за счет растворения и диффузии основного материала и припоя.

Так как температура плавления припоя сравнительно низкая, то пайка не вызывает изменения механических свойств соединяемых металлов и не сопровождается появлением заметных внутренних напряжений.

При помощи пайки соединяют детали не только из черных и цветных металлов, но и осуществляют соединение металлов со стеклом, керамикой и другими материалами.

Хорошее соединение пайкой может быть получено только при обеспечении надлежащей чистоты соединяемых поверхностей деталей. В процессе пайки эти поверхности также необходимо защищать от окисления при повышенной температуре. Для этого применяют специальные вещества - флюсы, которые не только образуют жидкую или газообразную защитную среду, но и способствуют очищению поверхностей от загрязнений, растворяют оксидные пленки, улучшают смачиваемость поверхностей припоем, уменьшают поверхностные натяжения в припоях, обеспечивая лучшее затекание припоя в зазоры между спаиваемыми деталями.

<u>Способы пайки.</u> Несмотря на большое разнообразие способов пайки, все их условно можно разделить на два: пайку *мягкими* (низкотемпературными - до 400 °C) припоями и пайку *твердыми* (высокотемпературными - свыше 400°C) *припоями*. После пайки места соединений должны тщательно промываться щелочными растворами для удаления кислотных остатков, входящих в состав флюсов.

При пайке твердыми припоями в качестве флюса чаше всего применяют буру или ее смесь с борной кислотой. Однако эти флюсы не удаляют высокотемпературных окислов, поэтому они не употребляются с припоями, плавящимися при температуре ниже 800 °C.

В настоящее время появились флюсы на основе фтористых соединений, способные удалять высокотемпературные окислы и после пайки легко смываться водой. В состав этих флюсов входят смеси фтористого калия, борной кислоты и бората калия.

Соединения пайкой могут выполняться при различных способах нагрева деталей и припоя. Наиболее распространенными являются: пайка паяльником, пайка при помощи горелки, пайка в печи, пайка при помощи индуктора, пайка в жидких средах, пайка при помощи ультразвука.

Пайка паяльником применяется при пайке мягкими припоями, так как медный наконечник паяльника не выдерживает высоких температур. Наиболее широко пайка паяльником применяется при соединении малогабаритных деталей.

Пайка при помощи горелки применяется для соединения массивных деталей, а также при использовании твердых припоев. В процессе пайки детали и припой разогреваются до высокой температуры пламенем газовой горелки или паяльной лампы. При этом возможно значительное коробление соединяемых деталей.

Пайка в печи позволяет повысить производительность процесса, но требует специальной подготовки изделия, обеспечивающей хорошую взаимную фиксацию соединяемых деталей и припоя. Этот способ позволяет выполнять пайку в защитных средах при различных температурах, т.е. он одинаково удобен как для пайки мягкими, так и для пайки твердыми припоями. Соединения получаются надежными со стабильными характеристиками.

Пайка при помощи индуктора (индукционная пайка) состоит в том, что здесь тепло получается от электрического тока, индуцирующегося непосредственно в соединяемых деталях. При этом возможен очень быстрый нагрев места соединения, что уменьшает возможность окисления соединяемых поверхностей. Пайка может производиться также в вакууме или защитной газовой среде.

Пайка в жидких средах происходит за счет теплообмена между металлическими деталями и жидкой средой. В качестве жидкой среды могут быть использованы расплавленные соли, различные масла, нагретые до высокой температуры, расплавленные припой или флюс. Этим способом можно паять самые различные материалы. При пайке алюминия и его сплавов используют обычно расплавленные флюсы.

При пайке в ваннах с расплавленным припоем детали должны быть хорошо очищены и предварительно обработаны флюсом. Тогда припой, затекая в зазоры между деталями, образует прочное соединение.

Этот способ позволяет весьма существенно повысить производительность процесса. Все преимущества этого способа выявились при пайке многочисленных соединений на печатных платах.

Так как при пайке в ваннах возможны повреждение каких-либо элементов печатных плат или их самих из-за действия высокой температуры припоя, а также слишком большой расход припоя, то приходится применять специальные защитные приспособления, что значительно усложняет этот процесс.

В последнее время разработан способ пайки волной расплавленного припоя. В этом случае печатная плата проходит над ванной с припоем и касается вершины волны, создаваемой специальным устройством. Предварительно залуженные поверхности в местах соединений смачиваются припоем (излишек которого стекает вниз), и в течение малого промежутка времени происходит соединение многих элементов схемы. Для уменьшения времени нахождения платы над ванной с припоем (что может привести к порче платы или других нетеплостойких элементов) очень часто применяют ванны с двойной волной.

Пайка при помощи ультразвука в основном применяется для соединения деталей из алюминия и его сплавов. Наиболее часто этот способ применяется для предварительного покрытия припоем (облуживания) различных деталей. Причем облуживание может производиться в ваннах с расплавленным припоем, находящимся под действием ультразвука, или при помощи специального ультразвукового паяльника.

Однако из-за сложности самого процесса, необходимости применения специального оборудования и инструментов этот способ не получил еще широкого внедрения в производство.

Основными видами соединений пайкой являются соединения встык, соединения внахлестку и соединения в ус. В первом случае соединение имеет малые габариты, но невысокую прочность. Во втором случае можно обеспечить большую прочность, но увеличиваются габариты соединения. В третьем случае получается и достаточная прочность и малые габариты, но это соединение довольно трудоемко. Пайка мягкими припоями, как правило, не обеспечивает высокую прочность соединений. Поэтому такие соединения следует разгружать от действия приложенных нагрузок.

При пайке твердыми припоями прочность соединения сравнима с прочностью соединяемых деталей, следовательно, эти соединения можно конструировать, не уделяя особого внимания разгрузке шва от действующих сил и моментов.

2.2. Сварные соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение.

<u>Соединения сваркой</u> осуществляются путем местного нагрева деталей в зоне их соединения. В месте сварного шва образуется как бы однородное общее тело.

В зависимости от формы свариваемых деталей, материала, из которого они изготовлены, и их назначения применяются различные способы сварки. Поскольку при соединении сваркой возникают межатомные связи, то не всякие материалы могут быть легко сварены между собой. Также свариваемость металлов и сплавов существенно зависит не только от их химического состава, но и от выбранного способа и технологического режима сварки. Очень часто металлы, плохо сваривающиеся при одном способе и режиме сварки, хорошо свариваются при другом. То же можно сказать и о прочности самого соединения.

<u>Способы сварки.</u> Стыковая сварка, как и многие другие виды электросварки, выполняется на сварочных машинах и может проводиться с расплавлением и без расплавления металла в зоне стыка. Свариваемые детали при этом сжимаются и в зоне контакта (в зоне переходного сопротивления) выделяется большое количество тепла. Таким способом могут быть сварены детали любого сечения: круглого, квадратного, различные уголки, трубы и т.п. Стыковой сваркой свариваются почти все металлы и многие сплавы.

При *точечной сварке* детали (обычно тонкостенные) соединяются внахлестку. Под действием давления электродов, подводящих ток к месту сварки, образуются так называемые *сварные точки*, обеспечивающие необходимое соединение. Так как распространение высокой температуры ограничивается только этими точками, располагаемыми на определенном расстоянии другот друга, то соединяемые детали почти не коробятся.

Роликовая сварка осуществляется электродами, выполненными в виде роликов. При этом получается сплошной сварной шов, обеспечивающий прочное и герметичное соединение тонкостенных деталей.

Конденсаторная сварка является разновидностью контактной электросварки и применяется для приваривания деталей очень малой толщины к другим деталям. Здесь ток к месту сварки подается в виде короткого импульса за счет разряда конденсаторов. Это дозирует количество получаемого тепла, что предохраняет тонкие детали от пережога и обеспечивает высокую стабильность сварных соединений.

Электродуговой сваркой обычно соединяют детали сравнительно большой толщины. При этом применяют электроды с соответствующей защитной обмазкой, что способствует устойчивому горению электрической дуги и предохранению расплавленного металла в шве от окисления.

При *аргонодуговой сварке* используют специальные горелки, защищающие место сварки от окисления инертным газом - аргоном. Этот вид электродуговой сварки применяют для соединения легкоокисляющихся металлов.

Электроннолучевая сварка производится потоком электронов большой энергии. Этим способом соединяются обычно весьма тугоплавкие металлы, а также металлы, легко поддающиеся окислению. Так как эта сварка обычно производится в вакууме, то сварной шов получается очень чистым без всяких дополнительных примесей, вносимых электродами, обмазкой и т.п.

При газовой сварке (в струе газового пламени) происходит оплавление кромок соединяемых деталей и вводимого в шов присадочного материала в виде проволоки. Этот способ сварки в приборостроении применяется сравнительно редко ввиду возможности довольно сильного коробления соединяемых деталей. Кроме того, прочность сварных швов получается меньше, чем при электродуговой сварке.

При сварке трением соединение образуется за счет тепла, выделяемого при трении соединяемых деталей. Обычно одна деталь вращается относительно другой при одновременном приложении осевой нагрузки. Этим способом могут быть сварены детали из самых различных материалов.

Сварка давлением (холодная сварка) осуществляется без, применения нагрева, путем сильного сдавливания соединяемых деталей. При этом получаются значительные пластические деформации. Для обеспечения хороших прочных и плотных швов требуется предварительная тщательная очистка соединяемых поверхностей. Соединения точечной холодной сваркой могут

обеспечить более прочные соединения, чем соединения, получаемые при точечной электросварке. Однако при этом получаются очень глубокие вмятины на поверхности соединяемых деталей, что во многих случаях серьезно ухудшает внешний вид соединения.

При ультразвуковой сварке за счет возбуждаемых механических колебаний в зоне соединения создаются переменные напряжения сдвига, что ведет к свариванию. Этим способом легко свариваются такие материалы, которые другими способами сварить невозможно или затруднительно. Сравнительно легко свариваются металлы, имеющие самые разнообразные и даже изоляционные покрытия. Причем не требуется никакой предварительной очистки соединяемых поверхностей.

В зависимости от выбранного способа сварки и требований, предъявляемых к соединению, применяются различные виды сварных соединений. Наибольшее распространение получили стыковые соединения и соединения внахлестку, также, при необходимости, применяют угловые и тавровые соединения.

В стыковых соединениях при соответствующей обработке кромок соединяемых деталей обеспечивается хорошая проварка и необходимая прочность соединения. Для уменьшения концентрации напряжений при неравномерном остывании шва площади деталей в зоне стыкового соединения должны быть примерно равными.

Соединения внахлестку чаше всего применяются при сварке листовых материалов.

<u>2.3. Клеевые и заклепочные соединения. Виды, достоинства, недостат-ки, применение.</u>

В ряде случаев, когда невозможно осуществить другие соединения, применяют **соединения склеиванием**. Этот вид соединения позволяет соединять самые различные материалы: металлы с металлами, металлы с неметаллами, неметаллы с неметаллами.

Клеи, применяемые в приборостроении, разделяют на три группы:

- 1) клеи, высыхающие в результате удаления растворителя;
- 2) клеи, высыхающие в результате охлаждения после расплавления;
- 3) клеи, затвердевающие в результате химических процессов.

Клеи первой группы после высыхания могут быть снова растворены путем введения соответствующего растворителя в клеевой слой, однако это ведет к нарушению соединения. Такие клеи непригодны для получения надежных соединений, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Клеи второй группы перед нанесением на поверхность соединяемых деталей разжижаются путем нагревания. После охлаждения при комнатной температуре они затвердевают, образуя твердый клеевой слой. Эти клеи также обратимы, т.е. при нагревании соединения они снова становятся вязкими, но соединение деталей нарушается.

Клеи третьей группы отличаются своей необратимостью. Соединения, выполненные с применением таких клеев, обладают большой прочностью и надежно работают в сложных эксплуатационных условиях.

Соединения склеиванием применяются для деталей, работающих на срез или растяжение. При изгибе или одностороннем отрыве получается малая прочность соединений.

Чтобы гарантировать необходимое относительное расположение деталей при склеивании, в конструкции следует предусматривать фиксирующие элементы - выступы, впадины и т.п. Чтобы обеспечить требуемую прочность соединения, поверхности склеиваемых деталей необходимо соответствующим образом обработать для наилучшего сцепления с клеем.

Соединения расклепыванием делятся на две группы. К первой группе принадлежат соединения, выполняемые при помощи дополнительных элементов - *заклепок*. Ко второй группе относятся соединения, осуществляемые расклепыванием специальных выступов - *цапф*, имеющихся на одной детали и входящих в отверстия другой детали.

И заклепки и цапфы могут быть как цельными, так и пустотелыми. Очень часто пустотелые заклепки называются *пистонами*.

<u>Заклепочные соединения.</u> Чтобы получить соединение, заклепку вставляют в отверстия, выполненные в соединяемых деталях, и осаживанием стержня получают так называемую замыкающую головку.

В зависимости от различных требований, предъявляемых к заклепочным соединениям, применяют заклепки, имеющие самые разнообразные формы *закладных головок*. При соединении заклепками листового материала применяются соединения с одной и двумя накладками.

В приборостроении часто приходится соединять металлы с неметаллами - гетинаксом, стеклотекстолитом, керамикой, тканями и др. В этих случаях расклепывание цельных заклепок, даже из мягкого металла (алюминий, медь), может привести к разрушению неметаллической детали. Поэтому приходится применять пистоны.

Однако заклепочные соединения из-за многих неудобств, связанных с малыми размерами заклепок (сверление отверстий, расклепывание), по возможности, стараются заменить другими видами соединений - сваркой, пайкой, склеиванием. Но в ряде случаев, особенно когда прибор подвергается вибрационным и ударным нагрузкам, заклепочное соединение является наиболее надежным.

При соединении некоторых деталей (например, кожуха и резервуаров сложной формы) рабочему невозможно подобраться к свободному концу заклепки и сформовать замыкающую головку. Тогда применяют пустотелые

заклепки с подвижным стержнем. Вбивая этот стержень в заклепку, получают замыкающую головку в виде развальцованной части свободного конца заклепки.

<u>Соединения с помощью цапф.</u> Соединения с помощью цапф применяются в основном для удешевления производства. Очень часто они являются наиболее рациональным способом соединения пластин, располагающихся под прямым углом друг к другу, присоединения контактов к контактным пружинам, присоединения колонок и стоек к платам приборов. Цапфы могут быть цилиндрическими и призматическими. Цилиндрические цапфы в зависимости от материала соединяемых деталей выполняются так же, как и заклепки, цельными и пустотелыми.

Призматические цапфы под действием приложенного к ним крутящего момента не проворачиваются. Для защиты цилиндрических цапф от проворачивания разработан ряд способов. Например, отверстия под цапфы можно сделать не круглыми, а придать им форму шестигранника. Тогда при расклепывании цапфа будет деформироваться и приобретет форму отверстия. Применяют и другие, более сложные способы - стопорящие штифты, зубчатые шайбы и т.п. Можно применить цилиндрические цапфы с одной или двумя лысками. В этом случае в другой детали необходимо делать соответствующие отверстия.

2.4. Соединения заформовкой. Достоинства, недостатки.

Заформовкой осуществляется неразъемное соединение путем заливки в металлы или внедрения в пластические массы и стекло различных металлических и неметаллических элементов — арматуры.

В приборостроении распространена заформовка деталей из стали, бронзы, латуни и других материалов в отливки из цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов; заформовка металлических деталей в резину и пластмассу; заформовка металлических деталей в стекло.

<u>Заформовка в металлическое литье.</u> При проектировании армированных отливок необходимо следить за тем, чтобы арматура была надежно закреплена в отливке. Для этого на арматуре делают накатку, выточки, лыски, различные выступы и впадины.

<u>Заформовка в пластмассу.</u> В пластмассу может быть заформована любая арматура, способная выдержать температуру и давление, необходимые для прессования пластмасс.

Арматура предназначена для упрочнения механически нагруженных деталей, для упрочнения резьбовых и штифтовых соединений, для установки различных опор или цапф, для осуществления электрических контактов.

Для закрепления и удержания в изделиях из пластмассы арматура должна иметь соответствующее оформление.

Заформовка в стекло. В тех случаях, когда требуется ввести в стеклянные баллоны электровакуумных приборов металлические электроды, заформовка является единственным способом получения газонепроницаемого соединения. Однако во избежание растрескивания стекла и получения негерметичного соединения необходимо или выбирать металл с коэффициентом линейного расширения, близким коэффициенту линейного расширения стекла, или придавать металлической детали специальную форму. Деформация такой детали из металла с низким пределом текучести при остывании обычно не разрушает стекло. Очень часто проводник, подлежащий заформовке в стекло, покрывают тонким слоем меди, так как медь способна образовывать со стеклом очень прочное соединение.

3. Конструкционные материалы.

Важным направлением научно-технического прогресса является создание и широкое использование новых конструкционных материалов. В производстве широко применяют сверхчистые, сверхтвердые, жаропрочные, композиционные, порошковые, полимерные и другие материалы, позволяющие резко повысить технический уровень и надежность оборудования.

3.1. Сплавы на основе железа. Чугуны. Стали. Классификация сталей, марки сталей. Применение в механических устройствах (валы, зубчатые колеса, крепеж).

Сплавы железа широко используются в современной технике. Наибольшее применение нашли сплавы железа с углеродом — стали и чугуны. Объем их производства более чем в 10 раз превышает производство всех других металлов вместе взятых.

Чугуны. Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14%, называют чугунами. Чугун является самым распространенным сплавом в литейном производстве. Область его применения обширна и продолжает расширяться в связи с улучшением его свойств и появлением высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, с вермикулярным графитом и новых марок высоколегированных чугунов специального назначения.

Механические свойства и область применения чугуна определяются его структурой, в которой важнейшую роль играет углеродная составляющая сплава. Углерод в составе чугуна может быть в виде цементита Fe₃C, графита или их смеси. Цементит придает излому образца характерный белый цвет, графит — серый. В зависимости от состояния углерода в чугуне различают

- *белый чугун,* в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита;
- *серый, ковкий, высокопрочный чугуны,* которые различаются формой графита и условиями его образования. В этих чугунах весь углерод или большая часть находится в свободном состоянии в виде графита, а в связанном

состоянии находится не более 0,8% углерода. Металлическая основа этих чугунов аналогична по структуре и близка по свойствам стали;

• половинчатый чугун, в котором часть углерода находится в свободном состоянии в форме графита, но не менее 2% углерода — в форме цементита. Он мало используется в технике.

На характер формирования структуры чугуна влияют многие факторы, но прежде всего содержание постоянных элементов (C, Si, Mn, S, P), наличие легирующих элементов, скорость охлаждения отливки, а также состояние расплава перед его заливкой в форму, которое зависит от перегрева расплава, его рафинирования и модифицирования.

Под модифицированием понимают введение в расплав небольших количеств добавок, которые, не меняя состав чугуна, влияют на зарождение и рост структурных составляющих, и следовательно, на конечную структуру отливки.

Содержание примесей (С, Si, Mn, S, P) в чугуне больше, чем в стали. Кремний способствует графитизации чугуна. Изменяя его содержание и скорость охлаждения отливки, можно получать чугун различной структуры. Марганец препятствует графитизации и нейтрализует вредное воздействие серы. Фосфор не оказывает влияния на процесс графитизации, но с увеличением его содержания повышаются литейные свойства чугуна. Сера является вредной примесью, она ухудшает литейные свойства чугуна, увеличивая его усадку, повышает склонность к трещинообразованию, снижает температуру красноломкости чугуна. Введение марганца в состав чугуна способствует нейтрализации серы. Марганец образует с серой тугоплавкое соединение MnS. Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения (удар, разрыв). Сопротивление сжатию снижается мало.

Положительные стороны наличия графита:

- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;
- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
 - чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и давлением с последующей механической обработкой.

<u>Белый и отбеленный чугун</u> обладает высокой твердостью и хрупкостью. Практически не поддается обработке резанием. Высокая твердость поверх-

ности обуславливает хорошую сопротивляемость против износа, поэтому его используют для изготовления прокатных валков листовых станков, колес, шаров для мельниц и т. д.

<u>Серые чугуны</u> содержат углерода 3,2...3,5%; кремния — 1,9...2,5: марганца — 0,5...0,8; фосфора — 0,1...0,3; серы — менее 0,12%.

Структура чугуна определяется содержанием в нем основных компонентов (C, Si) и толщиной стенки отливки.

В соответствии с ГОСТ 1412—85 серый чугун обозначается буквами СЧ. Далее следует число, указывающее гарантируемое временное сопротивление (в кгс/мм²) при испытании на разрыв (СЧ 15, СЧ 20...СЧ 35, СЧ 40). Как следует из приведенных значений, прочность серого чугуна невысока, но он имеет хорошие литейные свойства (хорошую жидкотекучесть, небольшую объемную и линейную усадку), что позволяет получать отливки без прибылей с низкой вероятностью образования трещин. Серый чугун не склонен к газонасыщению и ликвации. В связи с этим он нашел широкое применение при производстве сложных корпусных деталей, не испытывающих при работе больших нагрузок. В станкостроении это базовые, корпусные детали, кронштейны, направляющие. Отливки из серого чугуна используются также в электромашиностроении, для изготовления товаров народного потребления.

<u>Ковкий чугун</u> получают отжигом отливок из белого чугуна, в ходе которого происходит разложение цементита и образование компактного графита. По структуре металлической основы различают ферритный и перлитный ковкие чугуны. Окончательная структура и свойства отливок формируются в процессе отжига.

В связи с тем, что после кристаллизации отливки должны иметь структуру белого чугуна, содержание углерода и кремния в чугуне должно быть низким, а толщина отливок — небольшой. Обычно содержание углерода составляет 2,2...3,0%, а кремния 0-0.8..1,4%, причем высокому содержанию углерода должно соответствовать низкое содержание кремния.

При производстве ковкого чугуна широко применяется его модифицирование алюминием, висмутом, бором и реже титаном и теллуром (в тысячных долях процента), обеспечивающее резкое увеличение количества включений графита, что сокращает продолжительность отжига и снижает опасность появления пластинчатого графита при первичной кристаллизации.

В зависимости от цвета излома различают черносердечный и белосердечный ковкие чугуны. Последний чугун отличается более высокими механическими свойствами, но его производство экономически невыгодно, так как увеличение продолжительности цикла отжига до 100...110 ч приводит к большему расходу электроэнергии.

Литейные свойства белого чугуна, предназначенного для получения ковкого, хуже, чем у серого чугуна. Он имеет больший коэффициент линейной

усадки (2%), что требует установки прибылей и увеличивает опасность появления трещин и короблений, больше склонен к ликвации и газонасыщению.

В соответствии с ГОСТ 1215—85 ковкие чугуны маркируются буквами КЧ. Далее следуют числа: КЧ 30-6, КЧ 35-10 (ферритные), КЧ 45-6, КЧ 60-3 (перлитные). Первое число маркировки (30, 35, 45, 60) указывает гарантируемое временное сопротивление (в кгс/мм²), а второе (6, 10, 6, 3) - относительное удлинение (в процентах).

По механическим и технологическим свойствам ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Недостатком ковкого чугуна по сравнению с высокопрочным, является ограничение толщины стенок отливки и необходимость отжига.

<u>Высокопрочные чугуны</u> (ГОСТ 7293–85) могут иметь ферритную (ВЧ 35), ферритно-перлитную (ВЧ 45) и перлитную (ВЧ 80) металлическую основу. Маркировка высокопрочного чугуна аналогична маркировке серого чугуна, например ВЧ 45, где ВЧ означает высокопрочный чугун, а 45 — гарантируемое временное сопротивление (в кгс/мм²). Литейные свойства высокопрочного чугуна лучше, чем у ковкого. Но для него характерно появление в изломе массивных частей отливки (так называемых «черных пятен» — продуктов взаимодействия магния с серой и кислородом, смешанных с графитом).

Основная область применения высокопрочного чугуна — высоконагруженные ответственные детали сельскохозяйственной техники, коленчатые валы двигателей, металлургическое оборудование. Из высокопрочного чугуна изготавливают тонкостенные отливки (поршневые кольца), шаботы ковочных молотов, станины и рамы прессов и прокатных станов, изложницы, резцедержатели, планшайбы. Отливки коленчатых валов массой до 2...3 т обладают по сравнению с коваными валами из стали более высокой циклической вязкостью, малочувствительны к внешним концентраторам напряжения, обладают лучшими антифрикционными свойствами и значительно дешевле.

Сталью называют сплав железа с углеродом (0,02...2,14%), постоянными примесями которого являются марганец (до 0,8%), кремний (до 0,5%), фосфор (до 0,05%), сера (до 0,05%).Такую сталь называют *углеродистой*. Если в процессе выплавки добавляют легирующие элементы (Cr, Si, Ni, Mn, V, W, Mo и др.), причем некоторые из них — сверх их обычного содержания, то получают *легированную сталь*.

Углерод оказывает сильное влияние на свойства стали. С увеличением его содержания повышаются твердость и прочность стали, порог хладноломкости, снижаются пластичность и вязкость, ухудшаются ее литейные свойства (используются стали с содержанием углерода до 0,4%), обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость.

Классификация сталей.

Стали классифицируются по множеству признаков. По химическому составу стали классифицируются на углеродистые и легированные.

Углеродистые стали разделяются на низкоуглеродистые с содержанием углерода до 0,3%, среднеуглеродистые с содержанием углерода 0,3...0,6% и высокоуглеродистые с содержанием углерода более 0,6%.

Легированные стали по содержанию легирующих элементов делятся на *низколегированные* (до 2,5%), среднелегированные (2,5... 10%) и высоколегированные (более 10%).

По качеству различают стали *обыкновенного качества, качественные, высококачественные* и *особо высококачественные*. Количественным показателем качества является содержание вредных примесей – серы и фосфора.

Качество углеродистой стали отражается в маркировке. Стали обыкновенного качества маркируются буквами Ст (например, Ст3). В конце маркировки высококачественной стали ставится буква А (например, У12А). Отсутствие букв Ст в начале и буквы А в конце маркировки означает, что углеродистая сталь является качественной (45, У12 и т.д.). Все легированные стати производят (как минимум) качественными. Для производства особо высококачественных сталей применяют специальную улучшающую обработку, вид которой может быть указан в марках сталей: ВИ (ВИП) — переплав в вакуумных индукционных печах; Ш (ЭШП) — электрошлаковый переплав; ВД (ВДП) — переплав в вакуумных дуговых печах; ШД — вакуумно-дуговой переплав стали после электрошлакового переплава; ОДП — обычная дуговая плавка; ПДП — плазменно-дуговая плавка.

По способу выплавки различают конверторные, мартеновские, электростали и стали особых методов выплавки.

По степени раскисления различают спокойную сталь, которая раскислена марганцем, кремнием и алюминием, полуспокойную — марганцем и алюминием, кипящую — марганцем. Кипящая сталь уступает по качеству спокойной, так как содержит больше кислорода. Степень раскисления в маркировке стали обозначается буквами «сп» (спокойная), «пс» (полуспокойная) и «кп» (кипящая).

По структуре в равновесном состоянии стали классифицируют на доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные (перлитного класса), ледебуритные, аустенитные и ферритные, по структуре в неравновесном состоянии после охлаждения на воздухе — на перлитные, мартенситные и аустенитные.

По назначению стали подразделяются:

- *инструментальные* применяются для изготовления различных инструментов;
- *конструкционные* применяются для изготовления деталей машин и механизмов;

• *специальные* — стали с особыми свойствами (электротехнические, с особыми магнитными свойствами и др.).

<u>Маркировка сталей.</u> В ГОСТах принято буквенно-цифровое обозначение сталей. Первое число в маркировке указывает содержание углерода в стали: если число однозначное — в десятых долях процента, если двузначное — в сотых долях. В том случае, когда первое число отсутствует, углерода в стали не менее 1% (например, X12, X6ВФ).

Для обозначения легирующих элементов, входящих в состав стали, каждому присвоена своя буква русского алфавита. Для указания содержания легирующего элемента в составе стали после соответствующей буквы в марке ставится число, равное процентному содержанию элемента. Если числа нет то содержание элемента меньше 1,0... 1,5%. Например, сталь 5ХЗВЗМФС имеет следующий химический состав: С — около 0,5%; Cr — 3,0; W — 3,0; Мо — 1,0; V — 1,0; Si — около 1,0%.

<u>Углеродистые стали</u> относятся к числу самых распространенных конструкционных материалов. Они сочетают в себе высокую прочность и достаточную вязкость, имеют хорошие технологические свойства, экономичны и не дефицитны. Различают следующие углеродистые стали: конструкционные обыкновенного качества, качественные, специального назначения и инструментальные.

Углеродистые стали обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст3Г, Ст4, Ст5, Ст5Г и Ст6. Число указывает номер стали, с увеличением которого возрастает содержание углерода, поэтому, чем больше номер, тем выше прочность и ниже пластичность. Буква Г указывает, что сталь содержит марганец в количестве, превышающем примесную концентрацию этого элемента.

По степени раскисления стали с номерами марок 1...4 выплавляют кипящими, полуспокойными и спокойными, с номерами 3Г, 5, 6 — полуспокойными и спокойными, 5Г — полуспокойной. Не разделяется по степени раскисления лишь сталь марки СтО.

Углеродистые стали обыкновенного качества применяют для изготовления металлоконструкций и слабонагруженных деталей машин и приборов (например, ограждений, перил, настилов, заклепок), фасонных профилей для вагонов, автомобилей, крепежных деталей, ручек, тяг, рычагов, штырей и т.д.

Углеродистые конструкционные качественные стали маркируются двузначными числами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (например, 08, 10, 15, 20,...,85). Качественные стали производят и поставляют: без термической обработки, термически обработанными и нагартованными. Механические свойства гарантируются после нормализации, закалки и отпуска, нагартовки и отжига.

Низкоуглеродистые стали 05кп; 08; 10; 10пс имеют малую прочность, высокую пластичность. Применяются они без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей (шайб, прокладок и т.п.).

Среднеуглеродистые стали 35, 40, 45 применяются после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки. В нормализованном состоянии они по сравнению с низкоотпущенными имеют большую прочность, но меньшую пластичность. После термического улучшения наблюдается наилучшее сочетание механических свойств. После поверхностной закалки эти стали обладают высокими поверхностной твердостью и сопротивлением износу.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75 применяются как рессорнопружинные после среднего отпуска. В нормализованном состоянии их используют для прокатных валков, шпинделей станков, колес, деталей автомобилей, кулачков, осей и др. Основным недостатком этих сталей является малая прокаливаемость и склонность к перегреву при термической обработке.

Автоматными называют стали, обладающие хорошей обрабатываемостью резанием, что достигается за счет повышенного содержания в стали серы (до 0,30%) и фосфора (до 0,15%), а также за счет добавок свинца (0,15...0,30%) или его аналога — селена (до 0,1%). Сера и фосфор облегчают процесс резания благодаря измельчению стружки, свинец и селен — за счет эффекта внутренней смазки, снижающей коэффициент трения в паре заготовка — инструмент. Роль внутренней смазки играют сами элементы, которые из-за крайне низкой растворимости в железе находятся в стали практически в свободном состоянии в виде включений. Автоматные стали маркируют буквой А (автоматная), за которой следует двузначное число, указывающее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы С и Е в обозначении стали указывают на наличие в ее составе соответственно свинца и селена.

Автоматные стали A12, A20 с повышенным содержанием серы и фосфора используются для изготовления на станках-автоматах малонагруженных деталей (болты, винты, гайки, мелкие детали швейных, текстильных, счетных и других машин).

Углеродистые инструментальные стали содержат 0,65... 1,35% углерода, маркируются буквой У в начале и числом, указывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента, и делятся на качественные (У7...У13) и высококачественные (У7А...У13A).

Легированные конструкционные стали.

Основными легирующими элементами являются кремний, никель, марганец, хром. Такие элементы, как вольфрам, молибден, ванадий, алюминий, титан и бор, вводят в сталь в сочетании с хромом, никелем и марганцем для дополнительного улучшения свойств. Однако высокие эксплуатационные характеристики легированных сталей обнаруживаются только после закалки и

отпуска, поскольку в отожженном состоянии они по механическим свойствам практически не отличаются от углеродистых сталей.

Цементуемые стали обычно содержат 0,1...0,25% углерода, а в качестве легирующих элементов – хром, марганец, бор, молибден, ванадий, титан, никель в пределах от 0,002% (В) до 4,4% (Ni). Эти стали используются для изготовления деталей, работающих на износ и подвергающихся действию переменных и ударных нагрузок. Характерными представителями легированных цементуемых сталей являются:

- стали средней прочности (15XP, 15X, 20X 20XH), которые идут на изготовление небольших деталей, эксплуатируемых при средних нагрузках (зубчатые колеса, валы, кулачки и т.п.). Эти стали характеризуются небольшой прокаливаемостью, а изготовленные из них детали чувствительны к надрезам;
- стали повышенной прочности (12ХНЗА, 20ХНЗА, 20Х2Н4А, 18ХГТ, 18Х2Н4МА), идущие на изготовление деталей средних и больших размеров, работающих в условиях интенсивного изнашивания при повышенных нагрузках (зубчатые колеса, поршневые пальцы, оси, ролики и др.). Эти стали малочувствительны к перегреву, хорошо прокаливаются и имеют повышенную прочность сердцевины.

Улучшаемые стали содержат углерод 0,3...0,5%, легирующие элементы в сумме не более 5% и используются после улучшения (закалки и высокого отпуска). Стали приобретают структуру сорбита, хорошо воспринимающую ударные нагрузки. Эти стали имеют высокие прочность, пластичность, предел выносливости, малую чувствительность к отпускной хрупкости и хорошо прокаливаются. Из них изготавливают ответственные детали машин, работающих под воздействием циклических и ударных нагрузок.

Улучшаемые углеродистые стали 35, 40, 45 дешевы, из них изготавливают детали, испытывающие небольшие напряжения (сталь 35), и детали, требующие повышенной прочности (стали 40, 45). Но термическое улучшение таких сталей обеспечивает комплекс высоких механических свойств только в деталях небольшого сечения, поскольку стали обладают низкой прокаливаемостью. Стали этой группы можно использовать и в нормализованном состоянии. Детали, требующие высокой поверхностной твердости при вязкой сердцевине (зубчатые колеса, валы, оси, втулки), подвергаются поверхностной закалке ТВЧ.

Улучшаемые легированные стали применяют для более крупных и более нагруженных ответственных деталей. Эти стали обладают лучшим комплексом механических свойств: выше прочность при сохранении достаточной вязкости и пластичности, ниже порог хладноломкости.

Хромистые стали (30X, 38X, 40X, 50X) идут на изготовление коленчатых валов, зубчатых колес, осей, втулок, болтов, гаек. Эти стали характеризуются небольшой прокаливаемостью (15...25 мм), склонны к отпускной хрупкости.

Прочность хромистых сталей увеличивается с повышением содержания углерода, но при этом снижается пластичность.

Хромокремнемарганцевые стали (30ХГСА, 35ХГСА) имеют высокие механические свойства, невысокую прокаливаемость, хорошо свариваются и широко применяются в автомобилестроении.

Хромоникелевые стали (40ХН, 45ХН) имеют высокие прочность и пластичность, хорошо сопротивляются ударным нагрузкам. Они применяются для изготовления ответственных деталей, работающих под воздействием динамических нагрузок (шестерни, валы). Прочность стали придает хром, а пластичность — никель. Хромоникелевые стали прокаливаются на большую глубину.

Лучшими показателями среди сталей обладают *хромоникельмолибденовые стали* (40ХНМА, 38Х2Н2МА. 38ХН3МФА). Они имеют высокую прочность при хорошей вязкости, высокую усталостную прочность, глубоко прокаливаются. Из этих сталей изготавливают сильно нагруженные детали, а также валы, роторы, турбины, работающие в условиях больших знакопеременных нагрузок. Улучшение проводят путем закалки с температуры 850 °C в масле и последующего отпуска при температуре 620 °C.

Высокопрочные стали — это стали, имеющие предел прочности $\sigma_{\text{в}} > 1600$ МПа при удовлетворительной пластичности. К ним относятся стали марок 30ХГСНА, 40ХГСНЗВА, 40ХН2СМА, 30Х2ГСН2ВМ, 30Х5МСФА. Такой уровень прочности можно получить в среднеуглеродистых легированных сталях (30ХГСНА, 40ХГСНЗВА). Особый интерес вызывают мартенситностареющие стали, представляющие собой сплавы железа и никеля (8...20%) с очень низким (до 0,03%) содержанием углерода и дополнительно легированные титаном и алюминием, а также часто кобальтом и молибденом. Мартенситно-стареющие стали применяются для наиболее ответственных деталей и рекомендуются для изготовления корпусов ракетных двигателей, стволов артиллерийского и стрелкового оружия, корпусов подводных лодок, батискафов, высоконагруженных дисков турбомашин, зубчатых колес, шпинделей, червяков и т.д.

3.2. Сплавы на основе меди и алюминия. Классификация, обозначение, достоинства и недостатки. Применение сплавов как конструкционных материалов в механических устройствах (упругие элементы, опоры).

Медь и ее сплавы. По применению в промышленности медь занимает среди цветных металлов второе место после алюминия. Это объясняется ее высокими тепло- и электропроводностью, пластичностью. Медь хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состоянии, у нее повышенная коррозионная стойкость. Как конструкционный материал медь не используется из-за высокой стоимости и низких механических свойств. Широ-

кое использование в промышленности имеют сплавы меди с другими элементами – латуни и бронзы.

<u>Латуни</u>. Сплав меди с цинком называется латунью. Механические свойства латуни — прочность и пластичность — выше, чем меди, она хорошо обрабатывается резанием, давлением, характеризуется высокой коррозионной стойкостью, теплопроводностью, электропроводностью. Большим преимуществом латуней является сравнительно низкая их стоимость, так как входящий в состав сплава цинк значительно дешевле меди. Максимальную прочность имеет латунь, содержащая 45 % цинка, ее $\sigma_{\rm B}$ = 350 МПа, а максимальную пластичность — латунь, содержащая 32 % цинка, ее δ = 55 % . При увеличении содержания цинка выше 39 % резко падает пластичность, а выше 45 % и прочность. Поэтому латуни, содержащие более 45 % цинка, не применяются. Подобное изменение свойств связано со структурой латуней.

По химическому составу различают простую (двойную) латунь, в которой содержатся только медь и цинк, и сложную (специальную), в которой кроме цинка содержатся легирующие элементы: никель, свинец, олово, кремний и др. Специальная латунь отличается повышенной прочностью, лучшими антикоррозионными и технологическими свойствами. По технологическому признаку латуни делятся на литейные и деформируемые (обрабатываемые давлением). Латуни маркируются буквой Л. В деформируемых латунях указывается содержание меди и легирующих элементов, которые обозначаются соответствующими буквами (О – олово, А – алюминий, К – кремний, Н – никель, Мц – марганец, Ж – железо, С – свинец.). Содержание элементов дается в процентах после всех буквенных обозначений. Например, латунь Л63 содержит 63 % меди и 37 % цинка. Латунь ЛАЖ 60-1-1 содержит 60 % меди, 1 % алюминия, 1 % железа и 38 % цинка. В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество легирующих элементов (в %) ставится после букв, их обозначающих. Например, литейная латунь ЛЦ40Мц3А содержит 40 % цинка, 3 % марганца, менее 1 % алюминия и 56 % меди.

<u>Бронзы</u>. Сплав меди с оловом, алюминием, свинцом и другими элементами, среди которых цинк и никель не являются основными, называют бронзой. По основному легирующему элементу бронзы делятся на оловянные, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые, свинцовые и др. Бронзы обладают хорошими литейными свойствами, хорошо обрабатываются давлением и резанием. Большинство бронз отличаются высокой коррозионной стойкостью и, кроме того, широко используются как антифрикционные сплавы.

По технологическому признаку бронзы делят на деформируемые и литейные. Маркируются бронзы буквами Бр, за которыми показывается содержание легирующих элементов в %. Обозначения легирующих элементов и отличия в марках деформируемых и литейных сплавов у бронз такие же, как у латуней. Например, деформируемая бронза БрОФ 6,5-0,4 содержит 6,5 %

олова и 0,4 % фосфора, а литейная бронза БрОЗЦ7С5H — 3 % олова, 7 % цинка, 5 % свинца, менее 1 % никеля.

Особенно широкое применение в машиностроении имеют *оловянные бронзы*. Они обладают высокими механическими (σ_B = 150–350 МПа; δ = 3–15%; 60–90 НВ) и антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью, хорошо отливаются и обрабатываются резанием. Деформируемые оловянные бронзы обладают высокой пластичностью и упругостью.

Из них изготовляют прутки, трубы, ленты. Бронзу БрОФ6,5-1,5 применяют для изготовления пружин, мембран, антифрикционных деталей; БрОЦ4-3, БрОЦС4-4-2,5 для производства плоских и круглых пружин, антифрикционных деталей.

Олово — дорогостоящий и дефицитный материал, по этому стремятся использовать безоловянные бронзы, которые состоят из меди с алюминием или кремнием, бериллием, свинцом, железом и др.

Алюминиевые бронзы обладают более высокими механическими свойствами и коррозионной стойкостью по сравнению с оловянными, но их литейные свойства ниже. Дополнительное легирование алюминиевых бронз железом, никелем и марганцем повышает их механические свойства. Никель также увеличивает коррозионную и жаростойкость.

Марганцовистые бронзы (БрМц5) менее прочны, но обладают высокой пластичностью и хорошей сопротивляемостью коррозии, сохраняют механические свойства при повышении температуры до 400 – 500 °C.

Свинцовые бронзы марок БрСЗО и с добавкой олова БрОС5-25, БрОС8-12 отличаются высокими антикоррозионными свойствами и теплопроводностью (в 4 раза больше, чем у оловянных).

Бериллиевые бронзы марок БрБ2, БрБНТ 1,7, БрБНТ 1,9 являются дисперсионно твердеющими сплавами. Они подвергаются закалке от 760 – 780 °C, при этом образуется однородный твердый раствор. В результате искусственного старения при 300 - 350 °C из твердого раствора выделяются дисперсные частицы, упрочняющие сплав. Бериллиевые бронзы после термообработки имеют высокие механические свойства, высокий предел упругости, хорошую коррозионную стойкость, теплостойкость, не образуется искры при ударе. Бериллиевую бронзу легируют также титаном. Из нее изготовляют детали особо ответственного назначения: пружины, пружинящие контакты, детали, работающие на износ (кулачки полуавтоматов) и т. д.

Кремнистые бронзы марок БрКМц3-1, БрКН1-3 заменяют дорогостоящие оловянные и бериллиевые бронзы. Они легко обрабатываются давлением, резанием, свариваются, обладают высокой упругостью, коррозионной стойкостью. Применяются для производства пружин и пружинящих деталей приборов, эксплуатируемых при температурах до 250°C, а также в агрессивных средах.

<u>Медно-никелевые сплавы</u>. К медно-никелевым сплавам относятся сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является никель, они маркируются буквой М, за которой следует обозначение и содержание легирующих элементов как в деформируемых латунях и бронзах. Легирование меди никелем значительно повышает её механические свойства и коррозионную стойкость.

Мельхиоры МНЖМц30-1-1, МН19 характеризуются высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, пресной и морской воде, растворах солей, органических кислотах. Они хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии.

Сплавы на основе системы Cu-Ni-Zn называются нейзильберами (МНЦ15-20, МНЦС 16-29-1,8). Легирование цинком приводит к повышению механических свойств и удешевлению медно-никелевых сплавов, а также делает их внешне похожими на серебро. Свинец вводится в нейзильберы для улучшения обрабатываемости резанием. Нейзильберы характеризуются высокой коррозионной стойкостью. Сплавы системы Cu-Ni-Al называются куниалями. Они характеризуются высокими механическими свойствами, упругостью, коррозионной стойкостью. Эти сплавы упрочняются в результате термической обработки, которая заключается в закалке от 900—1000 °C в воде и старении при 500—600 °C. Куниаль А марки МНА13-3 используется для изделий повышенной прочности, а куниаль Б марки МНА 6-1,5 — для ответственных пружин и в электротехнической промышленности.

Алюминий и его сплавы. Одним из наиболее легких конструкционных материалов является алюминий. В отожженном состоянии алюминий обладает малыми прочностью ($\sigma_{\rm B}$ = 80–120 МПа) и твердостью (25HB), но большой пластичностью (δ = 35–45 %). Отличается высокой коррозионной стойкостью в пресной воде, атмосфере.

Маркируется алюминий буквой A и числом, зависящим от количества примесей. Различают алюминий особой чистоты — A999 (99,999 % A1), высокой чистоты — A995 (99,995 % AI), A99 (99,99 % AI), A97 (99,97 % AI), A95 (99,95 % A1) и технической чистоты - A85, A8, A7, A6, A5 и AO (99,0 % A1).

Благодаря высокой пластичности и электропроводности — алюминий широко применяют в электротехнической промышленности для изготовления проводов, кабелей; в авиационной промышленности — труб, маслопроводов и бензопроводов; в легкой и пищевой промышленности — фольги, посуды. Алюминий используют как раскислитель при производстве стали. Ввиду низкой прочности и незначительной упрочняемости при пластической деформации в холодном состоянии технически чистый алюминий как конструкционный материал применяют сравнительно редко. В результате сплавления его с магнием, медью, цинком и другими металлами получены сплавы с достаточно высокой прочностью, малой плотностью и хорошими технологически-

ми свойствами. Различают литейные и деформируемые (обрабатываемые давлением) алюминиевые сплавы.

Литейные сплавы алюминия маркируются буквами АЛ и числом, показывающим условный номер сплава. Чтобы сплав обладал хорошими литейными свойствами, он должен иметь узкий температурный интервал кристаллизации. Кроме того, желательно, чтобы он имел низкую температуру плавления. Этим требованиям удовлетворяют эвтектические сплавы. Наибольшее распространение получили сплавы алюминия с кремнием, образующие эвтектику при содержании 11,6 % кремния. Эти сплавы называются силуминами. Кроме силуминов используются литейные сплавы алюминия с медью и магнием. Они обладают значительно большей прочностью, чем силумины, но их литейные свойства хуже.

Литейные сплавы алюминия с медью (АЛ 19 и др.) содержат до 6 % меди и небольшое количество других элементов. Они отличаются повышенной прочностью и жаропрочностью при температуре до 300 °C. Эти сплавы упрочняются закалкой и старением. Они хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Недостатком этих сплавов является низкая коррозионная стойкость.

Литейные сплавы алюминия с магнием (АЛ 8 и др.) содержат до 13 % магния и небольшое количество других легирующих элементов. Они характеризуются высокой коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах, обрабатываются резанием и свариваются. Эти сплавы упрочняются закалкой без старения.

Деформируемые сплавы алюминия делят на неупрочняемые термообработкой и упрочняемые. К неупрочняемым относят сплавы алюминия с марганцем и магнием. Они обладают высокой коррозионной стойкостью, умеренной прочностью, высокой пластичностью, хорошо свариваются. Их применяют для изделий, эксплуатируемых в агрессивной среде, а также изготавливаемых путем глубокой штамповки: рам и кузовов, перегородок зданий, переборок судов, бензиновых баков и т. п.

Наиболее распространенным сплавом этой группы является *дуралюмин*. Основным компонентом, упрочняющим дуралюмин, является медь (до 5 %), в качестве дополнительных легирующих элементов используют магний (до 1 %), марганец (до 2 %), титан и др. Медь и магний способствуют дисперсному твердению сплава при термообработке, марганец усиливает упрочнение и повышает коррозионную стойкость. Дуралюмин маркируют буквой Д и порядковым номером: Д1, Д16, Д18. В результате термической обработки прочность повышается в два раза, а пластичность практически не меняется. Достоинством дуралюмина является высокая удельная прочность (отношение предела прочности к плотности), что особенно важно в самолетостроении. Недостатком дуралюминов является пониженная коррозионная стойкость, особенно по отношению к межкристаллитной коррозии. Для повыше-

ния коррозионной стойкости листы дуралюмина плакируют техническим алюминием марок A7, A8.

Высокопрочные сплавы алюминия содержат кроме меди и магния дополнительно цинк (до 10 %). Эти сплавы маркируются буквой В (В95, В96У). Эти сплавы обладают меньшей пластичностью, большей чувствительностью к концентраторам напряжений, чем дуралумины. Данные сплавы можно использовать при температуре до 100-200 °C, так как они не являются жаропрочными. Применяются они для высоконагруженных деталей без концентраторов напряжений, работающих в условиях сжатия.

Ковочные сплавы алюминия предназначены для производства деталей ковкой и штамповкой. Маркируются буквами АК и числом, показывающим порядковый номер. По химическому составу близки к дуралюмину (сплав АК1 совпадает по составу с Д1), иногда отличаясь более высоким содержанием кремния (АК6, АК8). Ковочные сплавы характеризуются высокой пластичностью и трещиностойкостью при горячей обработке давлением. Ковочные сплавы хорошо обрабатываются резанием, удовлетворительно свариваются. Их недостатком является склонность к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии.

Коррозионностойкие сплавы повышенной пластичности АВ (авиаль), АД 31, АД 33 относятся к системе Al-Mg-Si. Эти сплавы удовлетворительно свариваются, обрабатываются резанием в закаленном и состаренном состоянии. Авиаль АВ обладает наибольшей прочностью, по наименьшей коррозионной стойкостью (склонен к межкристаллитной коррозии). Сплавы АД 31 и АД 33 обладают большей коррозионной стойкостью, способны работать во влажной атмосфере и морской воде в интервале температур от -70 до +50 °C. Применяются данные сплавы для изготовления лопастей и кабин вертолетов, в судостроении, строительстве.

К жаропрочным алюминиевым сплавам относятся дуралюмины Д20, Д21, легированные дополнительно титаном, и сплав АК 4-1, легированный железом и никелем. Эти сплавы способны работать при температуре до 300 °C, они хорошо деформируются в горячем состоянии, удовлетворительно свариваются, хорошо обрабатываются резанием. Отличаются высокой износостойкостью.

Сверхлегкие алюминиевые сплавы легируют литием, который имеет очень низкую плотность — 0,5 г/см³. Применение этих сплавов позволяет снизить массу деталей, что особенно важно в самолето- и ракетостроении. Сплав ВАД 23 относится к системе AI-Cu-Li, а сплав 1420 к системе AI-Mg-Li. Сплав 1420 характеризуется коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью. По сравнению с дуралюмином Д16 сплав 1420 имеет пониженную на 11 % плотность и повышенный на 4 % модуль упругости. Это позволяет при его использовании снизить массу на 10–15 %.

3.3. Неметаллические материалы. Виды, свойства, применение термопластов и термореактивных пластмасс. Достоинства и недостатки пластмасс. Применение резины, бумаги, композиционных (зубчатые ремни) материалов.

Высокие удельная прочность, коррозионная стойкость, тепло- и электропроводность, а также комплекс других достоинств металлических материалов не могут полностью удовлетворить постоянно возрастающие требования специалистов, занимающихся разработкой принципиально новых видов техники и технологий. Кроме того, конструкторам и технологам приходится учитывать фактор истощения сырьевых запасов традиционных машиностроительных материалов, увеличение энерго- и трудозатрат, связанных с их разведкой, добычей, транспортировкой и переработкой.

По этой причине важными проблемами современного материаловедения являются разработка неметаллических конструкционных материалов и оптимизация их структуры с целью придания комплекса не характерных для металлов, необычных, часто противоречивых свойств. Актуальное направление решения этих проблем состоит в создании машиностроительных материалов на основе пластических масс, резины, древесины и керамики.

Пластмассами (пластиками) называют искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связующих веществ. Эти материалы способны при нагреве размягчаться, становиться пластичными, и тогда под давлением им можно придать заданную форму, которая затем сохраняется. В зависимости от природы связующего переход отформованной массы в твердое состояние совершается или при дальнейшем ее нагреве, или при последующем охлаждении.

По характеру связующего вещества пластмассы подразделяют на *термо-пластичные* (термопласты), получаемые на основе термопластичных полимеров, и *термореактивные* (реактопласты), получаемые на основе термореактивных смол. Термопласты удобны для переработки в изделия, дают незначительную усадку при формовании (1–3 %). Материал отличается большой упругостью, малой хрупкостью и способностью к ориентации. Обычно термопласты изготовляют без наполнителя. В последние годы стали применять термопласты с наполнителями в виде минеральных и синтетических волокон (органопласты).

Термореактивные полимеры после отверждения и перехода связующего в термостабильное состояние хрупки, часто дают большую усадку (до 10–15 %) при их переработке, поэтому в их состав вводят усиливающие наполнители.

Термопласты делят на неполярные и полярные.

К <u>неполярным пластикам</u> относятся полиэтилен, полипропилен, полистирол и фторопласт-4.

Полиэтилен — продукт полимеризации бесцветного газа этилена, относящийся к кристаллизующимся полимерам. По плотности полиэтилен подразделяют на полиэтилен низкой плотности, получаемый в процессе полимеризации при высоком давлении (ПЭВД), содержащий 55–65 % кристаллической фазы, и полиэтилен высокой плотности, получаемый при низком давлении (ПЭНД), имеющий кристалличность до 74–95 %.

Чем выше плотность и кристалличность полиэтилена, тем выше прочность и теплостойкость материала. Длительно полиэтилен можно применять при температуре до 60–100 °C. Морозостойкость достигает -70 °C и ниже. Полиэтилен химически стоек и при нормальной температуре нерастворим ни в одном из известных растворителей. Под действием ионизирующего излучения полиэтилен твердеет: приобретает большую прочность и теплостойкость. Недостатком полиэтилена является его подверженность старению. Для защиты от старения в полиэтилен вводят стабилизаторы и ингибиторы (2—3 % сажи замедляют процессы старения в 30 раз).

Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и прессованных несиловых деталей, пленок, он служит покрытием на металлах для защиты от коррозии, влаги, электрического тока.

Полипропилен является производной этилена. Применяя металлоорганические катализаторы, получают полипропилен, содержащий значительное количество стереорегулярной структуры. Это жесткий нетоксичный материал с высокими физико-механическими свойствами. По сравнению с полиэтиленом этот пластик более теплостоек: сохраняет форму до температуры 150 °C. Полипропиленовые пленки прочны и более газонепроницаемы, чем полиэтиленовые, а волокна эластичны, прочны и химически стойки. Нестабилизированный полипропилен подвержен быстрому старению. Недостатком пропилена является его невысокая морозостойкость (от -10 до -20 °C).

Полипропилен применяют для изготовления труб, конструкционных деталей автомобилей, мотоциклов, холодильников, корпусов насосов, различных емкостей и др. Пленки используют в тех же целях, что и полиэтиленовые.

Полистирол — твердый, жесткий, прозрачный, аморфный полимер. Удобен для механической обработки, хорошо окрашивается, растворим в бензоле. Полистирол наиболее стоек к воздействию ионизирующего излучения по сравнению с другими термопластами. Недостатками полистирола являются его невысокая теплостойкость, склонность к старению, образованию трещин.

Из полистирола изготовляют детали для радиотехники, телевидения и приборов, детали машин, сосуды для воды и химикатов, пленки стирофлекс для электроизоляции.

Фторопласт-4 (фторлон-4) политетрафторэтилен является аморфнокристаллическим полимером. До температуры 250 °C скорость кристаллизации мала и не влияет на его механические свойства, поэтому длительно эксплуатировать фторопласт-4 можно до температуры 250 °C. Разрушение материала происходит при температуре выше 415 °C. Аморфная фаза находится в высокоэластическом состоянии, что придает фторопласту-4 относительную мягкость. При весьма низких температурах (до -269°C) пластик не охрупчивается. Фторопласт-4 стоек к действию растворителей, кислот, щелочей, окислителей. Практически он разрушается только под действием расплавленных щелочных металлов и элементарного фтора, кроме того, пластик не смачивается водой. Политетрафторэтилен малоустойчив к облучению. Это наиболее высококачественный диэлектрик. Фторопласт-4 обладает очень низким коэффициентом трения (f = 0,04), который не зависит от температуры (до 327°C когда начинает плавиться кристаллическая фаза). Недостатками фторопласта-4 являются хладотекучесть (результат рекристаллизации), выделение токсичного фтора при высокой температуре и трудность его переработки (вследствие отсутствия пластичности).

Фторопласт-4 применяют для изготовления труб, вентилей, кранов, насосов, мембран, уплотнительных прокладок, манжет, сильфонов, электрорадиотехнических деталей, антифрикционных покрытий на металлах (подшипники, втулки).

К <u>полярным пластикам</u> относятся фторопласт-3, органическое стекло, поливинилхлорид, полиамиды, полиуретаны, полиэтилентерефталат, поли-карбонат, полиарилаты, пентапласт, полиформальдегид.

Фторопласт-3 (фторлон-3) — полимер трифторхлорэтилена. Атом хлора нарушает симметрию звеньев макромолекул, материал становится полярным, диэлектрические свойства снижаются, но появляется пластичность и облегчается переработка материала в изделия. Интервал рабочих температур от -105 до 70 °C. При температуре 315 °C начинается термическое разрушение. Хладотекучесть у полимера проявляется слабее, чем у фторопласта-4. По химической стойкости он уступает политетрафторэтилену, но все же обладает высокой стойкостью к действию кислот, окислителей, растворов щелочен и органических растворителей.

Фторопласт-3 используют как низкочастотный диэлектрик, кроме того, из него изготовляют трубы, шланги, клапаны, насосы, защитные покрытия металлов и др.

Органическое стекло — это прозрачный аморфный термопласт на основе сложных эфиров акриловой и метакриловой кислот. Чаще всего применяется полиметилметакрилат, иногда пластифицированный дибутилфталатом. Материал более чем в 2 раза легче минеральных стекол (1180 кг/м³), отличается высокой атмосферостойкостью, оптически прозрачен (светопрозрачность 92%), пропускает 75% ультрафиолетового излучения (силикатные – 0,5%). При температуре 80°C органическое стекло начинает размягчаться; при температуре 105—150°C появляется пластичность, что позволяет формовать из него различные детали. Критерием, определяющим пригодность органических стекол для эксплуатации, является не только их прочность, но и появление на

поверхности и внутри материала мелких трещин, так называемого серебра. Этот дефект снижает прозрачность и прочность стекла. Причиной появления «серебра» являются внутренние напряжения, возникающие в связи с низкой теплопроводностью и высоким коэффициентом расширения. Увеличение термостойкости и ударной вязкости органического стекла достигается ориентированием; при этом увеличивается в несколько раз ударная вязкость и стойкость к «серебрению»; сополимеризацией или привитой полимеризацией полиметилметакрилата с другими полимерами получают частично сшитую структуру (термостабильные стекла); применением многослойных стекол («триплексов»). Органическое стекло стойко к действию разбавленных кислот и щелочей, углеводородных теплив и смазочных материалов. Старение органического стекла в естественных условиях протекает медленно. Недостатком органического стекла является невысокая поверхностная твердость.

Органическое стекло используют в самолетостроении, автомобилестроении. Из него изготовляют светотехнические детали, оптические линзы и др. На основе полиметилметакрилата получают самоотверждающиеся пластмассы: АСТ, стиракрил, АКР. Указанные материалы применяют для изготовления штампов, литейных моделей и абразивного инструмента.

Поливинилхлорид является аморфным полимером. Пластмассы имеют хорошие электроизоляционные характеристики, стойки к химикатам, не поддерживают горение, атмосферостойки. Непластифицированный твердый поливинилхлорид называется винипластом. Винипласты имеют высокую прочность и упругость. Недостатками этого материала являются низкая длительная прочность и низкая рабочая температура (не свыше 60–70 °C) под нагрузкой, большой коэффициент линейного расширения, хрупкость при низких температурах (t_{xp} = -10 °C).

Из винипласта изготовляют трубы, детали вентиляционных установок, теплообменников, защитные покрытия для металлических емкостей, строительные облицовочные плитки.

При введении пластификатора получают полихлорвиниловый пластикат, имеющий морозостойкость до -50 °C и температуру размягчения 160–195 °C применяется для изоляции проводов и кабелей, уплотнительных прокладок.

Полиамиды — это кристаллизующиеся полимеры с известными названиями: капрон, нейлон, анид и др. Отдельные цепочки макромолекул располагаются таким образом, что между группами СО и NH, принадлежащими различным цепочкам, возникает водородная связь, повышающая температуру плавления до $210-264~{\rm C}$ и способствующая образованию регулярной структуры. При одноосной ориентации получаются полиамидные волокна, нити, пленки. Свойства разных видов полиамидов довольно близки. Они имеют низкий коэффициент трения (f <0,05), продолжительное время могут работать на истирание; кроме того, полиамиды ударопрочны и способны поглощать вибрацию. Стойки к щелочам, бензину, спирту; устойчивы в тропиче-

ских условиях. К недостаткам полиамидов относятся некоторая гигроскопичность и подверженность старению вследствие окисляемости при переработке. Водопоглощение зависит от содержания амидных групп и структуры и составляет от 1,75 % (полиамид П-12) до 11–12% (капрон, П-54). Устойчивость полиамидов к свету повышается введением стабилизатора, а антифрикционные свойства — введением наполнителя (графита и др.).

Из полиамидов изготовляют шестерни, втулки, подшипники, болты, гайки, шкивы и др. Полиамиды используют в электротехнической промышленности, медицине и, кроме того, как антифрикционные покрытия металлов.

Полиуретаны содержат уретановую группу. Кислород в молекулярной цепи сообщает полимерам гибкость, эластичность; им присуща высокая атмосферостойкость и морозостойкость (до -70°С). Верхний температурный предел составляет 120—170 °С. Свойства полиуретана в основном близки к свойствам полиамидов. В зависимости от исходных веществ, применяемых при получении полиуретанов, они могут обладать различными свойствами, быть твердыми, эластичными и даже термореактивными.

Из полиуретана вырабатывают пленочные материалы и волокна, которые малогигроскопичны и химически стойки.

Полиэтилентерефталат — сложный полиэфир, известен под названием лавсан, майлар, терилен. Полиэтилентерефталат является кристаллическим полимером; при быстром охлаждении расплава можно получать аморфный полимер, который при нагреве свыше 80 °C начинает кристаллизоваться. Присутствие кислорода в основной цепи сообщает хорошую морозостойкость (-70 °C). Бензольное кольцо повышает теплостойкость (температура плавления 255–257 °C). Полиэтилентерефталат является диэлектриком и обладает сравнительно высокой химической стойкостью, устойчив в условиях тропического климата.

Из полиэтилентерефталата изготовляют шестерни, кронштейны, канаты, ремни, ткани, пленки, волокна и др.

Поликарбонат — сложный полиэфир угольной кислоты; выпускается под названием дифлон. Это кристаллический полимер, которому при плавлении и последующем охлаждении можно придать аморфную структуру. Такой материал становится стеклообразным и прозрачным. Свойства поликарбонатов своеобразны — им присущи гибкость и одновременно прочность и жесткость. По прочности при разрыве материал близок к винипласту и отличается высокой ударной вязкостью, он нехладотекуч. При длительном нагреве, вплоть до температуры размягчения, образцы сохраняют свои размеры и остаются эластичными при низких температурах. Поликарбонат химически стоек к растворам солей, разбавленным кислотам и щелочам, маслам; разрушается крепкими щелочами; выдерживает светотепловакуумное старение и тепловые удары, тропикостоек. Поликарбонат имеет ограниченную стойкость к воздействию ионизирующего излучения.

Из поликарбоната изготовляют шестерни, подшипники, автодетали, радиодетали и т. д. Его можно использовать в криогенной технике для работы в среде жидких газов. Дифлон применяется также в виде гибких, прочных пленок.

Полиарилаты — сложные гетероцепные полиэфиры. Полиарилатам присущи высокая термическая стойкость и морозостойкость (до -100 °C), хорошие показатели прочности и антифрикционные свойства (эстеран). Полиарилаты радиационно- и химически стойки.

Применяются для подшипников, работающих в глубоком вакууме без использования смазочного материала, в качестве уплотнительных материалов в буровой технике.

Пентапласт является хлорированным простым полиэфиром, относится к медленно кристаллизующимся полимерам. Пентапласт более устойчив к нагреву по сравнению с поливинилхлоридом. Прочность пентапласта близка к прочности винипласта, но он выдерживает температуру 180 °C и хорошо формуется, нехладотекуч, стоек к истиранию. Пентапласт, являясь веществом полярным, обладает удовлетворительными электроизоляционными свойствами. Кроме того, он водостоек. По химической стойкости занимает промежуточное положение между фторопластом и винипластом.

Из пентапласта изготовляют трубы, клапаны, детали насосов и точных приборов, емкости, пленки и защитные покрытия на металлах.

Полиформальдегид — простой полиэфир — линейный полимер. Повышенная кристалличность (75 %) и чрезвычайно плотная упаковка кристаллов дают сочетание таких свойств, как жесткость и твердость, высокая ударная вязкость и упругость. Температурный интервал применения полимера от -40 до 130 °C; он водостоек, стоек к минеральным маслам и бензину.

Полиформальдегид используют для изготовления зубчатых передач, шестерен, подшипников, клапанов, деталей автомобилей, конвейеров и т. д.

<u>Термопласты с наполнителями</u>. В качестве полимерных матриц (связующего) применяют различные термопласты. В качестве армирующих наполнителей можно использовать стеклянное волокно, асбест, органические волокна и ткани. Волокнистые наполнители образуют в полимере как бы несущий каркас и этим упрочняют материал.

В промышленном масштабе применяют полиамиды и поликарбонат, наполненные мелкорубленым стекловолокном. По сравнению с ненаполненными полимерами стекловолокниты обладают повышенными прочностью ($\sigma_{\rm B}$ = 90–149 МПа; $\sigma_{\rm cж}$ = 110–140 МПа; $\sigma_{\rm изr}$ = 150–220 МПа) и теплостойкостью, сопротивлением усталости и износостойкостью, небольшой ползучестью. Интервал рабочих температур от -60 до 180 °C.

Термопласты с наполнителями в виде, синтетических волокон (пропиленовое волокно, капрон, лавсан, винол) являются перспективными. Такие волокна имеют близкую со связующими химическую природу, и упрочнение

получается хорошим (волокна и связующее работают совместно). Ползучесть волокнистых термопластов уменьшается почти в 5 раз, длительная прочность возрастает в десятки раз.

Слоистые термопласты содержат в качестве наполнителей ткани из различных волокон. Для получения высокопрочных пластмасс применяют полиамиды, армированные стеклотканью. Капрон (П-6), армированный стеклотканью, имеет высокие механические свойства: $\sigma_{\rm B} = 400-430$ МПа, $\sigma_{\rm Cж} = 280-300$ МПа, $\sigma_{\rm MSI} = 450-500$ МПа; $\sigma_{\rm CSI} = 250-300$ кДж/м² и может работать до 220 °C.

Из волокнистых термопластов изготовляют подшипники, зубчатые передачи, трубы, вентили, емкости для агрессивных сред и др.

Термореактивные пластмассы.

В качестве связующих веществ применяют термореактивные смолы, в которые иногда вводятся пластификаторы, отвердители, ускорители или замедлители, растворители. Основными требованиями к связующим веществам являются высокая клеящая способность (адгезия), высокие теплостойкость, химическая стойкость и электроизоляционные свойства, простота технологической переработки, небольшая усадка и отсутствие токсичности (вредности). Смола склеивает как отдельные слои наполнителя, так и элементарные волокна и воспринимает нагрузку одновременно с ними, поэтому связующее вещество после отверждения должно обладать достаточной прочностью на отрыв при расслаивании материала. Для обеспечения высокой адгезии связующее должно быть полярным. Необходимо, чтобы температурные коэффициенты линейного расширения связующего и заполнителя были близки по величине.

В производстве пластмасс широко используют фенолоформальдегидные, кремнийорганические, эпоксидные смолы, непредельные полиэфиры и их различные модификации. Более высокой адгезией к наполнителю обладают эпоксидные связующие, которые позволяют получать армированные пластики с высокой механической прочностью. Теплостойкость стеклопластиков на кремнийорганическом связующем при длительном нагреве составляет 260—370 °C, на фенолоформальдегидном до 260 °C, на эпоксидном до 200 °C, на непредельном полиэфирном до 200 °C и на полиимидном связующем 280—350 °C. Важным свойством непредельных полиэфиров и эпоксидных смол является их способность к отверждению не только при повышенной, но и при нормальной температуре без выделения побочных продуктов с минимальной усадкой. Из пластмасс на их основе можно получать крупногабаритные изделия.

В зависимости от формы частиц наполнителя термореактивные пластмассы можно подразделить на следующие группы: порошковые, волокнистые и слоистые.

<u>Пластмассы с порошковыми наполнителями</u>. В качестве наполнителей применяют органические (древесная мука) и минеральные (молотый кварц, асбест, слюда, графит и др.) порошки.

Свойства порошковых пластмасс характеризуются изотропностью, невысокой механической прочностью и низкой ударной вязкостью, удовлетворительными электроизоляционными показателями. Их применяют для несиловых конструкционных и электроизоляционных деталей. Минеральные наполнители придают пластмассе водостойкость, химическую стойкость, повышенные электроизоляционные свойства, устойчивость к тропическому климату.

Композиции на основе эпоксидных смол широко применяют в машиностроении для изготовления различной инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов, корпусов станочных, сборочных и контрольных приспособлений, литейных моделей, копиров и другой оснастки. Их применяют для восстановления изношенных деталей и отливок.

<u>Пластмассы с волокнистыми наполнителями</u>. К этой группе пластмасс относятся волокниты, асбоволокниты, стекловолокниты.

Волокниты представляют собой композиции из волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка, пропитанного фенолоформальдегидным связующим. По сравнению с пресс-порошками они имеют несколько повышенную ударную вязкость.

Применяют для деталей общего технического назначения, работающих на изгиб и кручение (рукоятки, стойки, фланцы, направляющие втулки, шкивы, маховики и т. д.).

Асбоволокниты содержат наполнителем асбест. Связующим служит в основном фенолоформальдегидная смола. Преимуществом асбоволокнитов является повышенная теплостойкость (свыше 200 °C), устойчивость к кислым средам и высокие фрикционные свойства.

Асбоволокниты используют в качестве материала тормозных устройств; из материала фаолита (разновидность асбоволокнитов) получают кислотоупорные аппараты, ванны, трубы.

Стекловолокниты — это композиция, состоящая из синтетической смолы, являющейся связующим, и стекловолокнистого наполнителя. В качестве наполнителя применяют непрерывное или короткое стекловолокно. Прочность стекловолокна резко возрастает с уменьшением его диаметра (вследствие влияния неоднородностей и трещин, возникающих в толстых сечениях). Для практических целей используют волокно диаметром 5–20 мкм с σ_p = 600–3800 МПа и ε = 2–3,5 %.

Свойства стекловолокна зависят также от содержания в его составе щелочи; лучшие показатели у бесщелочных стекол алюмоборосиликатного состава.

<u>Неориентированные стекловолокниты</u> содержат в качестве наполнителя короткое волокно. Это позволяет прессовать детали сложной формы, с металлической арматурой. Материал получается с изотропными прочностными характеристиками, намного более высокими, чем у пресс-порошков и даже волокнитов. Представителями такого материала являются стекловолокниты АГ-4В, а также ДСВ (дозирующиеся стекловолокниты), которые применяют для изготовления силовых электротехнических деталей, деталей машиностроения (золотники, уплотнения насосов и т. д.). При использовании в качестве связующего непредельных полиэфиров получают премиксы ПСК (пастообразные) и препреги АП и ППМ (на основе стеклянного мата). Препреги можно применять для крупногабаритных изделий простых форм (кузова автомашин, лодки, корпуса приборов и т. п.).

Ориентированные стекловолокниты имеют наполнитель в виде длинных волокон, располагающихся ориентировано отдельными прядями и тщательно склеивающихся связующим. Это обеспечивает более высокую прочность стеклопластика. Стекловолокниты могут работать при температурах от -60 до 200 °C, а также в тропических условиях, выдерживать большие инерционные перегрузки. При старении в течение двух лет коэффициент старения $K_c = 0,5-0,7$. Ионизирующие излучения мало влияют на их механические и электрические свойства.

Из них изготовляют детали высокой точности, с арматурой и резьбой.

Особенностями пластмасс являются малая плотность $(1 - 2 \text{ т/m}^3)$; низкая теплопроводность [0,1 - 0,3 BT/(m·K)], значительное тепловое расширение, в 10 - 30 раз больше, чем у стали $[(15 - 100) \ 10^{-6} \ ^{\circ}\text{C}^{-1}]$; хорошие электроизоляционные свойства; высокая химическая стойкость; фрикционные и антифрикционные свойства. Прочность силовых пластиков сопоставима с прочностью стали и выше. Пластмассы имеют хорошие технологические свойства.

Недостатками пластмасс являются невысокая теплостойкость, низкие модуль упругости и ударная вязкость по сравнению с металлами и сплавами, а для некоторых пластмасс — склонность к старению.

Бумага — тонкий листовой материал с массой до 250 г/м², состоящий из размолотых растительных волокон, переплетенных между собой. В машиностроении наибольшее применение находят следующие виды бумаги: электроизоляционная, конструкционная, фильтровальная и техническая.

<u>Электроизоляционная</u> бумага имеет повышенные диэлектрические свойства и применяется для изоляции электрооборудования. Конденсаторная бумага в зависимости от толщины (от 4 до 30 мкм) и плотности имеет пробивное напряжение в диапазоне 240–620 В. Для прокладок в электрических конденсаторах используют бумагу специальных марок толщиной до 95 мкм. Бумага кабельная предназначена для изоляции кабелей, ее используют также для изоляции в трансформаторах, дросселях и другой электрической ап-

паратуре при высоких напряжениях (35 кВ и выше). Бумага *телефонная* служит для изоляции жил телефонных кабелей, для межвитковой и межобмоточной изоляции трансформаторов; имеет удельное объемное сопротивление 10⁹Ом·см. Электроизоляционные бумаги *намоточная* и *пропиточная* имеют высокую электрическую прочность (50–90 кВ/см). Бумага *полупроводящая кабельная* предназначена для экранирования изоляции силовых кабелей и арматуры.

<u>Конструкционную</u> бумагу используют непосредственно (или в качестве полуфабрикатов) для изготовления изделий, которые имеют стабильную форму и могут противостоять механическим нагрузкам.

<u>Фильтровальную</u> бумагу нескольких видов и марок используют для изготовления беззольных фильтров «быстрой» фильтрации (бумага фильтровальная лабораторная), для хроматографии и электрофореза, для изготовления фильтрующих элементов очистки смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания (бумага фильтровальная для масел).

<u>Техническая</u> бумага служит основой для изготовления тары и упаковки, прокладочных и обивочных материалов.

Резина представляет собой искусственный материал, получаемый в результате специальной обработки резиновой смеси, основным компонентом которой является каучук.

По назначению резины подразделяются на резины общего и специального назначения. Из резин <u>общего назначения</u> изготовляются автомобильные шины и камеры, транспортерные ленты, ремни ременных передач, изоляция кабелей, рукава и шланги, уплотнительные и амортизационные детали, обувь и др. Резины общего назначения могут использоваться в горячей воде, слабых растворах щелочей и кислот, а также на воздухе при температуре от - 10 до +150 °C.

Резины <u>специального назначения</u> подразделяются на *теплостойкие*, которые могут работать при температуре до 250—350 °C; *морозостойкие*, выдерживающие температуру до -70 °C; *маслобензостойкие*, работающие в среде бензина, других топлив, масел и нефтепродуктов; *светоозоностойкие*, не разрушающиеся при работе в атмосферных условиях в течении нескольких лет, стойкие к действию сильных окислителей; *электроизоляционные*, применяемые для изоляции проводов и кабелей; *электропроводящие*, способные проводить электрический ток.

Композиционными называют сложные материалы, в состав которых входят отличающиеся по свойствам нерастворимые друг в друге компоненты. Основой композиционных материалов является сравнительно пластичный материал, называемый *матрицей*. В матрице равномерно распределены

более твердые и прочные вещества, называемые упрочнителями или наполнителями.

Первые зубчато-ременные передачи в основном синхронизировали вращение ведущего и ведомого валов. В настоящее время зубчато-ременные передачи применяют в станкостроении, автомобилестроении, легкой промышленности, полиграфическом оборудовании, в пишущих и швейных машинках, в бытовой технике, в металлорежущих станках. Зубчато-ременная передача заменяет передачи с плоскими и клиновыми ремнями в полотерах, шлифовальниках, пилах и других портативных ручных инструментах. Зубчатые ремни имеют ограниченное применение при отсутствии обеспечения центровки валов или в случае изменения межцентрового расстояния в процессе работы (например, привод качающихся грохотов). Коррозионная стойкость и отсутствие смазки позволяют применять зубчато-ременной привод на предприятиях пищевой, бумажной, текстильной и фармацевтической промышленности, где не допускается загрязнение продукции.

4. Решение задачи:

Вариант 20.

Задано: $T_{Bbix} = 0.2 \text{ H·m}$; $n_{Bbix} = 255 \text{ мин}^{-1}$; i = 5.02.

Определить: $d_1, d_{a1}, d_{f1}, h_a, h_f, h, d_2, d_{a2}, d_{f2}, a, b_1, b_2, T_{вд}, P_{дв}, T_{дв}, F_t, \eta_{33}$.

Рассчитываемый механизм служит для уменьшения скорости вращения электродвигателя в і число раз и состоит из пары находящихся в зацеплении цилиндрических зубчатых колес (шестерни и колеса). Зубчатые колеса устанавливаются на валах, которые поддерживаются в требуемом положении опорами. Каждый вал имеет две опоры (скольжения или качения), закрепленные в корпусе. Быстроходный вал редуктора соединен с валом электродвигателя муфтой. В качестве опор принимаем подшипники качения.

Ориентировочно определяем требуемую мощность $P_{дв}$ электродвигателя, приняв предварительно значения КПД:

КПД зубчатой передачи $-\eta_3 = 0.9;$ КПД подшипника качения $-\eta_n = 0.99;$ КПД муфты $-\eta_m = 0.97.$

Тогда

$$P_{\text{\tiny ZB}} = k P_{\text{\tiny Bbix}} / \eta \text{ [BT]}, \tag{1}$$

где k - коэффициент запаса, учитывающий необходимость преодоления динамических нагрузок в момент разгона, принимаемый равным 1,05 ... 1,1; $P_{\text{вых}} = T_{\text{вых}} \cdot \omega_{\text{вых}} - \text{требуемая мощность на выходном валу; } \omega_{\text{вых}} = 2\pi n_{\text{вых}}/60 -$ угловая скорость выходного вала, рад/с; $n_{\text{вых}}$ – угловая скорость выходного вала в об/мин; $T_{\text{вых}}$ – момент на выходном валу, $H \cdot m$; η – коэффициент полезного действия электромеханического привода для выбранной схемы он равен

$$\eta = \eta_{\text{M}} \cdot \eta_{\text{n}}^{4} \cdot \eta_{\text{3}} = 0.97 \cdot 0.99^{4} \cdot 0.9 = 0.8386.$$

Скорость вращения выходного вала в рад/с равна

$$\omega_{\text{вых}} = (2.3, 14.255)/60 = 26,69 \text{ рад/с.}$$

Подставив значения η , $T_{\text{вых}}$, $\omega_{\text{вых}}$ в выражение (1) и приняв k=1,1 получим $P_{\text{дв}}=(k\cdot T_{\text{вых}}\cdot \omega_{\text{вых}})/\eta=(1,1\cdot 0,2\cdot 26,69)/0,8386=7,002$ Вт.

Частота вращения электродвигателя

$$n_{AB} = n_{BHX} \cdot i = 255.5,02 = 1280,1 \text{ об/мин.}$$

Из серии двигателей, имеющих скорости вращения 1250, 1280, 1300 об/мин выбираем электродвигатель с n = 1280 об/мин и мощностью P ≥ 7 Вт.

Выбираем число зубьев z_1 шестерни. Так как z_{min} = 17, а рекомендуемое значение числа зубьев шестерни 18 — 30, принимаем z_1 = 20.

Число зубьев зубчатого колеса определяем по формуле

$$z_2 = z_1 \cdot i = 20.5,02 = 100,4.$$

Так как колесо должно иметь целое число зубьев, принимаем z_2 = 100. Тогда фактическое передаточное отношение зубчатой передачи

$$i_{\phi} = z_2/z_1 = 100/20 = 5.$$

Относительная погрешность передаточного отношения зубчатой передачи

$$\Delta i = \left| \frac{i - i_{\phi}}{i} \right| \cdot 100 \% = \frac{5,02 - 5}{5} \cdot 100 \% = 0,4 \%$$

Диаметр ведущего вала, т.е. вала шестерни, принимают близким по размеру диаметру вала двигателя. Считаем, что $d_{\text{дв}} \ge 3$ мм.

Выбираем значение модуля m зацепления из стандартного ряда модулей (0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; ... мм). Принимаем m = 0,5, чтобы выполнялось условие, при котором диаметр окружности впадин зубьев d_f шестерни был бы больше диаметра ее ступицы, т.е. $d_{f1} > 2d_{g1}$.

Предполагая прямозубый тип зубчатых колес, определим диаметр делительной окружности колеса (ведомого звена):

$$d_2 = m \cdot z_2 = 0.5 \cdot 100 = 50 \text{ MM}.$$

Линейная скорость зубчатого колеса в зацеплении

$$v = \omega_{Bhix} \cdot d_2 / 2 = (26,69 \cdot 50 \cdot 10^{-3}) / 2 = 0,66 \text{ m/c}.$$

При линейных скоростях v < 6 м/с принимают тип передачи – прямозубая.

У зубчатых колес со стандартной (нормальной) высотой зуба коэффициент высоты головки зуба $h_a^*=1$, а коэффициент радиального зазора c^* зубьев в зацеплении зависит от модуля и равен

 $c^* = 0.5$ при $m \le 0.5$ мм;

 $c^* = 0.35$ при 0.5 < m < 1.0;

 $c^* = 0.25$ при $m \ge 1.0$ мм.

Высота головки зубьев колес

$$h_a = h_a * \cdot m = 1 \cdot 0.5 = 0.5 \text{ MM}.$$

Высота ножки зубьев колес

$$h_f = m(h_a^* + c^*) = 0.5(1 + 0.5) = 0.75 \text{ MM}.$$

Высота зуба

$$h = h_a + h_f = 0.5 + 0.75 = 1.25 \text{ MM}.$$

Диаметры делительных окружностей зубчатых колес:

шестерни
$$d_1 = m \cdot z_1 = 0.5 \cdot 20 = 10$$
 мм, колеса $d_2 = m \cdot z_2 = 0.5 \cdot 100 = 50$ мм.

Диаметры окружностей вершин зубьев колес:

шестерни
$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = 10 + 2.0,5 = 11$$
 мм, колеса $d_{a2} = d_2 + 2h_a = 50 + 2.0,5 = 52$ мм.

Диаметры окружностей впадин зубьев колес:

шестерни
$$d_{f1} = d_1 - 2h_f = 10 - 2 \cdot 0,75 = 8,5$$
 мм, колеса $d_{f2} = d_2 - 2h_f = 50 - 2 \cdot 0,75 = 48,5$ мм.

Межосевое расстояние а зубчатой передачи

$$a = (d_1 + d_2)/2 = (10 + 50)/2 = 30 \text{ MM}.$$

Длина b зуба определяется по формуле b = ψ_{bd} ·d, где ψ_{bd} – коэффициент ширины b венца колеса по диаметру d делительной окружности, рекомендуется принимать ψ_{bd} = 0,005 ... 0,3.

Длина зуба колеса равна

$$b_2 = 0.05.50 = 2.5 \text{ MM}.$$

Длина зуба шестерни, как более нагруженного звена, определяется по формуле

$$b_1 = b_2 + (0.5 ... 1.0) \text{ MM} = 3.5 \text{ MM}.$$

Окружное усилие в зацеплении определяется по формуле

$$F_t = 2T_{Bblx}/d_2 = 2.0, 2/(50.10^{-3}) = 8 \text{ H}.$$

Уточняем значение КПД зубчатой пары

$$\eta_{33} = 1 - \left[\pi \cdot c \cdot f \cdot \epsilon_{\gamma} \left(\frac{1}{z_{1}} + \frac{1}{z_{2}}\right)\right] \cdot \frac{1}{2} = 1 - \left[3,14 \cdot 1,34 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{100}\right)\right] x$$

$$x_{\frac{1}{2}} = 0,981,$$

где f = 0,1 -коэффициент трения стали по стали (шестерня и зубчатое колесо стальные);

 $\varepsilon_{v} = 1,5 - коэффициент перекрытия пары прямозубых колес;$

с - коэффициент, учитывающий уменьшение КПД зубчатого зацепления при малых нагрузках с = $\frac{F_t+2,92}{F_t+0,174}=\frac{8+2,92}{8+0,174}=1,34.$

Вращающийся момент на ведущем валу зубчатого механизма

$$T_{BA} = T_{BAIX}/(i_{\phi} \cdot \eta_{33} \cdot \eta_{\Pi}^{4}) = 0.2/(5 \cdot 0.981 \cdot 0.99^{4}) = 0.0424 \text{ H·m.}$$

Вращающий момент на валу электродвигателя

$$T_{\text{MB}} = T_{\text{BA}} / \eta_{\text{M}} = 0.0424 / 0.97 = 0.0437 \text{ H·m}.$$

Ответ: d_1 =10 мм; d_{a1} =11 мм; d_{f1} =8,5 мм; h_a = 0,5 мм; h_f = 0,75 мм;h= 1,25 мм; d_2 =50 мм; d_{a2} = 51 мм; d_{f2} = 48,5 мм; a= 30 мм; b_1 = 3,5 мм; b_2 = 2,5 мм; T_{BB} = 0,0424 H+м; P_{AB} = 7,002 BT; T_{AB} = 0,0437 H+м; F_t = 8 H; P_{AB} = 0,981.

5. Список использованной литературы:

Бойков В.П., Городничев Ю.Н., Козачевский Г.Г. Зубчатые ремни. – М.: Химия, 1989 г.

Заплетохин В.А. Соединения деталей приборов. Изд. ЛГУ, 1974 г.

Комаров О.С., Корженцева Л.Ф., Макаева Г.Г. Материаловедение в машиностроении. Учебник, Минск: Высш. шк., 2009 г.

Кудрявцев В.Н. Зубчатые передачи. Машгиз, 1957 г.

Лескова Л.А., Калашник Е.Г. Неразьемные соединения и зубчатые передачи: Пособие для студентов механических специальностей вузов. – Гомель: БелГУТ, 2001 г.

Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. М., Высш. шк., 1971 г.

Пейсахов А.М., Кучер А.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебник. 3-е издание. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2005 г.

Петрусевич А.И. Зубчатые передачи. Сборник «Детали машин». Изд.2. под ред. проф. Н.С. Ачеркана. т. 1. Машгиз, 1954 г.

Пронин Б.А. Зубчатые передачи. М., Знание, 1966 г.

Струк В.А., Пинчук Л.С., Гольдаде В.А., Мышкин Н.К., Витязь П.А. Материаловедение. Учебник. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008 г.

Фролов А.Д. Соединения в конструкциях радиотехнических изделий. М.-Л., «Энергия», 1966 г.