

Министерство сельского хозяйства РФ
Новозыбковский филиал ФГБОУ ВО «Брянский
государственный аграрный университет»

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

для специальности 35.02.08 -Электрификация
и автоматизация сельского хозяйства

Учебное пособие

Новозыбков, 2020

УДК 620.22 (07)

ББК 30.3

М 34

Материаловедение: учебное пособие / сост. А. Ф. Дикий. -
Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. – 116 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины Материаловедение для специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства.

Рекомендовано к изданию методическим советом Новозыбковского филиала Брянского ГАУ от 15 мая 2020 года, протокол №6.

© Брянский ГАУ, 2020

© Дикий А.Ф., 2020

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
Тема 1.1. Строение и свойства материалов	5
Тема 1.2 Металлы и сплавы	14
Тема 1.3 Строительные материалы	16
Тема 1.4 Измерительные инструменты	20
Тема 2.1 Электрические процессы в проводниках с электрическим током	27
Тема 2.2 Материалы малого удельного сопротивления	31
Тема 2.3 Изделия с малым удельным сопротивлением	34
Тема 2.4. Материалы высокого сопротивления	40
Тема 3.1 Электрофизические процессы в диэлектриках	41
Тема 3.2 Физико-химические характеристики диэлектриков	49
Тема 3.3 Твёрдые электроизоляционные материалы	51
Тема 3.4 Керамические и стеклообразные электроизоляционные материалы	53
Тема 3.4 Жидкие электроизоляционные материалы	54
Тема 3.5 Газообразные диэлектрики	56
Тема 4.1 Общие сведения о полупроводниковых материалах ...	59
Тема 4.2 Германий, кремний, карбид кремния	66
Тема 5.1 Физические явления в магнитных материалах	74
Тема 5.2 Магнитомягкие материалы	76
Тема 5.3 Магнитотвердые материалы. Ферриты	82
Тема 6.1. Литейное производство	85
Тема 6.2. Обработка металлов давлением	92
Тема 6.3. Сварочное производство	93
Тема 6.4 Является наиболее универсальной технологией дуговой сварки	97
Тема 6.4 Слесарная обработка материалов	105
Тема 6.5 Обработка конструкционных материалов на металлорежущих станках	109

ВВЕДЕНИЕ

Предметом изучения дисциплины «Материаловедения» является усвоение учащимися знаний о составе, структуре, свойствах, марках металлических сплавов, неметаллических материалов и условиях применения их в промышленности.

Цель курса состоит в том, чтобы студент получил достаточно полное и систематическое представление о составе, структуре, свойствах и поведении материалов в зависимости от воздействия окружающей среды, тепловым, электрическим, магнитным и других видов воздействий. Также привить умение применять полученные знания на практике.

Задачи курса можно считать выполненными, если по его завершении студент:

1. Распознаёт и классифицирует конструкционные и сырьевые материалы по внешнему виду, происхождению, свойствам;
2. Подбирает материалы по их назначению и условиям эксплуатации для выполнения работ;
3. Выбирает и расшифровывает марки конструкционных материалов;
4. Определяет твердость материалов;
5. Определяет режимы отжига, закалки и отпуска стали;
6. Подбирает способы и режимы обработки металлов (литьём, давлением, сваркой, резанием и др.) для изготовления различных деталей.

Учебное пособие поможет студентам специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства приобрести теоретические и практические навыки в классификации материалов.

Тема 1.1. Строение и свойства материалов

Вопросы конспекта:

1. Элементы кристаллографии: кристаллическая решетка, анизотропия; влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов.

2. Фазовый состав сплавов; строение и свойства.

Все твердые вещества по взаимному расположению атомов делят на аморфные и кристаллические.

Аморфными называются твердые вещества, атомы которых в пространстве расположены хаотично. К аморфным относятся смола, клей, канифоль, стекло и др.

Кристаллическими называются твердые вещества, в которых атомы (ионы, молекулы) располагаются в пространстве в строгом повторяющемся порядке, образуя атомно-кристаллическую решетку. Все металлы — вещества кристаллического строения. Кроме металлов кристаллическое строение имеют соль, сахар, алмаз и другие вещества. В промышленных металлах наиболее распространенными являются следующие кристаллические решетки (рис. 1): кубическая объемно-центрированная, кубическая гранецентрированная и гексагональная. В элементарной кубической объемно-центрированной решетке находится девять атомов (восемь в вершинах куба и один в центре). Такую решетку имеют: железо при температуре до 900 и выше 1400° С, хром, вольфрам, ванадий и другие металлы. В кубической гранецентрированной решетке — 14 атомов (восемь в вершинах куба и по одному в центре каждой грани). Такую решетку имеют: железо при температуре выше 900° С, медь, никель, алюминий и другие металлы. В гексагональной решетке, имеющей форму шестигранной призмы, — 17 атомов (12 в вершинах, 2 в центре оснований и 3 внутри призмы). Данная решетка имеется у магния, цинка и других металлов.

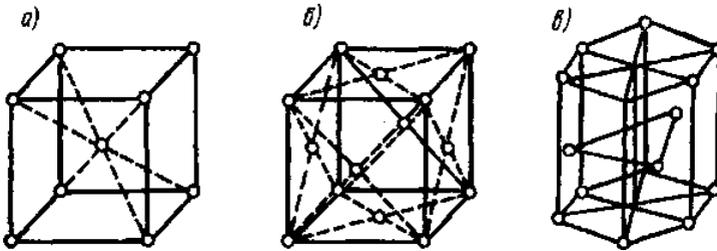


Рис. 1.

Пространственные кристаллические решетки: а — кубическая объемно-центрированная; б — кубическая гранецентрированная; в — гексагональная

Возможны и другие формы кристаллических решеток. Атомы в решетке находятся на определенных расстояниях друг от друга. Расстояния эти очень малы и вычисляются в ангстремах (А); 1 А = 10⁻⁸ см. Расположение атомов, межуатомные расстояния, насыщенность атомами — все это влияет на качество металлов. Особенность расположения атомов в кристаллах и определяет совокупность свойств металлов, отличающих их от неметаллов: металлический блеск, плавкость, теплопроводность, электропроводность, обрабатываемость и анизотропность, т. е. различие свойств в разных плоскостях кристаллической решетки.

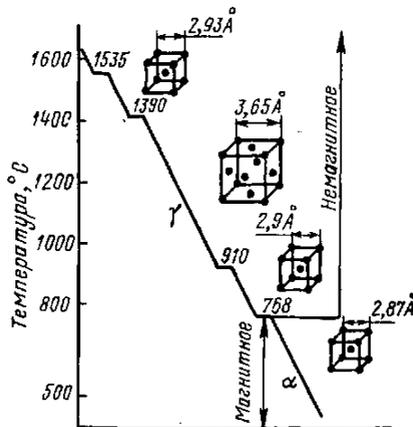


Рис. 2.

Аллотропические превращения в железе и того же металла в разных кристаллических формах называют аллотропией, а процесс перестройки одного вида атомов кристаллической решетки в другой — аллотропическим превращением. Аллотропные формы, в которые кристаллизуется металл, обозначают буквами α , ρ , γ , δ и т. д. Так, при температуре 1539°C железо из жидкого состояния переходит в твердое и образуется δ -железо с объемно-центрированной кубической решеткой (рис. 2); между 1390 и 910°C устойчиво γ -железо немагнитное с гранецентрированной кубической решеткой, которая при дальнейшем охлаждении не перестраивается. При температуре 768°C железо из немагнитного ρ -железа становится магнитным α -железом. Эти модификации имеют важное практическое значение для термической обработки.

Физические свойства материалов

К физическим свойствам материалов относят цвет, плотность, температуру плавления, теплопроводность, тепловое расширение, теплоемкость, электропроводность, магнитные свойства и др.

Цветом называют способность отражать световое излучение с определенной длиной волны. Например, такие металлы, как медь имеет розово-красный цвет, алюминий - серебристо-белый.

Плотность материала характеризует его массой, заключенной в единице объема. По плотности все материалы делят на легкие и тяжелые. Плотность имеет большое значение при создании различных изделий. Например, в самолето- и ракетостроении стремятся использовать более легкие металлы и сплавы (алюминиевые, магниевые, титановые), что способствует снижению массы изделий.

Температурой плавления называют температуру, при которой материал переходит из твердого состояния в жидкое. По температуре плавления различают тугоплавкие материалы и легкоплавкие. Температура плавления имеет большое значение при выборе материалов для изготовления литых изделий, сварных и паяных соединений, термоэлектрических приборов и других изделий. В системе СИ температуру плавления выражают в градусах Кельвина (К).

Теплопроводностью называют способность материала передавать тепло от более нагретых к менее нагретым участкам тела. Серебро, медь, алюминий обладают большой теплопроводностью. Железо имеет теплопроводность примерно в три раза меньше, чем алюминий, и в пять раз меньше, чем медь. Теплопроводность имеет большое значение при выборе материала для деталей. Например, если материала плохо проводит тепло, то при нагреве и быстром охлаждении (термическая обработка, сварка) в нем образуются трещины. Некоторые детали машин (поршни двигателей, лопатки турбин) должны быть изготовлены из материалов с хорошей теплопроводностью. В системе СИ теплопроводность имеет размерность Вт/(м·К).

Тепловым расширением называют способность материалов увеличиваться в размерах при нагревании и уменьшаться при охлаждении. Тепловое расширение характеризуется коэффициентом линейного расширения, коэффициентом объемного расширения. Тепловые расширения должны учитываться при сварке, ковке и горячей объемной штамповке, изготовлении литейных форм, штампов, прокатных валков, калибров, выполнении точных соединений и сборке приборов, при строительстве мостовых ферм, укладке железнодорожных рельсов.

Химические свойства. Химические свойства характеризуют способность материалов сопротивляться окислению или вступать в соединение с различными веществами: кислородом воздуха, растворами кислот, щелочей и др. Чем легче материал вступает в соединение, тем быстрее он разрушается. Химическое разрушение материалов под действием агрессивной среды называют коррозией.

Химические свойства материалов обязательно учитываются при изготовлении тех или иных изделий. Особенно это относится к изделиям или деталям, работающим в химически агрессивных средах.

Под механическими свойствами, как известно, понимают способность металла или сплава сопротивляться воздействию внешних сил. К механическим свойствам относят прочность, вязкость, твердость и др.

Способность металла сопротивляться воздействию внешних сил характеризуется механическими свойствами. Поэтому

при выборе материала для изготовления деталей машин необходимо прежде всего учитывать его механические свойства: прочность, упругость, пластичность, ударную вязкость, твердость и выносливость. Эти свойства определяют по результатам механических испытаний, при которых металлы подвергаются воздействию *внешних сил (нагрузок)*. Внешние силы могут быть статическими, динамическими или циклическими (повторно-переменными). Нагрузка вызывает в твердом теле напряжение и деформацию.

Напряжение - величина нагрузки, отнесенная к единице площади поперечного сечения испытываемого образца.

Деформация - изменение формы и размеров твердого тела под влиянием приложенных внешних сил. Различают деформации растяжения (сжатия), изгиба, кручения, среза. В действительности материал может подвергаться одному или нескольким видам деформации одновременно.

Для определения прочности, упругости и пластичности металлы в виде образцов круглой или плоской формы испытывают на статическое растяжение. Испытания проводят на разрывных машинах. В результате испытаний получают диаграмму растяжения (*рис. 9*). По оси абсцисс этой диаграммы откладывают значения деформации, а по оси ординат - нагрузки, приложенные к образцу.

Прочность - способность материала сопротивляться разрушению под действием нагрузок оценивается пределом прочности и пределом текучести. Важным показателем прочности материала является также удельная прочность - отношение предела прочности материала к его плотности. Предел прочности (временное сопротивление) - это условное напряжение в МПа, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца. Истинное сопротивление разрыву - это напряжение, определяемое отношением нагрузки в момент разрыва к площади минимального поперечного сечения образца после разрыва.

Предел текучести (физический) - это наименьшее напряжение (в МПа), при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки, при которой в диаграмме растяжения наблюдается площадка текучести, Н.

Площадку текучести имеют в основном только малоуглеродистая сталь и латуни. Другие сплавы площадки текучести не имеют. Для таких материалов определяют предел текучести (условный), при котором остаточное удлинение достигает 0,2% от расчетной длины образца

Упругость - способность материала восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия нагрузки, оценивают пределом пропорциональности и пределом упругости.

Предел пропорциональности - напряжение (М Па), выше которого нарушается пропорциональность между прилагаемым напряжением и деформацией образца.

Предел упругости (условный) - это условное напряжение в МПа, соответствующее нагрузке, при которой остаточная деформация впервые достигает 0,05% от расчетной длины образца.

Пластичность - это способность материала принимать новую форму размеры под действием внешних сил не разрушаясь. Характеризуется относительным удлинением и относительным сужением.

Относительное удлинение (после разрыва) - это отношение приращения расчетной длины образца после разрыва к его первоначальной расчетной длине, выраженное в процентах.

Относительное сужение (после разрыва) - это отношение разности начальной и минимальной площадей поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади поперечного сечения, выраженное в процентах.

Чем больше значения относительного удлинения и сужения для материала, тем он более пластичен. У хрупких материалов эти значения близки к нулю. Хрупкость конструкционного материала является отрицательным свойством.

Ударная вязкость - это способность материала сопротивляться динамическим нагрузкам. Определяется как отношение затраченной на излом образца работы W (в МДж) к площади его поперечного сечения F (в m^2) V в месте надреза $KC=W / P$.

Для испытания изготавливают специальные стандартные образцы, имеющие форму квадратных брусочков с надрезом. Испытывают образец на маятниковых копрах. Свободно падающий

маятник копра ударяет по образцу со стороны, противоположной надрезу. При этом фиксируется работа, затраченная на излом.

Определение ударной вязкости особенно важно для некоторых металлов, работающих при минусовых температурах и проявляющих склонность к хладноломкости. Чем ниже порог хладноломкости, т. е. температура, при которой вязкое разрушение материала переходит в хрупкое, и чем больше запас вязкости материала, тем больше ударная вязкость материала.

Хладноломкость - снижение ударной вязкости материалов при низких температурах.

Циклическая вязкость - это способность материалов поглощать энергию при повторно-переменных нагрузках. Материалы с высокой циклической вязкостью быстро гасят вибрации, которые часто являются причиной преждевременного разрушения. Например, чугун, имеющий высокую циклическую вязкость, в некоторых случаях (для станин и других корпусных деталей) является более ценным материалом, чем углеродистая сталь.

Твердостью называют способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела. Высокой твердостью должны обладать металлорежущие инструменты: резцы, сверла, фрезы, а также поверхностно упрочненные детали. Твердость металла определяют способами Бринелля, Роквелла и Виккерса.

Усталостью называют процесс постепенного накопления повреждений материала под действием повторно-переменных напряжений, приводящий к образованию трещин и разрушению. Усталость металла обусловлена концентрацией напряжений в отдельных его объемах, в которых имеются неметаллические включения, газовые пузыри, различные местные дефекты и т. д. Характерным является усталостный излом, образующийся после разрушения образца в результате многократного нагружения и состоящий из двух разных по внешнему виду частей. Одна часть излома 1 с ровной (затертой) поверхностью образуется вследствие трения поверхностей в области трещин, возникших от действия повторно-переменных нагрузок, другая часть 2 с зернистым изломом возникает в момент разрушения образца. Испытания на усталость проводят на специальных машинах. Наиболее распространены машины для повторно-переменного

изгибания вращающегося образца, закрепленного одним или обоими концами, а также машины для испытаний на растяжение-сжатие и на повторно-переменное кручение. В результате испытаний определяют предел выносливости, характеризующий сопротивление усталости.

Выносливость - свойство материала противостоять усталости. Предел выносливости - это максимальное напряжение, которое может выдержать металл без разрушения заданное число циклов нагружения.

Технологические свойства

Эти свойства характеризуют способность металлов подвергаться обработке в холодном и горячем состояниях. Технологические свойства определяют при технологических пробах, которые дают качественную оценку пригодности металлов к тем, или иным способам обработки. К основным технологическим свойствам относят: обрабатываемость резанием, свариваемость, ковкость, литейные свойства и др.

Обрабатываемость резанием - одно из важнейших технологических свойств, потому что подавляющее большинство заготовок, а также деталей сварных узлов и конструкций подвергается механической обработке. Одни металлы обрабатываются хорошо до получения чистой и гладкой поверхности, другие же, имеющие высокую твердость, плохо. Очень вязкие металлы с низкой твердостью также плохо обрабатываются: поверхность получается шероховатой, с задирами. Улучшить обрабатываемость, например, стали можно термической обработкой, понижая или повышая ее твердость.

Свариваемость - способность металлов образовывать сварное соединение, свойства которого близки к свойствам основного металла. Ее определяют пробой сваренного образца на загиб или растяжение.

Ковкость - способность металла обрабатываться давлением в холодном или горячем состоянии без признаков разрушения. Ее определяют кузнечной пробой на осадку до заданной степени деформации.

Литейные свойства металлов характеризуют способность их образовывать отливки без трещин, раковин и других дефектов. Основными литейными свойствами являются жидкотекучесть, усадка и ликвация.

Жидкотекучесть - способность расплавленного металла хорошо заполнять полость литейной формы.

Усадка при кристаллизации - это уменьшение объема металла при переходе из жидкого состояния в твердое; является причиной образования усадочных раковин и усадочной пористости в слитках и отливках.

Ликвация - неоднородность химического состава сплавов, возникающая при их кристаллизации, обусловлена тем, что сплавы, в отличие от чистых металлов, кристаллизуются не при одной температуре, а в интервале температур. Чем шире температурный интервал кристаллизации сплава, тем сильнее развивается ликвация, причем наибольшую склонность к ней проявляют те компоненты сплава, которые наиболее сильно влияют на ширину температурного интервала кристаллизации (для стали, например, сера, кислород, фосфор, углерод).

Эксплуатационные свойства

Эти свойства определяют в зависимости от условий работы машины специальными испытаниями. Одним из важнейших эксплуатационных свойств является износостойкость.

Износостойкость - свойство материала оказывать сопротивление износу, т.е. постепенному изменению размеров и формы тела вследствие разрушения поверхностного слоя изделия при трении. Испытание металлов на износ проводят на образцах в лабораторных условиях, а деталей - в условиях реальной эксплуатации. При испытаниях образцов моделируются условия трения, близкие к реальным. Величину износа образцов или деталей определяют различными способами: измерением размеров, взвешиванием образцов и другими методами.

К эксплуатационным свойствам следует также отнести хладностойкость, жаропрочность, антифрикционность и др.

Тема 1.2 Металлы и сплавы

Вопросы конспекта:

1. Сплавы металлов
2. Сведения о производстве
3. Распространение сплавов в современной промышленности

Сплавы металлов – это материалы, полученные методом выплавки, при производстве которых были использованы два или более металлических элемента (в химическом смысле), а также (опционально) специальные присадки. Одним из первых материалов такого рода была бронза. В ее состав входит 85% меди и 15% олова (80:20 в случае колокольной бронзы). В настоящее время существует несколько разновидностей этого соединения, в составе которых вообще нет олова. Но встречаются они не так уж и часто.

Нужно четко понимать, что сплавы металлов в большинстве случаев образуются вообще без участия человека. Дело в том, что получить абсолютно чистый с химической точки зрения материал можно только в лаборатории. В любом металле, который используется в бытовых условиях, наверняка есть следы другого элемента. Классический пример – золотые украшения. В каждом из них есть определенная доля меди. Впрочем, в классическом смысле под этим определением все равно понимают соединение двух и более металлов, которое было целенаправленно получено человеком.

Вся история человека является отличным примером того, как сплавы металлов оказались способны оказать огромное влияние на развитие всей нашей цивилизации. Не случайно есть даже длительный исторический период, который называется «Бронзовый век».

Сведения о производстве

В принципе, в настоящее время под «сплавом» вполне может пониматься материал, в основе которого лежит только один химический элемент, но «разбавленный» целым пакетом присадок. Наиболее распространенный способ их получения, расплавление до жидкого состояния, мало изменился с глубокой древности.

К примеру, анализ металлов и сплавов показывает, что древние индийцы овладели удивительным для своего времени уровнем обработки металла. Они даже начали создавать сплавы с использованием тугоплавкого цинка, что и в наше время является довольно-таки трудоемкой и сложной процедурой.

На сегодняшний день для этих целей довольно широко используется также порошковая металлургия. Особенно часто этим методом обрабатывают черные металлы и сплавы на их основе, так как в этом случае зачастую требуется максимальная дешевизна как самого процесса, так и выпускаемой продукции.

Распространение сплавов в современной промышленности

Следует заметить, что все металлы, которые интенсивно используются современной промышленностью, являются именно сплавами. Так, более 90% всего получаемого в мире железа идет на изготовление чугунов и различных сталей. Объясняется такой подход к делу тем, что сплавы металлов в большинстве случаев демонстрируют лучшие свойства, нежели чем их «прародители».

Так, предел текучести чистого алюминия составляет всего лишь 35 Мпа. А вот если в него добавить 1,6% меди, магния и цинка в соотношении 2,5% и 5,6% соответственно, то этот показатель может легко превысить даже 500 МПа. Кроме прочего, можно значительно улучшить свойства электропроводности, теплопроводности или другие. Никакой мистики в этом нет: в сплавах строение кристаллической решетки изменяется, что и позволяет приобретать им прочие свойства.

Проще говоря, количество такого рода материалов в наши дни велико, но оно постоянно продолжает расти.

Тема 1.3 Строительные материалы

Вопросы конспекта:

- 1. Кристаллизация металлов и сплавов**
- 2. Форма кристаллов и строение слитков**
- 3. Получение монокристаллов**
- 4. Аморфное состояние материалов**

Кристаллизация металлов и сплавов.

Разработка новых сплавов и новых совершенных методов обработки для получения более высоких свойств существующих сплавов требует исследования структуры и превращений в сплавах, так как свойства сплавов зависят не только от их химического состава, но и от структуры и характера протекающих в них превращений.

Температура, при которой происходит переход металла из одного аллотропического вида в другой, называется критической. Величины этих температур видны на диаграмме охлаждения и нагревания чистого железа в виде участков, свидетельствующих о том, что фазовые превращения происходят с выделением теплоты при нагревании.

Все металлы находятся в твердом состоянии до определенной температуры. При нагреве металла амплитуда колебания атомов достигает некоторой критической величины, при которой происходит разрушение кристаллической решетки и переход металлов из твердого в жидкое состояние. Процесс кристаллизации заключается в росте кристаллов путем отложения новых кристаллических групп вокруг возникших зародышей. Рост кристаллических образований происходит в определенных направлениях. Вначале образуются главные оси кристалла путем роста в трех взаимно перпендикулярных направлениях, а затем от каждой из этих осей образуются новые и возникает не полностью заверченный кристалл, называемый дендритом. В дальнейшем все промежутки между осями дендрита заполняются упорядоченно расположенными атомами.

В условиях несвободной кристаллизации образующиеся кристаллы получают неправильные очертания и форму и назы-

ваются кристаллитами или зернами. Величина зерен оказывает существенное влияние на механические свойства металлов: чем мельче зерна, тем прочнее металл.

Технические металлы и сплавы представляют собой поликристаллические тела, состоящие из большого числа различно ориентированных кристаллических зерен (поперечные размеры зерен — 0,001...0,1 мм). Поэтому в целом металлы и сплавы можно считать условно изотропными телами.

Пространственные кристаллические решетки образуются в металле при его переходе из жидкого состояния в твердое. Этот процесс называется **кристаллизацией**. Превращения, происходящие в процессе кристаллизации, имеют важное значение, так как в значительной степени определяют свойства металла. Впервые процессы кристаллизации были изучены русским ученым Д. К. Черновым. Кристаллизация состоит в следующем. В жидком металле атомы непрерывно движутся. По мере понижения температуры движение замедляется, атомы сближаются и группируются в кристаллы. Эта первичная группа кристаллов получила название центров кристаллизации. Далее к этим центрам присоединяются вновь образующиеся кристаллы. Одновременно продолжается образование центров.

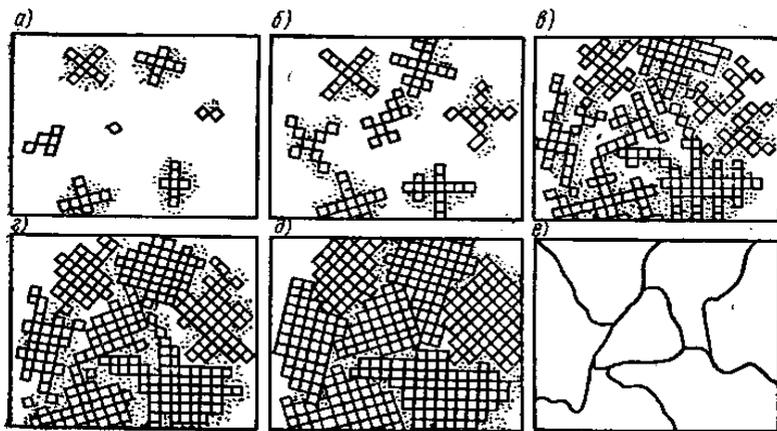


Рис. 3.

Схема процесса кристаллизации металла состоит из двух стадий: образования центров кристаллизации и роста кристаллов вокруг этих центров. На рис. 2 показан механизм кристаллизации. Сначала рост кристаллов не встречает препятствий (рис. 2, а), и растущие кристаллы сохраняют правильность строения кристаллической решетки. При дальнейшем движении кристаллы сталкиваются, и образовавшиеся группы имеют уже неправильную форму, но сохраняют правильность строения внутри каждого кристалла. Такие группы кристаллов называют зернами (рис. 2, б, в, г и д). На рис. 2, е показаны границы зерен различных размеров, что влияет на эксплуатационные свойства металла. Крупнозернистый металл имеет низкое сопротивление удару, при обработке мешает получению требуемого класса шероховатости поверхности. Размеры зерен зависят от различных факторов: природы самого металла и условий кристаллизации.

Так как процессы кристаллизации зависят от температуры и протекают во времени, то кривые охлаждения (рис. 4) строятся в координатах температура — время. На кривой 1 показан идеальный процесс кристаллизации металла без переохлаждения. Сначала температура понижается равномерно — кривая идет вниз. При достижении температуры затвердевания падение температуры прекращается — на кривой образуется горизонтальный участок. Это объясняется тем, что группировка атомов идет с выделением тепла.

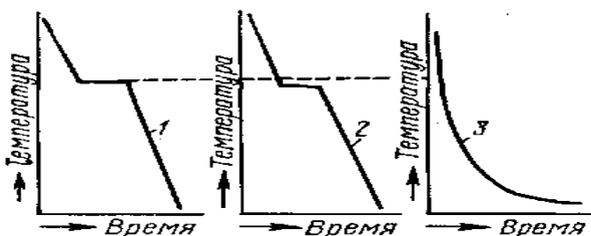


Рис. 4. Кривые охлаждения при кристаллизации: 1 — теоретическая кривая кристаллизации металла; 2 — кривая кристаллизации металла с переохлаждением; 3 — кривая кристаллизации неметалла.

По окончании затвердевания температура снова понижается. По закону кристаллизации чистых металлов каждый металл кристаллизуется при строго индивидуальной температуре. Практически кристаллизация протекает несколько иначе, так как часто имеет место переохлаждение, т. е. металл при температуре затвердевания остается жидким, и кристаллизация начинается при более низкой температуре. Разница между идеальной и истинной температурой кристаллизации называется степенью переохлаждения. Кривая 2 соответствует процессу кристаллизации с переохлаждением. Кривая 3 характерна для кристаллизации неметаллов: нет четко выраженной температуры кристаллизации, затвердевание происходит постепенно. Степень переохлаждения является важнейшим фактором, определяющим величину зерна. При большой скорости охлаждения степень переохлаждения больше и зёрна мельче. Так, при отливке тонкостенных изделий получается мелкозернистая структура, при отливке толстостенных — крупнозернистая. Вторичная кристаллизация (аллотропия). Некоторые металлы: железо, кобальт, олово и др. — имеют в твердом состоянии две и более кристаллических решеток при неодинаковых температурах.

Поверхностный слой при обработке деталей ППД формируется в результате сложных взаимосвязанных явлений, происходящих в очаге деформирования и прилегающих к нему зонах: многократных упругих и пластических деформаций, изменения прочностных и пластических свойств деформируемого металла, трения и тепловых процессов, изменения микро- и макроструктуры, микрогеометрии самой поверхности и др. Основные параметры ППД следующие: упругая и пластическая деформации в очаге деформирования, площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, сила воздействия.

Для повышения долговечности и несущей способности транспортных деталей широко используется методы **упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД)**.

Упрочнение выполняется с целью повышения сопротивления усталости и твердости поверхностного слоя металла и формирования в поверхностном слое напряжений сжатия, а также регламентированного микрорельефа.

Упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием применяют на финишных операциях технологического процесса, вместо или после термообработки, и часто вместо абразивной или отделочной обработки.

Поверхностное пластическое деформирование, выполняемое без использования внешнего тепла и обеспечивающее создание поверхностного слоя с заданным комплексом свойств называют **наклепом**. В результате наклепа повышаются все характеристики сопротивления металла деформации, понижается пластичность и увеличивается твердость.

Тема 1.4 Измерительные инструменты

Вопросы конспекта:

- 1. Основы измерения и измерительные приборы и инструменты**
- 2. Нормализованные универсальные измерительные инструменты**
- 3. Специальные измерительные инструменты**
- 4. Основы измерения и измерительные приборы и инструменты**

При выполнении жестяницких работ постоянно возникает необходимость измерять детали. Обычно измерения сводятся к определению линейных размеров (длины, диаметра) или углов, образованных двумя плоскостями. Однако, несмотря на такую кажущуюся простоту измерений, на практике используют самые разнообразные измерительные инструменты. Это объясняется сложностью форм деталей и трудностью, а иногда и невозможностью определить размер одним инструментом. Главная же причина многообразия измерительных приборов заключается в различных требованиях, предъявляемых к точности обработки деталей. Не все детали нужно изготавливать с одинаковой точностью.

Часто при обработке можно ограничиться точностью в 0.5 мм. В этом случае линейные размеры деталей определяются из-

мерительной линейкой, а углы с точностью до 1° измеряют простейшим угломером – транспортиром.

Если нельзя непосредственно определить размер детали одним инструментом, применяют кронциркули и нутромеры.

Когда при сборке одну деталь пригоняют к другой, требуется уже более высокая точность $-0.1-0.2$ мм. В этих случаях применяют штангенциркули, штангенглубиномеры и другой более сложный инструмент. Особо точные изделия измеряют микрометрами, штихмасами, калибрами.

Заготовки, детали и изделия в процессе изготовления подвергаются измерениям. Под измерениями обычно понимается сравнение данной величины с другой величиной такого же рода, принятой за образец.

Во всех случаях измерений определяют степень точности параметров изготавливаемых заготовок, деталей и изделий путем сравнения фактических величин, полученных в результате измерения, с размерами, указанными в чертеже.

Как известно, ни одно измерение не может быть проведено абсолютно точно. Между измерительным значением величины и ее действительным значением существует всегда некоторая разница, которая называется погрешностью измерения. Чем меньше погрешность измерения, тем выше точность измерения.

К основным показателям измерительных инструментов и приборов, позволяющим сравнивать их между собой, относятся следующие:

Цена деления шкалы инструмента или прибора – значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы (расстояние между двумя соседними штрихами) К примеру, цена деления шкалы измерительной линейки составляет 1 мм, а малой шкалы индикатора – 0.01 мм.

Пределы измерений инструмента (прибора) – наибольшее и наименьшее значение величины, которые могут быть измерены данным инструментом (прибором). У приборов, имеющих одинаковую по размеру шкалу, пределы измерений могут быть различными. Так, у микрометров со шкалой в 25 мм пределы измерений могут быть 0-25 мм, 25-50 мм, 50-75 мм и т.д.

Точность отсчета инструмента (прибора) обычно равна половине цены деления. С помощью особых устройств точность

отсчета можно повысить (например, у штангенциркуля применением нониуса).

Измерительное усилие – усилие в месте контакта инструмента (прибора) с измеряемой деталью. Резкие колебания измерительного усилия отражаются на точности измерений.

Погрешность показаний – это такой показатель, который имеет решающее значение для выбора средств измерений. Он выражается разностью между действительным значением измеряемой величины и теми ее значениями, которые дает инструмент (прибор). Причинами появления погрешности могут быть неточности при изготовлении инструмента, измерения измерительного усилия, разница в температурных деформациях инструмента и измеряемой детали и т.д. Значение допустимой максимальной погрешности тех или иных средств измерений устанавливается стандартом.

Точность измерения характеризует ту ошибку, которая неизбежна при работе самым точным инструментом или прибором определенного вида. На точность измерения влияют: точность и чувствительность измерительного инструмента, ошибки в методах измерения, неровности измеряемой поверхности, не одинаковое давление на измерительный инструмент, температура среды, окружающей измерительный инструмент, умение пользоваться измерительным инструментом, условия работы (например, освещение, организация рабочего места).

Наиболее широко распространен контактный метод измерения. Этот метод основан на непосредственном соприкосновении измерительного инструмента с измеряемым предметом.

Достоинство контактного метода – простота пользования измерительными приборами и инструментами и невысокая стоимость их.

Недостатками этого метода измерения является большая зависимость точности измерений от умения пользоваться измерительным инструментом и постоянный износ (истирание) рабочих поверхностей измерительного инструмента.

Точность измерения обуславливается классом чистоты обработки измеряемой поверхности, степенью точности их формы и деформации, происходящими при контакте измеряемого предмета с измерительным инструментом.

Заготовки, детали и изделия в жестяницком деле изготавливают с разной точностью, т.е. в пределах 4-7 классов точности.

В соответствии с этим для измерения применяют различные нормированные универсальные и специальные измерительные инструменты.

Нормализованные универсальные измерительные инструменты

К нормализованным универсальным измерительным инструментам, широко применяемым при выполнении жестяницких работ относятся: линейки измерительные металлические – для наружных и внутренних измерений с точностью до 0.5 мм; метры складные металлические – для наружных измерений с точностью до 0.5 мм; рулетки измерительные металлические – для наружных измерений с точностью до 1 мм; штангенциркули – для измерения наружных и внутренних размеров деталей с точностью до 0.1 мм; микрометры гладкие – для измерения наружных размеров с точностью до 0.01 мм; угольники поверочные 90°; – для проверки наружных и внутренних прямых углов; угломеры с нониусом – для измерения углов от 0 до 180°.

Штангенциркуль. Им измеряют внутренние и наружные размеры детали, а также глубину глухих отверстий. Штангенциркули изготавливают с пределами измерений 0-125, 0-200, 0-320, 0-500, 250-710 и т.д. до 800-2000 мм и точностью отсчета 0.1 и 0.05 мм.

Основная часть штангенциркуля – линейка-штанга, на которой нанесена миллиметровая шкала. Штанга имеет на конце неподвижные губки. По штанге перемещается рамка с подвижными губками. Чтобы не сбить отсчет после измерения, рамку закрепляют на штанге стопорным винтом. Вместе с рамкой перемещается и глубиномер, так как они жестки связаны между собой.

В нижней части рамки нанесена вспомогательная шала, называемая нониусом.

Перед употреблением штангенциркуля нужно убедиться, что он исправен. Инструмент пригоден для работы, если на нем не обнаружено забоин и других механических повреждений,

губки его не имеют перекоса, нулевые штрихи кониуса и штанги совпадают, а между рамкой и штангой не ощущается ни зазора, ни заедания.

Штангенциркуль показывает точные размеры в том случае, когда он установлен правильно, без перекоса, его губки плотно соприкасаются с измеряемой деталью, но в то же время деталь имеет возможность скользить между губками.

Острые концы губок служат для измерения диаметров в узких канавках, имеющих полукруглые выточки. Цилиндрические детали следует измерять плоскими частями губок. Острыми губками пользуются также при измерении диаметров отверстий.

Диаметр цилиндрической детали измеряют в нескольких сечениях по длине и двух взаимно перпендикулярных направлениях, чтобы выяснить, не имеет ли деталь конусности или овальности.

Штангенглубиномер служит для измерения глубины глухих отверстий, канавок, высоты выступов, пазов.

Пределы измерений: 0-200, 0-320 и 0-500 мм и точность отсчета 0.1 и 0.05 мм.

Штангенглубиномер состоит из штанги, основания, рамки с нониусом и стопорным винтом и специального микрометрического устройства для медленной подачи штанги при окончательной установке инструмента.

Измерительными поверхностями штангенглубиномера служат основание и торец штанги.

Порядок отсчета размеров и точность измерения у штангенглубиномера те же, что и у штангенциркуля.

До начала измерений совмещают торец штанги с плоскостью основания и проверяют, совпадают ли нулевые штрихи штанги и нониуса.

Штангенреймус – инструмент для точной разметки.

Микрометр служит для измерения наружных размеров деталей с точностью до 0.01 мм.

Микрометрами можно измерять разные расстояния, но интервал измерений редко превышает 25-50 мм. Поэтому, чтобы определить размеры в интервале от 0 до 75 мм, приходится пользоваться тремя микрометрами: с пределами измерений по шкале 0-25 мм, 25-50 мм, 50-75 мм.

Специальные измерительные инструменты

При выполнении жестяничных работ применяют различные специальные измерительные инструменты:

Листовые шаблоны.

Для проверки размеров заготовок и деталей применяют листовые шаблоны, которые изготавливают из листовой стали толщиной от 0.5 до 3 мм с содержанием углерода не менее 0.5%.

В зависимости от количества, точности и величины изготавливаемых и проверяемых деталей листовые шаблоны могут быть закаленными и незакаленными.

Листовые шаблоны могут иметь самую разнообразную форму, которая зависит от формы и профиля проверяемой заготовки или детали.

Для проверки шаблоны прикладывают к проверяемой поверхности и по величине просвета судят о точности изготавливаемой детали.

Точность такой проверки примерно 0.01 мм.

Контрольные болванки.

Для контроля пространственных деталей, особенно сложной формы (типа капотов, зализов, обтекателей), применяют контрольные болванки, выполняющие роль пространственных эталонов (макетов) поверхности.

Контрольные болванки изготавливают из дерева или песчано-клеевой массы (85% речного песка и 15% специального клея).

Поверхность контрольных болванок шпаклюют, грунтуют и наносят нужные контуры деталей и их элементов с разметкой и простановкой необходимой информации.

Скобы нерегулируемые листовые.

Для измерения мерных заготовок и деталей длиной от 10 до 300 мм с предельными отклонениями 3-го и более грубых классов точности, изготавливаемых партиями, применяют скобы нерегулируемые листовые двух видов: цельные односторонние и дельные двусторонние. Эти скобы имеют длину от 32 до 340 мм, толщину от 3 до 6 мм, вес от 0.015 до 0.620 кг.

Для измерения заготовок и деталей длиной свыше 300 до 500 мм применяют скобы нерегулированные трубчатые двусторонние и скобы нерегулированные сборные двусторонние.

Скобы нерегулированные трубчатые сварные предназначены для измерений заготовок и деталей с предельными отклонениями 3-го и более грубых классов точности. Они имеют длину от 370 до 570 мм и вес от 1.165 до 1.9 кг.

Скобы нерегулируемые сборные двусторонние предназначены для измерений заготовок с предельными отклонениями 3-го и более грубых классов точности. Они имеют длину от 370 до 570 мм и вес от 1.165 до 1.9 кг.

Малкометры.

Применяют для определения малок. Малкой называется угол, составленный плоскостью кромки (отбортовки) детали с перпендикуляром к плоскости самой детали.

Малка может быть открытой, если кромка и плоскость детали составляет тупой угол и закрытой, если угол острый.

Инструменты для угловых измерений.

Для измерений наружных и внутренних углов, конусов и уклонов применяют угольники, шаблоны, углометры, уровни и угломерные плитки.

Угольники, применяемые для измерения и проверки наружных и внутренних прямых углов, бывают плоские и цилиндрические.

Их выполняют четырех классов точности: 0 (наиболее точные), 1, 2 и 3.

Точные угольники с фасками называют лекальными. Угольники с широким основанием (с широкой короткой стороной) и цилиндрические удобны для установки на проверочной плите при проверке изделия "на просвет".

Угловые шаблоны служат для контроля углов, не равных 90°;. Об отклонении угла судят по световой щели ("на просвет") или по толщине шупа, введенного между изделием и шаблоном.

Углометры – универсальные средства измерений наружных и внутренних углов.

Уровни служат для измерения небольших угловых отклонений поверхности от горизонтального положения. Основная часть уровня – стеклянная трубка (ампула), заполненная жидкостью (эфиром) настолько, чтобы в ней оставался небольшой пузырь воздуха, всегда занимающий верхнее положение.

Ампула имеет деления, по которым определяют значение уклона. Цена деления ампулы обычно составляют доли миллиметра.

Уровни бывают брусковые и рамные.

Рамным уровнем можно не только проверять горизонтальность поверхностей, но и контролировать положение вертикально установленных деталей, приставляя его к детали боковой плоскостью.

Угловые мерные плитки, представляют собой призмы с боковыми сторонами, направленными под различными углами.

Используют угловые плитки для точных измерений углов изделий и угловых шаблонов.

Плитки изготавливают в виде наборов, как и плоско – параллельные концевые меры длины, и применяют по отдельности и блоками, которые закрепляют в специальных держателях (рамках).

Тема 2.1 Электрические процессы в проводниках с электрическим током

Вопросы конспекта:

- 1. Проводники в электрическом поле**
- 2. Принцип суперпозиции полей**

Проводники в электрическом поле.

Проводники в электрическом поле электризуются под действие электрических сил. На их поверхности появляются свободные электрические заряды. Эти заряды создают внутренне электрическое поле, которое компенсирует внешнее. Заряд внутри проводника помещённого в электрическое поле равен нулю.

Итак, теперь подробнее. Проводник это такое вещество, в котором присутствуют свободные заряды. Свободные значит ни к чему не привязанные, и могут свободно перемещаться в пределах вещества. Типичными проводниками являются металлы. Также к ним относятся электролиты и плазма.

В металлах свободными зарядами являются электроны, так как они не привязаны к своим ядрам и могут свободно перемещаться. Что они и делают под действием тепла. То есть совершают хаотическое тепловое движение. В электролитах носители зарядов это положительные и отрицательные ионы. В плазме свободными носителями зарядов являются ионы и электроны.

Когда в проводнике электрон отрывается от атома, то атом превращается в положительно заряженный ион. Таким образом, внутри проводника есть как положительные, так и отрицательные заряды. Но поле внутри него отсутствует, так как заряды компенсируют друг друга.

При помещении металлического проводника во внешнее электрическое поле на свободные электроны внутри него начинают действовать силы электрического поля. Таким образом, что они начинают двигаться в направлении действия силы. Но при этом они все также совершают и тепловое движение. Как известно движение электрических зарядов внутри проводника это электрический ток. Но этот ток будет протекать недолго. До тех пор пока на одной из поверхностей не образуется избыточный положительный заряд. А на другой отрицательный.

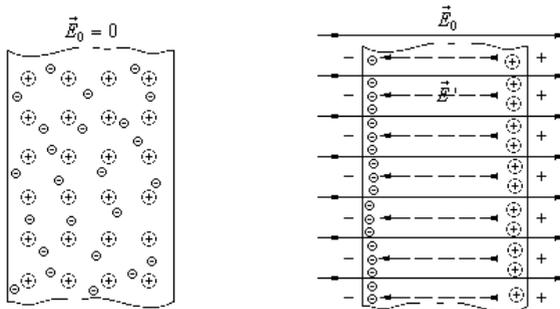


Рис. 5. Проводник в отсутствии и наличии внешнего электрического поля

Эти заряды приведут к образованию внутреннего электрического поля. Которое будет стремиться препятствовать внешнему. В конечном счете, внутреннее поле станет по напряжённости таким же, как и внешнее. Следовательно, внутри проводника эти поля скомпенсируются и напряжённость будет равна нулю. И к этому моменту ток в проводнике прекратится. На самом деле этот процесс происходит очень быстро.

После образования внутреннего поля, которое создается зарядами, находящимися на поверхностях проводника. Заряды внутри проводника будут отсутствовать. Так как они перерас-

пределятся и уйдут к стенкам. В этот момент можно вырезать полость внутри проводника и картина поля в этом случае не изменится. Это свойство используется для защиты от электрического поля. Защищаемый объект помещается в замкнутый металлический экран и заземляется. Экран может быть даже не цельным, а выполненным из густой металлической сетки.

Принцип суперпозиции полей

Принцип суперпозиции полей, также называемый принципом наложения, является условностью. Согласно которой некоторый сложный процесс взаимодействия между определённым числом объектов можно представить в виде суммы взаимодействий между отдельными объектами. Принцип суперпозиции применим лишь к тем системам, которые описываются линейными уравнениями. К примеру, электромагнитная волна распространяется в вакууме. Свойства вакуума не меняются при воздействии на него волны. И все эффекты, которые возникают при распространении этой волны, в случае если она негармоническая можно представить в виде суммы эффектов создаваемых отдельными гармониками. Этот же принцип применим и к полю создаваемому скоплением зарядов. Суммарное поле можно разделить на отдельные поля, которые создаются каждым зарядом в отдельности. И наоборот общее поле будет состоять из суммы полей отдельных зарядов. Графически принцип суперпозиции полей можно представить в виде геометрической суммы векторов силы, которые действуют на пробный заряд, помещённый в поле точечных электрических зарядов.

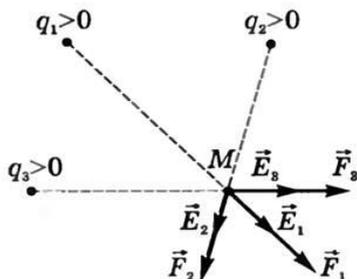


Рис. 6. Графическое представление принципа суперпозиции

Если поле создано простейшей совокупностью зарядов. Которая состоит из положительного и отрицательного зарядом находящихся на некотором расстоянии друг от друга. То результирующее поле в точке наблюдения находится, с помощью правила параллелограмма.

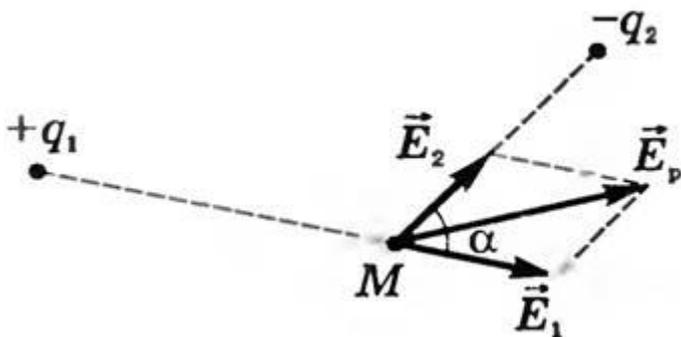


Рис. 7. Иллюстрация к правилу параллелограмма

В случае если поле создается заряженным телом, имеющим протяжённые линейные размеры. То его необходимо мысленно разбить на небольшие участки, действие которых можно считать аналогичным действию точечных зарядов. И провести геометрическое суммирование полей этих отдельных участков. Таким образом, применив принцип суперпозиции полей к массивному телу. Принцип суперпозиции не является фундаментальным законом или постулатом. Он всего лишь вытекает из других принципов, например в электростатике основой для принципа суперпозиции являются уравнения Максвелла. Так как они линейны для вакуума это и даёт основу для применения этого принципа. Но скажем если рассматривать в качестве среды не вакуум. А скажем ферромагнетик, то линейность в данной среде отсутствует. Так как намагниченность ферромагнетика определяется кривой намагниченности. Которая конечно и имеет некоторый участок обладающий линейностью, но в целом имеет и участок насыщения с резко выраженной нелинейно-

стью. И принцип суперпозиции в данном случае не применим. Также нельзя применять принцип суперпозиции и к взаимодействию атомов и молекул между собой. Например, если взять два атома, у которых электроны находятся во взаимодействии. И поднести к ним третий такой же атом. Часть электронов от первых двух атомов притянется и вступит во взаимодействие с третьим атомом. То есть первоначальное распределение энергии в системе изменится. Изначальная сила взаимодействия между электронами и ядрами первых двух атомов уменьшится. То есть третий атом влияет не только на электроны, но и на ядра атомов.

Тема 2.2 Материалы малого удельного сопротивления

Вопросы конспекта:

- 1. Материалы малого удельного сопротивления**
- 2. Применение материалов с малым удельным сопротивлением**

Материалы малого удельного сопротивления.

Удельное электрическое сопротивление или просто удельное сопротивление — фундаментальная физическая характеристика проводящего материала, которая характеризует способность вещества препятствовать прохождению электрического тока. Обозначается греческой буквой ρ (произносится как ро) и рассчитывается исходя из эмпирической формулы для расчёта сопротивления, полученной Георгом Омом.

$$R = \rho \cdot L/S$$

или, отсюда

$$\rho = R \cdot S/L$$

где R — сопротивление в Омах, S — площадь в м^2 , L — длина в м

Размерность удельного электрического сопротивления в Международной системе единиц СИ выражается в Ом•м.

Это сопротивление проводника длиной в 1 м и площадью поперечного сечения в 1 м²/ величиной в 1 Ом.

В электротехнике, для удобства расчётов, принято пользоваться производной величины удельного электрического сопротивления, выражаемой в Ом•мм²/м.

Применение материалов с малым удельным сопротивлением.

По агрегатному состоянию проводниковые материалы делятся на газообразные жидкие и твердые. В ремонте электрооборудования наиболее распространены последние. По сопротивлению, протекающему электрическому току их обычно делят на материалы с малым и высоким удельным сопротивлением.

Их используют для токоведущих частей электрического оборудования, где требуется высокая проводимость (обмотки, провода линий электропередач и т.п.). Наибольшее применение для этих изделий получили медь и алюминий, а также их сплавы: латунь, бронзы и пр.

Медь — металл с характерным красноватым цветом. Ее достоинства: высокая проводимость (уступает только серебру), достаточно большая механическая прочность, хорошая устойчивость к окислению (коррозии), она относительно легко обрабатывается, сваривается, паяется. В электротехнике используется в основном только электролитическая медь марок М I и М 0. Первая из них (М I) содержит не более 0,1 % примесей (при этом кислорода не более 0,08 %, так как он резко ухудшает механические свойства меди), вторая — М 0 — не допускает примесей более 0,05 % (в том числе кислорода — 0,02 %), из нее делается самая тонкая проволока. Стандартная медь имеет плотность 8890 кг/м³ (при 20°С), удельное сопротивление $\rho = 0,0172$ мкОм м (при 20°С), удельную проводимость 58 МСм•м (при 20°С), температуру плавления — 1083°С.

По механическим свойствам медь делят на два вида: твердую и мягкую. Твердая, благодаря наклепу (марка МТ), создается холодной протяжкой меди, используется для проводов линий

электропередач, шин, изготовления коллекторов и т.п. Мягкая (марка ММ) получается отжигом твердой меди при температуре 330-350°C, применяется для изготовления обмоточных и других проводов, где требуется большая гибкость.

Латунь — сплав меди, в основном с цинком. Достоинства: дешевле меди, прочнее ее, тверже, обладает большей пластичностью, поэтому лучше штампуются и вытягиваются как в холодном, так и в горячем состоянии. С ростом содержания цинка (до 45 %) предел прочности при растяжении возрастает.

Свойства латуней зависят от марок, граничные значения: плотность 7900-8500 кг/м³, удельное сопротивление $\rho = 0,043-0,326$ мкОм·м (при 20°C), температура плавления — 960-1200°C.

Они используются для изготовления токоведущих деталей, как правило, сложной конфигурации, от которых требуется повышенная твердость и стойкость к действию электрических разрядов: пружинящие контакты и прочие подобные изделия.

Бронзы — сплавы меди с оловом, хромом и другими химическими элементами, кроме цинка и никеля. Достоинства по сравнению с медью: повышенная механическая прочность, стойкость к истиранию, твердость, упругость. Свойства бронз так же, как и латуней, зависят от марок, вместе с тем удельное сопротивление всех бронз выше, чем у чистой меди.

Использование бронз для токоведущих деталей электрооборудования — самое разнообразное в зависимости от условий их работы. Например, кадмиевые бронзы широко применяются для коллекторных пластин и даже контактных проводов в особо ответственных случаях. Берилловые бронзы обладают повышенной стойкостью к истиранию. Хромовая бронза при высокой проводимости имеет хорошую механическую прочность.

Алюминий — металл серебристо-белого цвета. Его достоинство в том, что при малой по сравнению с медью плотностью он имеет достаточно большую проводимость. К тому же он дешевле и более доступен. Роль алюминия как заменителя меди все больше возрастает. Вместе с тем алюминиевый провод по сравнению с медным при той же длине и равном сопротивлении сечение имеет на 65 % (диаметр на 28 %) больше, однако по массе он в два раза легче.

Алюминий — материал пластичный, устойчивый к окислению (коррозии), хорошо протягивается, штампуется, куется, но при обработке резанием, фрезеровании, опилке из-за мягкости требует выполнения специальных мер. В зависимости от марки содержание чистого алюминия колеблется от 99,0 (АО) до 99,99 % (А999). При этом чем меньше примесей, тем больше проводимость, но ниже механическая прочность и пластичность. Алюминий, широко используемый в электротехнике, имеет плотность 2703 кг/м³ (при 20°С и содержании примесей 0,003-0,004 %), удельное сопротивление $\rho = 0,028$ мкОм м (при 20°С), удельную проводимость—38 МСм/м (при 20°С), температуру плавления —657°С. По механическим свойствам алюминий, как и медь, делят на твердый и мягкий.

Твердый, благодаря наклепу (марка АТ), производится холодной протяжкой алюминия, применяется для проводов линий электропередачи и др. изделий. Мягкий (марка АМ) получается отжигом АТ при температуре 350-400°С, используется для изготовления обмоточных, монтажных проводов и других изделий, где требуется гибкость, мягкость и т.п. Однако в производстве большее применение, чем чистый алюминий, получили его сплавы.

Тема 2.3 Изделия с малым удельным сопротивлением

Вопросы конспекта:

1. Изделия с малым удельным сопротивлением

Изделия с малым удельным сопротивлением.

Рассмотренные материалы являются основой различных электротехнических изделий: проводов, шин, лент и пр. Особенно важны в ремонте электрического оборудования провода и кабели, поэтому изучим их более подробно.

Обмоточные провода — проволока с особо тонкой изоляцией при повышенной электрической и механической прочности. Выпускаются они круглого и прямоугольного сечения. В ремонтной практике в основном используются обмоточные провода с медной и алюминиевой жилой. Если в марке перед бук-

вой «П» стоит буква «А» (АПБ) — жила провода алюминиевая, если «А» не стоит (ПБ) — жила медная. Кроме того, марка характеризует изоляцию обмоточного провода, которая может быть: волокнистой (ПБД), эмалевой (ПЭВ), комбинированной (ПЭВШО), вместе с тем органической (например, хлопчатобумажной) и неорганической (например, стекловолокнистой).

Волокнистые изоляции проводов (ПБД, АПББО, ПШД и др.), как правило, обладают относительно повышенной механической, но относительно малой электрической прочностью, что объясняется наличием воздуха в порах. Обмоточные провода с такой изоляцией по сравнению с эмалевой имеют большую толщину, но они намного дешевле других.

Эмалевая изоляция проводов (ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭВТЛ и др.) при малой толщине обладает повышенной электрической прочностью. Провода предназначены для массового использования в обмотках электрических машин и трансформаторов. В зависимости от класса нагревостойкости рекомендуются марки: класс А и Е-ПЭВ-1, ПЭВ-2, ПЭМ-1, ПЭМ-2, ПЭТВЛ-1 и ПЭТВЛ-2. И них марки проводов ПЭВ и ПЭМ по электроизоляционным и физико-механическим характеристикам практически равноценны и не требуют дополнительного слоя волокнистой изоляции.

Провода марки ПЭМ более устойчивы к трансформаторному маслу, их можно рекомендовать также для обмоток электромашин холодильных установок; марки проводов класса Е: ПЭТВЛ-1 и ПЭТВЛ-2 целесообразно использовать только для обмоток электродвигателей малой мощности; класс В — ПЭТВ, ПЭ-939, ПЭТВ-ТС, их недостаток — пониженная стойкость к кратковременным тепловым перегрузкам; класс F — ПЭТ-155, ПЭТМ, ПЭФ-155. Из них наибольшее применение в электрических машинах получила марка ПЭТ-155, так как обладает хорошими электроизоляционными свойствами и устойчивостью к тепловым ударам, но механические характеристики ее ниже, чем, например, у марки ПЭТМ. Марка ПЭФ-155 имеет повышенную стойкость к пониженным температурам.

Слабая механическая прочность изоляции многих эмалированных проводов (например, ПЭЛ, ПЭВ и др.) потребовала усиления ее за счет наложения поверх эмалевой пленки слоя волокнистой изоляции (ПЭЛ БО, ПЭВШО и др.). В том случае,

если нити не удерживаются на эмали, их подклеивают лаком. Комбинированная изоляция проводов (эмали с нитью) сочетает положительные качества проводов эмалированных и с волокнистой изоляцией. Но обычно толщина их больше и они дороже.

Массовое применение для изготовления обмоток электрических машин получили провода со стекловолоконистой изоляцией ПСД (АПСД), ПСДК — два слоя стеклянных нитей, пропитанных соответственно глифталевым и кремнийорганическим лаками, классы нагревостойкости первых — F, вторых — H. Широко распространены также провода с комбинированной изоляцией и с уменьшенной ее толщиной ПСДТ, ПСДКТ и, наконец, провода с лакированной поверхностью ПСД-Л, ПСДК-Л. Силовые и установочные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией применяются для распределения электрической энергии в силовых и осветительных сетях. Они используются на открытом воздухе и в закрытых помещениях, могут прокладываться открыто, в трубах и под слоем штукатурки. Предназначены для работы с температурой, °С: жил +65, окружающего воздуха +25, земли +15.

При теплостойкой резине на основе бутилкаучука температура работы провода допускается до +85°С, с кремнийорганической — до +180°С. Провода изготавливаются для номинальных напряжений на 380, 660 и 3000 В. Провода с резиновой изоляцией. ПРН, АПРН имеют медные и алюминиевые жилы с резиновой изоляцией и дополнительной негорючей резиновой оболочкой. Они в основном используются при прокладке в сырых и сухих помещениях, а также на открытом воздухе. ПРГИ — провод с медной, гибкой жилой, с резиновой изоляцией, обладающей защитными свойствами. Используется при прокладке, где требуется повышенная эластичность, при монтаже соединений подвижных частей электрических машин в сухих и сырых помещениях. АППР — провод с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией, не распространяющей горение, применяется для прокладки в жилых и производственных зданиях, в частности, животноводческих помещениях.

Для осветительных сетей в сухих и сырых помещениях используются медные провода марки ПРД в непропитанной оплетке, двухжильные и скрученные. Провода с пластмассовой

изоляция. АПВ — жила алюминиевая с поливинилхлоридной изоляцией, применяется для монтажа силовых и осветительных цепей в машинах и станках, в трубах, несгораемых строительных конструкциях; ПВ1 — то же, но с медной жилой; ПВЕ — то же, но с гибкой медной жилой, используется в основном для гибкого монтажа при скрытой и открытой прокладках. АВТ — провод с алюминиевыми жилами и изоляцией из поливинилхлоридного пластика с несущим тросом для наружной прокладки (например, в жилые дома или хозяйственные постройки в сетях 380 В, в 1-м и II-М районах гололедности. ДВТУ — то же, но с усиленным несущим тросом для III-го и IV-го районов гололедности. Применяются для прокладки в животноводческих помещениях. Провода силовые гибкие (нагревостойкие) используются для выводов электродвигателей. Марки ПВБЛ и РКГМ имеют медные жилы, резиновую изоляцию, но первая из них выполнена на основе бутилкаучука, в оплетке лавсановой нитью, вторая — из кремнийорганической резины, в оплетке из стекловолокна, пропитанной эмалью или термостойким лаком.

Соединительные шнуры служат для подключения питания от электрической сети до различных видов бытовых токоприемников: электрических машин, телевизоров, нагревательных приборов и т.п.

Допустимая рабочая температура нагрева: при резиновой изоляции +65°C, при поливинилхлоридном пластике +70°C, номинальное напряжение — до 660 В. По исполнению шнуры разделяют на: плоские без оболочки (ШПП, ПВП-1, ШВП-2), круглые без оболочки (ШВПТ), легкие с оболочкой (ШВВП, ШВЛ), обычные с оболочкой (ШРО, ШРС и др.).

Монтажные провода предназначены для электрических соединений в аппаратах, приборах и других электрических устройствах, а также схемах. Они делятся по нагревостойкости на обычные (МВ, МП, МКЭ) и повышенной стойкости (МКР, МКТП, МПО), причем за основу берется наиболее нагретая точка в проводе.

Жилы медные, у многих марок луженые, одно- и многопроволочные, изоляция: резина, поливинилхлоридный пластик, полиэтилен. Повышение механической прочности изоляции выполняется путем дополнительной оплетки (например, капроновой нитью, в марке ставится буква К), делается и экранирование в

виде оплетки из медного провода (в марке — Э). Номинальное напряжение 500, 1000 В для обычных проводов и 2, 2,5 и 4 кВ для высоковольтных монтажных проводов типа ПВМП-2. Рабочая температура для обычных — до +70°C, с поливинилхлоридной изоляцией — до +85°C, с повышенной нагревостойкостью — от +85 до +150°C.

Неизолированные провода нашли массовое применение в воздушных линиях электропередач. Они изготавливаются из меди (одной или нескольких скрученных проволок (марка М)), алюминия (несколько скрученных проволок (А, Ап)), алюминиевых сплавов (АН, АЖ). Для повышения механической прочности алюминиевых проводов их укрепляют стальными сердечниками (сталеалюминиевые провода марок АС, АпС). Провода марок А, Ап, АС, АпС, АН, АЖ рекомендуются для использования в сельской, лесной, горной местности, допустимы в атмосфере промышленных районов; марки М — в атмосфере морской местности, а также и в промышленных районах.

Кабели служат для передачи энергии в электрических линиях. Они представляют собой изолированные друг от друга токопроводящие жилы с общей изоляцией, могут иметь свинцовую или алюминиевую оболочку и броню из стальных лент или из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых накладывается защитный покров. Жилы выполняются одно- и многопроволочные из меди или алюминия. Изоляция делается бумажной с пропиткой составами, резиновой, пластмассовой.

По применению кабели делятся на силовые (для электропитания токоприемников (АВВГ, АСГ, ААГ)), контрольные (для подведения маломощных, низковольтных, управляющих сигналов к техническим устройствам и снятия информации (КРСГ, АКРВГ)), управления, отличающиеся от контрольных только конструкцией для соответствующих условий (КРШУ, КУПР), монтажные, назначение которых то же, что и монтажных проводов (КМПВ, КМПЭВ).

По напряжению они подразделяются на низковольтные с номинальным напряжением до 1 кВ и высоковольтные с номинальным напряжением 1,6, 10, 20, 35 и более кВ. • Контакты — самая уязвимая часть электрических сетей, они служат для периодического надежного замыкания и размыкания цепей. В

процессах выполнения указанных операций они подвергаются воздействию электрической искры или дуги, что вызывает эрозию поверхностей, подгорание, даже приваривание друг к другу и т.п. Отсюда требования к контактным материалам: высокая электропроводность, тугоплавкость, твердость, хорошая устойчивость к истиранию и воздействию дуги.

Для изготовления контактов кроме чистых тугоплавких металлов широко распространены специальные сплавы, в которые входят серебро, кобальт, медь, бериллий, никель, хром, молибден, вольфрам, кадмий. К контактным изделиям относятся щетки.

Припой. Это специальные материалы, расплавляемые в месте соединений деталей или в целях защиты от окисления для их покрытия. По температуре плавления припой делят на мягкие и твердые, отличаются они также по механическим характеристикам. Мягкие припой имеют температуру плавления до 400°C. Применяются там, где от соединений требуется в основном лишь хороший электрический контакт, поскольку механические качества таких соединений относительно невысоки. Кроме того, мягкие припой широко используют при лужении для защиты основного материала от окисления или для получения хорошего контакта при холодном соединении токоведущих частей (например, в местах соединений сборных шин). В качестве мягких припоев используют олово, его сплавы со свинцом — ПОС-18 и др. (цифра показывает содержание олова в припое — 18 %). Чем больше олова, тем выше температура плавления и жидкотекучесть. Есть мягкие припой с добавками алюминия, серебра. Особой легкоплавкостью (с пониженной температурой плавления) отличаются припой, в которые входят кадмий и висмут. Твердые припой имеют температуру плавления более 500°C.

Применяются там, где от соединения требуется не только хороший контакт, но и высокие механические характеристики. В качестве твердых припоев чаще всего используются сплавы: медно-фосфорные (ПМФ), медно-цинковые (ПЦ), серебряные (ПСр). Последний из них дает наилучший электрический контакт, но он и самый дорогой.

Флюсы — материалы с повышенной способностью к растворению окислов металлов и других загрязнений.

Кроме того, у них пониженная температура плавления (значительно ниже припоя) и плотность, что позволяет им быстро всплывать на поверхность расплава и образовывать на нем надежную защиту (пленку) от окисления. Эти материалы также способны уменьшать поверхностное натяжение расплавленного припоя. Такие материалы используются при пайке, сварке и лужении. Только под их слоем возможно получение высококачественных соединений с хорошими электрическими и механическими характеристиками.

В электротехнике в качестве флюсов для мягких припоев массово применяют канифоль и смеси на ее основе, для твердых — буру. Флюсы на основе соляной и фосфорной кислот можно использовать только там, где они не могут вызвать ускоренного разрушения изоляции или окисления металлов.

Тема 2.4. Материалы высокого сопротивления

Вопросы конспекта:

- 1. Требования для материалов с высоким удельным сопротивлением**
- 2. Материалы, относящиеся к материалам с высоким удельным сопротивлением**

Требования для материалов с высоким удельным сопротивлением

Для различных электронагревательных и электроизмерительных приборов, реостатов (пусковых, нагрузочных и пр.), где требуется высокое сопротивление, употребляются специальные сплавы.

В зависимости от применения к ним предъявляются специфические требования. Например, от материалов, используемых в измерительных приборах, требуется: высокое удельное электрическое сопротивление (от этого зависят размер и масса приборов), малый температурный коэффициент удельного сопротивления (для обеспечения стабильности электрического сопротивления прибора), достаточная стабильность удельного сопротивления во времени, малая удельная термо-ЭДС в паре с медью (иначе растет ошибка измерений), хорошая обрабатываемость.

Материалы, относящиеся к материалам с высоким удельным сопротивлением

К этим материалам относятся, например, сплав на основе меди с марганцем — манганин, марок МНМц3-12 и МНМцАЖ3-12-0,3. Их удельное сопротивление в отрезке температур от -100 до +100°C меняется крайне мало. Массовое применение в электротехнике получил также сплав медно-никелевый — константан, марки МНМц40-1,5, его удельное сопротивление практически не зависит от температуры.

Для контактных пружин, реостатов и т.п. широко используют другой медно-никелевый сплав — нейзильбер. Иные требования предъявляются к материалам для электронагревательных приборов. Они длительно работают при температурах около 1000°C в воздушной среде. Поэтому от них, кроме высокого сопротивления, требуется также повышенная жаростойкость (т.е. способность работать, не разрушаясь при высоких температурах в воздухе или других газообразных средах).

В настоящее время для этих целей широко применяют хромоникелевые и хромоалюминиевые сплавы. Первые из них отличаются большей жаропрочностью, но они дорогие, вторые — намного дешевле, но более тверды и хрупки.

Тема 3.1 Электрофизические процессы в диэлектриках

Вопросы конспекта:

- 1. Понятие о диэлектриках**
- 2. Классификация диэлектрических материалов**
- 3. Физическая сущность поляризации диэлектриков**

Основные понятия

Диэлектрики – это вещества, плохо проводящие электрический ток. Их удельное электрическое сопротивление превышает, а ширина запрещённой зоны более 3 эВ. Электроны под действием обычных не слишком сильных электрических полей не могут преодолеть такую ширину запрещенной зоны. Дей-

ствие электрического поля сводится к перераспределению электронной плотности, что приводит к поляризации диэлектрика.

В результате в однородном электрическом поле в диэлектрике создаётся внутреннее электрическое поле, направленное противоположно внешнему и ослабляющее, но не компенсирующее его. Величина, характеризующая степень ослабления напряжённости внешнего приложенного поля внутренним полем диэлектрика называется диэлектрической проницаемостью.

Электропроводность диэлектрика хоть и мала, но отличается от нуля, при этом электронная проводимость в обычных условиях мала по сравнению с ионной. Ионная проводимость обусловлена перемещением собственных и примесных ионов. Возможность перемещения ионов связана с наличием структурных дефектов. Если в диэлектрике есть вакансии, то под действием поля соседний ион может занять эту вакансию, а во вновь образовавшуюся вакансию может перейти следующий ион. С ростом температуры ионная проводимость возрастает.

Находясь в электрическом поле, диэлектрик может терять свойства изоляционного материала, если напряжённость поля превысит некоторое критическое значение. Явление образования проводящего канала в диэлектрике под действием электрического поля называется пробоем диэлектрика. При пробое почти весь ток течёт по узкому каналу. Минимальное приложенное к диэлектрику напряжение, приводящее к пробое, называется пробивным напряжением. Величина его в первую очередь зависит от толщины диэлектрика, поэтому за величину, характеризующую электрическую прочность диэлектрика принимают отношение пробивного напряжения к толщине диэлектрика. - электрическая прочность диэлектрика

Важнейшей характеристикой диэлектриков является диэлектрические потери, под которыми понимают электрическую мощность, затрачиваемую на нагрев диэлектрика, находящегося в электрическом поле. В формулу для рассеиваемой диэлектриком мощности входит тангенс угла диэлектрических потерь. Наиболее часто пользуются именно этой характеристикой. Угол диэлектрических потерь определяется сдвигом фаз между током и напряжением в ёмкостной цепи. Тангенс угла диэлектриче-

ских потерь определяется только свойствами материала и поэтому характеризует только свойства материала.

Классификация диэлектрических материалов

По функциям, выполняемых в приборах электронной техники диэлектрики можно разделить на пассивные и активные.

Пассивные – это электроизоляционные и конденсаторные материалы. Пассивные неорганические диэлектрики, применяемые в электронной технике можно разделить на стекловидные диэлектрики, керамику, монокристаллические диэлектрические материалы, органические и композиционные материалы.

Активные диэлектрики – это материалы, свойствами которых можно управлять в широких пределах с помощью внешних воздействий. Такими внешними воздействиями могут быть электрическое поле, механическое усилие, излучение, тепло. К числу активных диэлектриков относят, например, сегнетоэлектрики (обладают спонтанной поляризацией в отсутствие электрического поля), пьезоэлектрики (приобретают поляризацию под действием какого-либо механического усилия), пироэлектрики (приобретают поляризацию при нагреве), жидкие кристаллы и т.д. Активные диэлектрики позволяют осуществлять генерацию усиления, модуляцию электрических и оптических сигналов, запоминание и преобразование информации. Резкая граница, однако, между пассивными и активными диэлектриками не существует.

Один и тот же материал в различных условиях эксплуатации может выполнять функции либо пассивного, либо активного элемента. Функции пассивных диэлектриков в микроэлектронике Основные пассивные функции, которые могут выполнять диэлектрики в составе полупроводниковых интегральных схем следующие: Подложки интегральных схем, изготавливаемых по толстоплёночной или тонкоплёночной технологии Диэлектрические детали корпуса и кристаллодержателей. Применяются высокотеплопроводящая керамика, ситаллы, стёкла, композиционные материалы

Диэлектрики в составе КНИ (кремний на изоляторе) структур, которые позволяют изготавливать интегральные схемы с полной диэлектрической изоляцией

Диэлектрики в составе конденсаторов и резисторы, изготавливаемые по толстоплёночной и тонкоплёночной технологии. Для изготовления тонкоплёночных конденсаторов используют слои. Защитные плёнки для бескорпусной защиты интегральных схем и толстоплёночных гибридных интегральных схемах. Используют тонкие плёнки на основе стёкол БСС (боросиликатные стёкла), ФСС (фосфоросиликатные стёкла), БФСС (борофосфоросиликатные стёкла), двухслойные структуры Межслойная изоляция. Обычно используется и те же диэлектрики, что и в предыдущем пункте Пассивация и стабилизация полупроводниковой поверхности. Применяются стекловидные диэлектрические плёнки, БСС, ФСС, БФСС, которые способны выполнять роль геттеров (центр захвата) нежелательных легкоподвижных ионов. Они блокируют их в своём объёме и стабилизируют тем самым параметры приборов

Плёнки БСС и ФСС размягчаются при температуре и формируют гладкий рельеф. Использование БФСС позволяет снизить температуру размягчения ниже Подзатворный диэлектрик в МОП-транзисторов. Важнейшее требование в данном случае качество границ раздела полупроводник-диэлектрик, минимальная плотность заряда на них, поэтому обычно используют тонкие слои термически выращенного Маскирующее покрытие. Сквозь специально сформированные окна в таких покрытиях осуществляется диффузии в полупроводник легирующей примеси, используются слои

Источник диффузионного легирования. Используют стёкла БСС в качестве источника акцепторной примеси бора и ФСС в качестве донорной примеси фосфора. Стекловидные диэлектрические материалы.

Классификация стёкол. Среди пассивных диэлектриков наиболее важными в практическом отношении являются стекловидные диэлектрические материалы. Это стёкла, ситаллы, ситаллы-цементы и композиционные материалы на основе стеклянной матрицы и неорганического наполнителя. Неорганиче-

ские стёкла подразделяются на элементарные, оксидные, галогенидные, халькогенидные. Самый обширный класс неорганических стёкол составляют оксидные стёкла. Только эти стёкла обладают диэлектрическими свойствами. Оксидные стёкла классифицируются по виду стеклообразующего оксида, на силикатные на основе, боратные на основе, фосфатные на основе, германатные.

Силикатные стёкла самый распространённый класс оксидных стёкол наиболее широко применяемой в микроэлектронике. Силикатные стёкла по составу, а следовательно и по электрическим свойствам можно разделить на три группы. Бесщелочные стёкла, в которых отсутствуют оксиды натрия и калия. В эту группу входят например кварцевое стекло. Стёкла данной группы обладают высокой термостойкостью, высокими диэлектрическими свойствами. Поскольку ионы щелочных металлов являются быстро диффундирующими примесями кремния, и приводят к быстрому ухудшению его свойств, в микроэлектронике используются только стёкла этой группы. Щелочные стёкла без тяжёлых оксидов или с незначительным их содержанием. В эту группу входит большинство обычных стёкол. Они отличаются пониженной термостойкостью, имеют более худшие диэлектрические свойства. Щелочные стёкла с высоким содержанием тяжёлых оксидов, например, силикатно-свинцовые и бариевые. Эти стёкла имеют повышенные диэлектрические свойства, приближающиеся к свойствам стёкол первой группы. (Хрусталь) Строение и свойства стёкол Si O Si Стёкла имеют сплошную атомную трёхмерную сетку, в которой отсутствует дальний порядок расположения атомов, но сохраняется ближний порядок. Основой строения силикатных стёкол являются комплексы. Это тетраэдры с очень прочными связями кремний кислород. Соединяясь вершинами, тетраэдры образуют бесконечную пространственную структуру. Отдельные тетраэдры скрепляются в цепи с помощью мостикового кислорода. Помимо периодическую сетку могут образовывать и другие оксиды, которые называются стеклообразователями и т.д. Компоненты стекла не способны самостоятельно образовывать непрерывную структурную сетку, называются модификаторами. К группе модификаторам

относятся, например оксиды элементов первой и второй группы периодической системы.

При введении в состав стекла модификаторов происходит разрушение части мостиковых связей, что сопровождается дроблении пространственной сетки. Вследствие этого свойства стекла меняются или модифицируются, откуда и название модификаторов. У стёкол отсутствует определённая температура плавления. При охлаждении расплава стекла его вязкость начинает плавно возрастать и при значении на кривой появляется первый перегиб. Температура, соответствующая этой вязкости обозначается и называется температурой текучести. Выше этой температуры стекломасса имеет свойства жидкости. При вязкости в на кривой наблюдается второй перегиб. Температура, соответствующая этой вязкости обозначается и называется температурой стеклования. Ниже этой температуры стекло приобретает свойства твёрдого тела

В интервале температур стекломасса находится в высокоэластичном состоянии. Стекло, как переохлаждённый расплав, находится в неравновесном метастабильном состоянии, однако вследствие высокой вязкости, препятствующей кристаллизации, стекло при нормальных условиях может существовать неопределённо долго. Большинство свойств силикатных стёкол аддитивны, т.е. определяются суммарным значением параметров входящих в него компонентов и плавно изменяются при изменении концентрации компонентов. Это позволяет с достаточной точностью заранее прогнозировать свойства стёкол того или иного состава. Ситаллы и ситаллоцементы Ситаллы или стеклокристаллические материалы – это поликристаллические вещества, получаемые регулируемой кристаллизацией стекла. Они занимают промежуточное положение между стеклом и керамикой. Ситаллы отличаются от стёкол тем, что в основном имеют кристаллическое строение, а от керамики – значительно меньшим размером кристаллических зёрен.

Для получения ситаллов в расплавленное стекло вводят катализаторы кристаллизации, на которых происходит рост кристаллов основной фазы. Содержание остаточной стекловидной фазы в ситалле может колебаться от 2 до 50%, размеры кристалла не пре-

вышают одного микрона. Физико-химические свойства ситаллов определяются содержанием и составом кристаллической фазы и могут изменяться в очень широких пределах. Изменяя состав исходного стекла, тип кристаллизатора и режим термообработки можно получать ситаллы с определёнными свойствами.

Мелкозернистая объёмная кристаллизация стекла приводит к снижению электропроводности ситаллов на несколько порядков. Одной из причин этого является наличие границ раздела фаз кристалл-стекло, что затрудняет миграцию ионов. Кристаллизация в общем случае вызывает уменьшение (диэлектрической проницаемости) из-за более прочного закрепления ионов. В то же время управляемая кристаллизация позволяет получать ситаллы с повышенным значением, что важно для некоторых применений. Ситаллоцементы или стеклокристаллические цементы отличаются от ситаллов содержанием кристаллической фазы. У ситаллоцементов количество кристаллической фазы значительно меньше 50%, т.е. больше стекло фазы. По техническому назначению ситаллы и ситаллоцементы можно разделить на установочные и конденсаторные.

Установочные широко используются в качестве подложек гибридных интегральных схем и дискретных пассивных элементов, например резисторов. Конденсаторы на их основе обладают повышенной электрической прочностью по сравнению с керамическими конденсаторами.

Поляризация диэлектриков

Основными электрическими процессами, возникающими в диэлектриках под воздействием приложенного напряжения, являются процессы **поляризации, электропроводности и пробоя диэлектриков**. Поляризация представляет собой обратимое смещение электрически заряженных частиц, входящих в состав диэлектриков. Различают следующие основные виды поляризации: электронная, ионная, дипольная, спонтанная и некоторые другие. Процесс поляризации диэлектриков описывается уравнением Клаузиуса – Мосотти.

Электронная поляризация представляет собой процесс упругого смещения электронов (электронных орбит) относительно ядра во всех атомах диэлектрика. Процесс электронной поляризации является процессом мгновенным.. Электронная поляризация имеет место во всех диэлектриках. Электронная поляризуемость зависит от структуры частицы. Чем больше радиус молекулы или иона, тем больше и величина данного диэлектрика.

В пропорциональной зависимости от числа частиц в единице объема диэлектрика находится и величина ϵ с нагреванием, когда плотность диэлектрика уменьшается, наблюдается уменьшение ϵ нейтрального диэлектрика ϵ_0 диэлектриков с чисто электронной поляризацией величина численно равна квадрату показателя преломления света.

Процесс **ионной поляризации** представляет собой упругое смещение под действием электрического поля ионов относительно центров их равновесия. Поляризация ионного смещения происходит за время, сравнимое со временем собственных колебаний ионов, и составляет

Интенсивность процесса ионной поляризации в уравнении Клаузиуса - Мосотти учитывается величиной ионной

С повышением температуры ионного диэлектрика величина ϵ возрастает в связи с ослаблением упругих сил в ионном ди-электрике и увеличением амплитуды колебаний иона. Поэтому интенсивность процесса ионной поляризации возрастает с повышением температуры. В ионных диэлектриках одновременно с поляризацией ионного смещения развивается также процесс электронной поляризации - явление, которое с нагревом и расширением диэлектрика понижается, но суммарный эффект поляризации у большинства ионных диэлектриков возрастает с повышением их температуры.

Электронная и ионная поляризации представляют собой виды деформационной поляризации, не вызывающие потерь энергии в диэлектриках.

Дипольная (дипольнорелаксационная) поляризация протекает в полярных диэлектриках под действием электрического поля. Этот вид поляризации представляет собой ориентацию - поворот полярных молекул в направлении действующего электрического поля.

Тема 3.2 Физико-химические характеристики диэлектриков

Вопросы конспекта:

Физико-химические свойства диэлектриков

Изменением состояния при нагревании или охлаждении диэлектриков характеризуются их физико-химические свойства, а также химически активных веществ под действием влаги, механических нагрузок и т.п. Нежелательные, а порой аварийные последствия в работе электроустановок может вызвать чрезвычайное нагревание электроизоляционного материала. Примером этому служит пожар, короткое замыкание, поражение людей электрическим током. От этого предъявляются высокие требования к диэлектрикам по их нагревостойкости.

Нагревостойкостью называется способность диэлектрика длительно выдерживать заданную ему рабочую температуру без заметного изменения своих электроизоляционных качеств. По ней различают семь классов электроизоляционных материалов, используемых при температурах 90, 105, 120, 130, 155, 180, более 180-0°С. Ряд материалов (асбест, керамические материалы, слюда и т.п.) благодаря своему строению располагают большой нагревостойкостью. Волокнистые материалы – из шелка, хлопка, целлюлозы и т.п. с целью увеличения нагревостойкости пропитывают специальными веществами.

Некоторые диэлектрики при нагревании могут расплавиться, такие как слюда, парафин, а также размягчиться – смолы, битумы, или даже загореться (происходит вспышка паров электроизоляционных жидкостей при определенных температурах): кабельное масло, трансформаторное, синтетические электроизоляционные жидкости.

К потере эластичности приводит охлаждение диэлектриков, а также к появлению трещин и т.п. Каждый материал от этого характеризуется холодостойкостью. Холодостойкостью называется способность диэлектрика сохранять свои основные свойства при охлаждении. Например, за холодостойкость у твердого диэлектрика принимают такую температуру (ниже 0°С), при которой начинается его механическое разрушение.

На открытом воздухе работают многие электроустановки, в последствии подвергаются действию влаги их электроизоляционные материалы. Да и в зависимости от окружающей среды и в закрытых электроустановках специфика технологического процесса электрооборудование также подвергается действию влаги. Прежде всего, его электроизоляционные свойства ухудшает проникновение воды внутрь диэлектрика, так как вода несомненно является проводником электрического тока. Поглощать влагу из окружающей среды характеризуется способностью диэлектрика – влагопоглощаемостью. Влагопоглощаемость тоже определяют опытным путем: выдерживают в дистиллированной воде образец диэлектрика в течение 24 часа при температуре обычно 20°C; а также есть и другие способы определения влагопоглощаемости.

Также характеризуют твердые диэлектрики смачиваемостью их поверхности водой, так как уменьшает удельное поверхностное электрическое сопротивление диэлектрика наличие воды. По краевому углу смачивания судят о смачиваемости. Чем больше угол смачивания, тем меньше смачиваемость диэлектрика и лучше его электроизоляционные свойства. предназначенные для работы в химически активной (агрессивной) среде, электроизоляционные материалы, должны противостоять действию щелочей, кислот. Такие свойства определяют примерно так же, как влагопоглощаемость.

Большинство многих электроизоляционных материалов используются кроме своего прямого назначения также для защиты металлических проводников от коррозии. С бурным развитием атомной энергетики и космической техники в настоящее время все более и более высоким требования предъявляются к радиационной стойкости диэлектриков.

Вязкостью характеризуют также жидкие диэлектрики, её определяют временем истечения жидкости из сосуда, имеющего строго определенную отверстие и форму.

При изготовлении аппаратов, электрических машин и другого электрооборудования, ремонте или монтаже электроустановок нередко приходится обрабатывать электроизоляционные материалы механическими способами, таким как сверлением,

резанием, шлифованием и т.п. От этого немаловажно знать механические свойства диэлектриков, такие как твердость, предел прочности, и т.п., а также не менее важно знать свойства диэлектриков растворяться в растворителях и лаках, склеиваться. Крайние свойства особенно часто встречаются в связи с внедрением новых, прогрессивных способов выполнения сборки электрических аппаратов, машин и электромонтажных работ.

Тема 3.3 Твёрдые электроизоляционные материалы

Вопросы конспекта:

1. Древесина
2. Бумага
3. Картон электротехнический
4. Фибра электрическая
5. Лакоткани
6. Асбест

Волокнистые электроизоляционные материалы: древесина, бумага, картон, фибра, лакоткани, асбест, слоистые пластики.

Древесина применяется в электротехнике только для изготовления малоответственных изоляционных деталей: штанг приводов разъединителей, масляных выключателей, рукояток и др.

Бумага, применяемая в электротехнике, делится на конденсаторную, кабельную, пропиточную, намоточную, микалентную и оклеечную. Конденсаторная бумага имеет толщину от 0,007 до 0,03 мм и высокую плотность.

Кабельная бумага имеет повышенную толщину (0,08; 0,12; 0,17 мм) и меньшую плотность (0,7—0,8 г/см³) по сравнению с конденсаторной, но обладает высокими механическими свойствами, она применяется для изоляции силовых кабелей.

Пропиточная и намоточная бумага отличается пониженной плотностью 0,6—0,75 г/см³ и поэтому имеет большую впитываемость. По своим механическим свойствам она уступает

обычной кабельной бумаге. Пропиточную бумагу толщиной до 0,12 мм применяют для производства листового гетинакса.

Микалентная бумага имеет толщину 0,02 мм и отличается большой механической прочностью в продольном направлении. Она служит для изготовления тонкой клееной слюдяной изоляции (микаленты).

Оклеечная бумага имеет толщину 0,033 мм. Применяют ее для изоляции друг от друга стальных листов при сборке магнитопроводов в электрических машинах и трансформаторах.

Картон электротехнический — тонкий листовый материал толщиной от 0,1 до 3 мм. Различают два основных вида электротехнического картона: ЭВ — для работы на воздухе и ЭМ — для работы в масле в качестве прокладок, шайб, пазовой изоляции, междуслышной и витковой изоляций при производстве электрических машин и электротехнической аппаратуры.

Фибра электрическая марки ФЭ вырабатывается толщиной от 0,6 до 1,2 мм серого, черного и красного цвета в виде листов, прутков и трубок. Основной недостаток фибры — высокая гигроскопичность, что при большом увлажнении окружающего воздуха создает большую электролитическую проводимость, поэтому фибру часто заменяют гетинаксом.

Лакоткани — гибкий электроизоляционный материал, получаемый пропиткой хлопчатобумажных, шелковых и стеклянных тканей масляными и масляно-битумными лаками, которые после высыхания образуют на поверхности ткани прочную эластичную пленку, обладающую высокими диэлектрическими свойствами.

Асбест — волокнистый минерал естественного происхождения, обладающий высокой огнестойкостью (1450°C), малой тепло- и электропроводностью, достаточной механической прочностью, кислото- и щелочеупорностью. Для технических целей асбестовое волокно применяется в качестве тепло- и электроизоляционного материала и фильтров.

Для целей электрической изоляции из асбеста изготавливают пряжу, ленты, ткани, бумагу, картон и другие изделия.

Тема 3.4. Керамические и стеклообразные электроизоляционные материалы

Вопросы конспекта:

1. Электротехническая керамика
2. Стеклообразные и горные электроизолирующие материалы
3. Слюда
4. Мрамор, шифер, талькохлорит

Электротехническая керамика представляет собой глину-содержащие материалы с добавлением окислов бария, кальция, титана, стронция. К этой группе керамики относятся электротехнический фарфор, стеатит, тиконд и пористая радиокерамика.

Стеклообразные и горные электроизолирующие материалы. Стекло — это твердый раствор различных силикатов. Механические свойства стекол различны и зависят от их химического состава. Все стекла отличаются малой теплопроводностью, высокими оптическими и электроизоляционными свойствами.

Наилучшими электроизолирующими свойствами обладает кварцевое стекло, которое получается плавлением горного хрусталя, жильного кварца или чистых кварцевых песков при весьма высоких температурах.

Кварцевое стекло отличается очень высоким пробивным напряжением, малой электропроводностью даже при высоких температурах. Это дает возможность использовать его в качестве высокочастотного и высоковольтного изолятора в электро-радиовакуумной промышленности и приборостроении.

Электротехнические стекла по назначению делятся на конденсаторные, установочные, ламповые, стеклоэмали и стекловолокно.

Слюда является минералом, способным расщепляться на очень тонкие листочки. Слюда имеет хорошие электроизоляционные свойства, высокую теплостойкость (1250—1300°C), влагостойкость, механическую прочность, гибкость.

Применяется в электротехнической промышленности для изоляции высоких напряжений, а также в качестве диэлектриков в конденсаторах.

Мрамор, шифер, талькохлорит — горные породы, которые находят применение в качестве электроизоляционных материалов.

Тема 3.5. Жидкие электроизоляционные материалы

1. Жидкие и твердеющие электроизоляционные материалы

2. Твердеющие электроизоляционные материалы

Жидкие электроизоляционные материалы делятся на природные и синтетические. К природным диэлектрикам относятся нефтяные масла (трансформаторное, конденсаторное, кабельное) и касторовое масло.

Трансформаторное масло — светло-желтая и прозрачная маловязкая жидкость с температурой вспышки паров не ниже $+135^{\circ}\text{C}$ и температурой застывания в пределах от -45 до -35°C . Плотность масла колеблется от 865 до 895 кг/м^3 (от $0,865$ до $0,895 \text{ г/см}^3$). Электрическая прочность масла сильно снижается при увеличении содержания в нем влаги. Трансформаторное масло применяется для заливки измерительных трансформаторов, маслонаполненных вводов и масляных выключателей. Лучшие сорта трансформаторного масла получают из эмбенской нефти, а обычные (товарные) масла — из бакинской нефти.

Конденсаторное и кабельное масло получают обычно из трансформаторного масла путем дополнительной очистки или из доссорской нефти. Эти масла отличаются от трансформаторного масла повышенными электрическими свойствами.

Конденсаторное масло применяется для пропитки изоляции бумажных конденсаторов, а кабельное масло служит для пропитки бумажной изоляции кабелей, где изоляционному маслу приходится работать в условиях очень высоких напряженностей — электрического поля (сотни киловольт на сантиметр).

Касторовое масло получают из семян клещевины и применяется оно в некоторых типах бумажно-масляных герметизированных конденсаторов, когда требуются не особенно высокие электрические характеристики и негорючесть изоляционного масла (касторовое масло практически не горит).

К синтетическим жидким электроизоляционным материалам относится совол.

Совол получают из бензола с последующим хлорированием. Это негорючая, взрывобезопасная, неокисляющаяся вязкая жидкость с удельным весом в пределах 1,50—1,56. Совол применяется в основном для пропитки бумажных конденсаторов.

Твердеющие электроизоляционные материалы в момент их применения находятся в жидком состоянии и твердеют после охлаждения или в результате происходящих в них химических процессов. К ним относятся воскообразные диэлектрики, смолы, битумы, компаунды.

Воскообразные диэлектрики (воск, парафин, галовакс, церезин и др.) применяются в качестве пропитывающих и заливочных масс. В последнее время применение воска, парафина и галовакса ограничено. Они вытесняются церезином, смесью церезина и полиэтилена и другими воскообразными составами.

Церезин— воскообразное вещество, светло-желтого или оранжевого цвета, получаемое из некоторых сортов нефти или из воскообразного минерала озокерита («горного воска»). По электрическим свойствам церезин мало отличается от парафина, но имеет более высокую температуру плавления (65—80°С), повышенную стойкость против окисления и меньшую усадку при застывании.

Смолы при низких температурах имеют аморфное строение, хрупки и представляют собой стеклообразные массы. По происхождению смолы делятся на природные и искусственные.

К природным смолистым относятся шеллак, канифоль и копалы.

Шеллак— смола желтоватого или красно-коричневого цвета, хорошо растворяется в спирте. В электроизоляционной технике шеллак используется в виде клеящих лаков, в частности при изготовлении миканитов.

Канифоль— хрупкая смола желтого или коричневого цвета, растворима в нефтяных и растительных маслах, спиртах, скипидаре. В электропромышленности канифоль применяется в виде растворов в нефтяных маслах в качестве пропиточных и заливочных компаундов.

Копалы— тугоплавкие смолы, обладающие блеском и большой твердостью. К ископаемым коपालам относится янтарь, имеющий высокое удельное, объемное и поверхностное сопротивление. Янтарь применяется там, где важно иметь высокое сопротивление изоляции независимо от влажности воздуха (например, для вводов в электрометрах, электроскопах).

К **искусственным** (синтетическим) **смолам** относятся высокомолекулярные соединения, получаемые в результате реакции превращения различных веществ.

Битумы— аморфные материалы черного или темно-коричневого цвета, хрупки и имеют характерный раковистый излом. Битумы бывают искусственные (нефтяные) и природные, называемые асфальтами. Температура размягчения битумов 30—170° С. Лучшие электроизолирующие свойства имеют тугоплавкие битумы. Они используются как исходный материал для изготовления электроизоляционных покровных лаков и электроизоляционных пропиточных и заливочных компаундов.

Компаунды состоят из битумов, восков, смол, масел и ка-нифоли. Пропиточные компаунды служат для пропитки обмоток электрических машин и бумажной изоляции силовых кабелей. Заливочные компаунды применяются для заливки соединительных, ответвительных и концевых муфт силовых кабелей, для заполнения больших полостей в электрических машинах и аппаратах с целью получения влагонепроницаемого монолитного электроизоляционного покрытия.

Тема 3.5 Газообразные диэлектрики

Вопросы конспекта:

1. Газообразные диэлектрики
2. Основные характеристики газообразных диэлектриков

Газообразные диэлектрики

К газообразным диэлектрикам относятся все газы, в том числе воздух, представляющий собой смесь ряда газов и паров воды.

Многие газы (воздух, азот и др.) используют в качестве диэлектриков в газонаполненных конденсаторах, воздушных выключателях высокого напряжения и в других электрических устройствах.

Воздух окружает все электрические установки и как диэлектрик во многом определяет надежность их работы. Провода линий электропередачи высокого напряжения, закрепленные на мачтах с помощью фарфоровых или стеклянных изоляторов, на всем протяжении изолированы друг от друга только слоем воздуха.

Иногда в слое воздуха, непосредственно соприкасающемся с поверхностью проводов высокого напряжения, наблюдается характерное светло-фиолетовое свечение - электрическая корона, которая сопровождается характерным шипением.

Электрическая корона возникает при ухудшении электроизоляционных свойств воздуха или при воздействии па воздух повышенной величины напряжения. В результате этого в слое воздуха возникает процесс ионизации его частиц (атомов и молекул) летящими свободными электронами и ионами.

Процесс ионизации газа и, в частности, явление электрической короны вызывают потери энергии, чего не следует допускать в электрических устройствах. В особенно невыгодных условиях работы оказываются газовые включения внутри твердой изоляции.

Напряженности (E) электрического поля в последовательно соединенных слоях изоляции распределяются обратно пропорционально их диэлектрическим проницаемостям, т. е.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} .$$

У всех газов диэлектрическая проницаемость (ϵ_1) немногим больше единицы (табл.) а у твердых диэлектриков (ϵ_2) она находится в пределах от 2 до 8 и больше. Вследствие этого газовые включения (пузырьки воздуха) внутри твердой изоляции будут находиться под воздействием напряженностей от 9 до 8 раз, превосходящих напряженности в твердой изоляции. Это может вызвать ионизацию газовых включений, т. е. образование в них большого количества электрически заряженных частиц (электронов и ионов).

Основные характеристики газообразных диэлектриков*

Наименование газа	Плотность, г/см ³	Диэлектрическая проницаемость	Электрическая прочность, кВмакс /мм	Коэффициент теплопроводности	Теплоемкость	Коэффициент теплопередачи от твердого тела к газу
Воздух.	1,0	1,00057	3,0	1,0	1,0	1,0
Азот	0,97	1,00058	3,0	1,08	1,05	1,03
Водород .	0,69	1,00026	1,8	6,69	14,35	1,51
Углекислый газ .	1,529	1,00098	2,7	0,64	0,85	1,13
Элегаз**.	5,03	1,00191	7,2	1,25	0 60	—

Электрические характеристики и плотность выражены в истинных значениях, соответствующих данному газообразному диэлектрику, а тепловые характеристики — в условных единицах.

Элегаз—электрический газ, представляет собой соединение фтора с серой (шестифтористая сера); применяется в некоторых электрических аппаратах.

Вследствие этого газ может превратиться из диэлектрика в проводник, что ослабит изоляцию всей системы. Ионизация газовых включении часто влечет за собой пробой твердой изоляции, что может вызвать выход из строя электрической машины, аппарата, кабеля и т. д.

В нормальных же условиях работы газообразные диэлектрики имеют очень малую проводимость и незначительные диэлектрические потери ($\text{tg}\delta$), поэтому они широко применяются в высоковольтных выключателях, конденсаторах и в других устройствах. Приведенные примеры показывают, что изучение электрических явлений в газах и, в частности, в воздухе представляет практический интерес.

Тема 4.1 Общие сведения о полупроводниковых материалах

Вопросы конспекта:

- 1. Общие сведения о полупроводниках**
- 2. Собственные и примесные полупроводники**
- 3. Электронная и дырочная проводимости**

Общие сведения о полупроводниках

Полупроводниками называют вещества, обладающие электронной проводимостью, занимающей промежуточное положение между металлами и изоляторами. От металлов они отличаются тем, что носители электрического тока в них создаются тепловым движением, светом, потоком электронов и т.п. источником энергии. Без теплового движения (вблизи абсолютно нуля) полупроводники являются изоляторами. С повышением температуры электропроводность полупроводников возрастает и при расплавлении носит металлический характер.

Полупроводники – это новые материалы, с помощью которых на протяжении последних десятилетий удаётся разрешать ряд чрезвычайно важных электротехнических задач. В настоящее время насчитывается свыше двадцати различных областей, в которых с помощью полупроводников разрешаются важнейшие вопросы эксплуатации машин и механизмов, контроля производственных процессов, получения электрической энергии, усиления высокочастотных колебаний и генерирования радиоволн, создания с помощью электрического тока тепла или холода, и для осуществления многих других процессов.

К полупроводниковым материалам относится большинство минералов, неметаллические элементы IV, V, VI групп периодической системы Менделеева, неорганические соединения (оксиды, сульфиды), некоторые сплавы металлов, органические красители.

Широко применяемыми полупроводниковыми материалами являются элементы IV группы периодической системы Менделеева – германий и кремний. Это вещества, кристаллизующиеся в решётке типа алмаза. Такая решётка представляет

собой тетраэдр, по вершинам которого расположены четыре атома, окружающие атом, находящийся в центре тетраэдра. Здесь каждый атом связан с четырьмя ближайшими соседями силами ковалентной связи, так как каждый из них имеет четыре внешних валентных электрона.

При температурах около абсолютного нуля в идеальном кристалле кремния или германия все ковалентные связи заполнены, а все электроны связаны с атомами и не могут участвовать в процессе электропроводности. Чтобы электрон мог проводить электрический ток, нужно затратить некоторую работу для его освобождения из ковалентной связи.

Это происходит при освещении кристалла. Свет, как известно, представляет собой поток частиц – фотонов, или квантов света. Если энергия фотона больше или равна энергии разрыва связи, то электрон может стать свободным и сможет принимать участие в процессе электропроводности. Здесь происходит переход электронов из наружной заполненной зоны в зону проводимости. При этом вместо ушедшего электрона в кристалле появляется незаполненная связь, которая может быть занята электроном из другой какой-нибудь связи. Одновременно в ранее заполненной зоне образуется дырка. Таким образом, незаполненная связь или дырка может перемещаться по кристаллу. Эта незаполненная связь эквивалентна положительной частице, двигающейся по кристаллу под действием внешнего электрического поля. В действительности дырки не представляют собой положительно заряженных частиц. Очевидно, что в идеальном кристалле количество дырок будет равно количеству свободных электронов.

С прекращением освещения электропроводность кристалла начнёт уменьшаться, так как электроны, которые освободились под действием света, будут размещаться в связях, т.е. произойдёт рекомбинация электронов и дырок. Этот процесс заканчивается в течение тысячных долей секунды или меньше и кристалл снова перестаёт проводить электрический ток. Явление, при котором возникает электрический ток под действием света в кристалле, помещённом во внешнее электрическое поле, называется фотопроводимостью.

Наименьшая энергия, которая необходима для перевода электрона из заполненной зоны в зону проводимости, определяет собой величину энергетического интервала между этими двумя или ширину запретной зоны.

Для разрыва валентных связей при очень низких температурах необходима энергия, равная 1,2 эв ($\approx 0,1922$ адж) для кремния и 0,75 эв ($\approx 0,1201$ адж) для германия. В световом луче энергия фотонов значительно выше: так, для жёлтого света она составляет 2 эв ($\approx 0,3204$ адж).

Освобождение электронов может произойти и другим путём, например при нагревании кристалла, когда энергия колебания атомов в кристаллической решётке может увеличиться настолько, что связи разрушатся и электроны смогут освободиться. Этот процесс также протекает с образованием дырок.

Собственные и примесные полупроводники

В идеальных кристаллах, где количества электронов и дырок равны, проводимость называется собственной. Так как удельное сопротивление идеальных кристаллов полупроводников зависит только от температуры, то величина его может служить характеристикой данного полупроводника. Сопротивление идеальных кристаллов называют собственным сопротивлением полупроводника, например, для кремния при 300°K собственное удельное сопротивление равно 63600 Ом·см (636 Ом·м), а для германия при той же температуре 47 Ом·см (0,470 Ом·м).

Идеальные кристаллы, не содержащие никаких примесей, встречаются очень редко. Примеси в кристаллах полупроводников могут увеличивать количество электронов или дырок. Было установлено, что введение одного атома сурьмы в кубический сантиметр германия или кремния приводит к появлению одного электрона, а одного атома бора – к появлению одной дырки.

Электронная и дырочная проводимости

Появление электронной или дырочной проводимости при введении в идеальный кристалл различных примесей происхо-

дит следующим образом. Предположим, что в кристалле кремния один из атомов замещен атомом сурьмы. Сурьма на внешней электронной оболочке имеет пять электронов (V группа периодической системы). Четыре электрона образуют парные электронные связи с четырьмя ближайшими соседними атомами кремния. Оставшийся пятый электрон будет двигаться около атома сурьмы по орбите, подобной орбите электрона в атоме водорода, но сила его электрического притяжения к ядру уменьшится соответственно диэлектрической проницаемости кремния. Поэтому, чтобы освободить пятый электрон, нужна незначительная энергия, равная примерно 0,05 эв ($\approx 0,008$ адж). Слабо связанный электрон легко может быть оторван от атома сурьмы под действием тепловых колебаний решётки при низких температурах. Такая низкая энергия ионизации примесного атома означает, что при температурах около -100°C , все атомы примесей в германии и кремнии уже ионизированы, а освободившиеся электроны участвуют в процессе электропроводности. В этом случае основными носителями заряда будут электроны, т.е. здесь имеет место электронная проводимость или проводимость n-типа (n - первая буква слова *negative*).

После того как «лишний», пятый, электрон удалён, атом сурьмы становится положительно заряженным ионом, имеющим четыре валентных электрона, как и все атомы кремния, т.е. ион сурьмы становится заместителем кремния в кристаллической решётке.

Примеси, обуславливающие возникновение электронной проводимости в кристаллах, называются донорами. В кремнии и германии ими являются элементы V группы таблицы Менделеева – сурьма, фосфор, мышьяк и висмут. Трёхвалентный атом примеси бора в решётке кремния ведёт себя по-иному. На внешней оболочке атома бора имеются только три валентных электрона. Значит, не хватает одного электрона, чтобы заполнить четыре валентные связи с четырьмя ближайшими соседями. Свободная связь может быть заполнена электроном, перешедшим из какой либо другой связи, эта связь заполнится электронами следующей связи и т.д.

Положительная дырка (незаполненная связь) может перемещаться по кристаллу от одного атома к другому (при движе-

нии электрона в противоположном направлении). Когда электрон заполнит недостающую валентную связь, примесный атом бора станет отрицательно заряженным ионом, заменяющим атом кремния в кристаллической решётке. Дырка будет слабо связана с атомом бора силами электростатического притяжения и будет двигаться около него по орбите, подобной орбите электрона в атоме водорода. Энергия ионизации, т.е. энергия, необходимая для отрыва дырки от отрицательного иона бора, будет примерно равна 0,05 эв. Поэтому при комнатной температуре все трёхвалентные примесные атомы ионизированы, а дырки принимают участие в процессе электропроводности. Если в кристалле кремния имеется примесь трёхвалентных атомов (III группа периодической системы), то проводимость осуществляется в основном дырками. Такая проводимость носит название дырочной или проводимости p (p - первая буква слова *positive*). Примеси, вызывающие дырочную проводимость, называются акцепторами. К акцепторам в германии и кремнии относятся элементы третьей группы периодической системы: галлий, таллий, бор, алюминий.

Количество носителей тока, возникающих при введении примеси каждого вида в отдельности, зависит от концентрации примеси и энергии её ионизации в данном полупроводнике. Однако большинство практически используемых примесей при комнатной температуре полностью ионизировано, поэтому концентрация носителей, создаваемая при этих условиях примесями, определяется только их концентрацией и для многих из них равна числу введенных в полупроводник атомов примеси.

Каждый атом донорной примеси вносит один электрон проводимости, следовательно, чем больше донорных атомов в каждом кубическом сантиметре полупроводника, тем больше концентрация их превышает концентрацию дырок, и проводимость носит электронный характер. Обратное положение имеет место при введении акцепторных примесей.

При равной концентрации донорной и акцепторной примесей в кристалле проводимость будет обеспечиваться, как и в собственном полупроводнике, электронами и дырками за счёт разрыва валентных связей. Такой полупроводник называется компенсированным.

Количество электричества, переносимого дырками или электронами, определяется не только концентрацией носителей, но и подвижностью электронов и дырок.

Важнейшей характеристикой, определяющей качество германия и кремния в технике полупроводниковых приборов, является величина τ , называемая временем жизни неосновных носителей тока. В большинстве случаев τ желательно иметь максимальным.

Для использования германия и кремния в полупроводниковых приборах (например, солнечных батареях, преобразующих световую энергию в электрическую) и инфракрасной оптике важно знать коэффициент преломления, отражательную способность и пропускание света в широком диапазоне длин волн.

Наряду с элементарными полупроводниками в полупроводниковой технике находят широкое применение полупроводниковые соединения, получаемые путём сплавления или химической обработки чистых элементов. Таковы закись меди (Cu_2O), из которой изготавливают полупроводниковые выпрямители разнообразных типов, сурьмянистый цинк (SbZn), используемый для изготовления полупроводниковых термобатарей, теллуристый свинец (PbTe), нашедший применение для изготовления фотоэлектрических приборов и для отрицательной ветви термоэлементов и многие другие.

Особый интерес представляют соединения типа АІІІV. Получают их путём синтеза элементов III и V групп периодической системы элементов Менделеева. Из соединений этого типа наиболее интересными полупроводниковыми свойствами обладают AlP , AlAs , AlSb , GaP , GaAs , GaSb , InP , InAs , InSb . По ряду свойств эти соединения близки к полупроводниковым элементам IV группы германию и кремнию. Подвижность носителей тока в них достигает больших значений; ширина запрещённой зоны у некоторых из этих соединений также велика; примеси, вводимые в них, изменяют механизм электропроводности; так, некоторые атомы II группы ведут себя как акцепторы, а ряд атомов VI группы – как доноры.

Полупроводниковая техника требует применения особо чистых материалов. Примеси, как было уже отмечено, изменяют свойства полупроводников. Поэтому в зависимости от назначения

материалов количество примесей в них ограничивают. Легирующие добавки, вводимые в полупроводники для придания им определённых свойств, также должны быть чисты от примесей.

В современной технике пользуются рядом способов получения материалов высокой чистоты. Таковы йодидный метод, применяемый для очистки некоторых металлов, и метод зонной плавки; оба они описаны в разделе производства титана. Кроме этих методов, для очистки полупроводниковых материалов применяют некоторые виды их переплавки.

Простейшей является открытая переплавка в тигле, устанавливаемом в электрической печи. Во время переплавки порошкообразного материала из него удаляются влага, газы и окислы (последние всплывают вверх). Некоторые окислы затвердевают на поверхности расплава, который можно слить, пробиванием отверстия в корке окислов.

Более полной является очистка, производимая при переплавке в вакууме. Материал, подлежащий очистке, загружают в кварцевую ампулу, которую помещают в электрическую печь. Открытый конец ампулы соединяют с вакуумной установкой и откачивают выделяющиеся во время расплавления материала газы и летучие соединения. Откачка длится от нескольких минут до нескольких часов в зависимости от времени плавки.

Высокую степень чистоты полупроводниковых материалов получают возгонкой или сублимацией. Этот метод основан на способности некоторых твёрдых веществ переходить в парообразное состояние, минуя жидкую фазу, а затем в обратном порядке переходить из парообразного в твёрдое состояние, образуя твёрдый продукт – сублимат. Такими свойствами обладают некоторые полупроводники. Возможность возгонки определяется упругостью паров примесей или чистого вещества при данной температуре. Полупроводниковые материалы обладают довольно высокой упругостью паров, что даёт возможность производить возгонку при относительно низких температурах и небольшом вакууме. Сублимат осаждается на стенках вертикально установленного конденсатора, причём наиболее летучие примеси оседают в верхней зоне, наименее летучие – внизу, а труднолетучие остаются в остатке. В результате повторной возгонки получают более чистый продукт.

Различные методы очистки полупроводников дают возможность получать продукт требуемой чистоты. Так, например, зонной плавкой загрязнённого германия удаётся снизить число атомов примеси в нём до одного на 10 атомов германия.

Тема 4.2 Германий, кремний, карбид кремния

Вопросы конспекта:

- 1. Германий**
- 2. Кремний**
- 3. Диоксид кремния или кремнезем**
- 4. Кремния карбид**
- 5.**

Германий (лат. Germanium), Ge, химический элемент IV группы периодической системы Менделеева; порядковый номер 32, атомная масса 72,59; твердое вещество серо-белого цвета с металлическим блеском. Природный Германий представляет собой смесь пяти стабильных изотопов с массовыми числами 70, 72, 73, 74 и 76. Существование и свойства Германия предсказал в 1871 году Д. И. Менделеев и назвал этот неизвестный еще элемент экасилицием из-за близости свойств его с кремнием. В 1886 году немецкий химик К. Винклер обнаружил в минерале аргиродите новый элемент, который назвал Германием в честь своей страны; Германий оказался вполне тождествен экасилицию. До второй половины 20 века практическое применение Германия оставалось весьма ограниченным. Промышленное производство Германия возникло в связи с развитием полупроводниковой электроники.

Физические свойства Германия. Германий кристаллизуется в кубической структуре типа алмаза, параметр элементарной ячейки $a = 5,6575 \text{ \AA}$. Плотность твердого Германий $5,327 \text{ г/см}^3$ (25°C); жидкого $5,557$ (1000°C); $t_{\text{пл}} 937,5^\circ\text{C}$; $t_{\text{кип}}$ около 2700°C ; коэффициент теплопроводности $\sim 60 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, или $0,14 \text{ кал/(см}\cdot\text{сек}\cdot\text{град)}$ при 25°C . Даже весьма чистый Германий хрупок при обычной температуре, но выше 550°C поддается пластической деформации. Твердость Германия по минералогической шкале 6-6,5; коэффициент сжимаемости (в интервале давлений $0-120 \text{ Гн/м}^2$, или $0-12000 \text{ кгс/мм}^2$) $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{мн}$ ($1,4 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{кгс}$); поверхностное натяжение $0,6 \text{ н/м}$ (600 дин/см). Гер-

маний - типичный полупроводник с шириной запрещенной зоны $1,104 \cdot 10^{-19}$ Дж или 0,69 эВ (25°C); удельное электросопротивление Германия высокой чистоты 0,60 ом·м (60 ом·см) при 25°C; подвижность электронов 3900 и подвижность дырок 1900 см²/в·сек (25°C) (при содержании примесей менее 10⁻⁸%). Прозрачен для инфракрасных лучей с длиной волны больше 2 мкм.

Химические свойства Германия. В химические соединениях Германий обычно проявляет валентности 2 и 4, причем более стабильны соединения 4-валентного Германия. При комнатной температуре Германий устойчив к действию воздуха, воды, растворам щелочей и разбавленных соляной и серной кислот, но легко растворяется в царской водке и в щелочном растворе перекиси водорода. Азотной кислотой медленно окисляется. При нагревании на воздухе до 500-700°C Германий окисляется до оксидов GeO и GeO₂. Оксид Германия (IV) - белый порошок с $t_{пл}$ 1116°C; растворимость в воде 4,3 г/л (20°C). По химическим свойствам амфотерен, растворяется в щелочах и с трудом в минеральных кислотах. Получается прокаливанием гидратного осадка (GeO₃·nH₂O), выделяемого при гидролизе тетраоксида GeCl₄. Сплавлением GeO₂ с другими оксидами могут быть получены производные германиевой кислоты - германаты металлов (Li₂GeO₃, Na₂GeO₃ и другие) - твердые вещества с высокими температурами плавления.

При взаимодействии Германия с галогенами образуются соответствующие тетрагалогениды. Наиболее легко реакция протекает с фтором и хлором (уже при комнатной температуре), затем с бромом (слабое нагревание) и с иодом (при 700-800°C в присутствии СО). Одно из наиболее важных соединений Германия тетрахлорид GeCl₄ - бесцветная жидкость; $t_{пл}$ -49,5°C; $t_{кип}$ 83,1°C; плотность 1,84 г/см³ (20°C). Водой сильно гидролизуется с выделением осадка гидратированного оксида (IV). Получается хлорированием металлического Германия или взаимодействием GeO₂ с концентрированной HCl. Известны также дигалогениды Германия общей формулы GeX₂, монохлорид GeCl, гексахлордигерман Ge₂Cl₆ и оксихлориды Германия (например, GeOCl₂).

Сера энергично взаимодействует с Германием при 900-1000°C с образованием дисульфида GeS₂ - белого твердого ве-

щества, $t_{пл}$ 825°C. Описаны также моносульфид GeS и аналогичные соединения Германия с селеном и теллуром, которые являются полупроводниками. Водород незначительно реагирует с Германием при 1000-1100°C с образованием гермина $(GeH)_x$ - малоустойчивого и легко летучего соединения. Взаимодействием германидов с разбавленной соляной кислотой могут быть получены германоводороды ряда Ge_nH_{2n+2} вплоть до Ge_9H_{20} . Известен также гермилен состава GeH_2 . С азотом Германий непосредственно не реагирует, однако существует нитрид Ge_3N_4 , получающийся при действии аммиака на Германий при 700-800°C. С углеродом Германий не взаимодействует. Германий образует соединения со многими металлами - германиды.

Известны многочисленные комплексные соединения Германия, которые приобретают все большее значение как в аналитической химии Германия, так и в процессах его получения. Германий образует комплексные соединения с органическими гидроксилсодержащими молекулами (многоатомными спиртами, многоосновными кислотами и другими). Получены гетерополикислоты Германия. Так же, как и для других элементов IV группы, для Германия характерно образование металлорганических соединений, примером которых служит тетраэтилгерман $(C_2H_5)_4Ge_3$.

Получение Германия. В промышленной практике Германий получают преимущественно из побочных продуктов переработки руд цветных металлов (цинковой обманки, цинково-медно-свинцовых полиметаллических концентратов), содержащих 0,001-0,1% Германия. В качестве сырья используют также золы от сжигания угля, пыль газогенераторов и отходы коксохимических заводов. Первоначально из перечисленных источников различными способами, зависящими от состава сырья, получают германиевый концентрат (2-10% Германия). Извлечение Германия из концентрата обычно включает следующие стадии: 1) хлорирование концентрата соляной кислотой, смесью ее с хлором в водной среде или других хлорирующими агентами с получением технического $GeCl_4$. Для очистки $GeCl_4$ применяют ректификацию и экстракцию примесей концентрированной HCl. 2) Гидролиз $GeCl_4$ и прокалывание продуктов гидролиза до получения GeO_2 . 3) Восстановление GeO_2 водородом или аммиа-

ком до металла. Для выделения очень чистого Германия, используемого в полупроводниковых приборах, проводится зонная плавка металла. Необходимый для полупроводниковой промышленности монокристаллический Германий получают обычно зонной плавкой или методом Чохральского.

Применение Германия. Германий - один из наиболее ценных материалов в современной полупроводниковой технике. Он используется для изготовления диодов, триодов, кристаллических детекторов и силовых выпрямителей. Монокристаллический Германий применяется также в дозиметрических приборах и приборах, измеряющих напряженность постоянных и переменных магнитных полей. Важной областью применения Германия является инфракрасная техника, в частности производство детекторов инфракрасного излучения, работающих в области 8-14 мкм. Перспективны для практического использования многие сплавы, в состав которых входят Германий, стекла на основе GeO_2 и другие соединения Германия.

Кремний

Кремний (Si) – стоит в 3 периоде, IV группе главной подгруппы периодической системы. **Физические свойства:** кремний существует в двух модификациях: аморфной и кристаллической. Аморфный кремний – порошок бурого цвета, плотностью 2,33 г/см³, растворяется в расплавах металлов. Кристаллический кремний – это кристаллы темно-серого цвета, обладающие стальным блеском, твердый и хрупкий, плотностью 2,4 г/см³. Кремний состоит из трех изотопов: Si (28), Si (29), Si (30).

Химические свойства:

Кремний – неметалл. На внешнем энергетическом уровне кремний имеет 4 электрона, что обуславливает его степени окисления: +4, -4, -2. Валентность – 2, 4. Аморфный кремний обладает большей реакционной способностью, чем кристаллический. При обычных условиях он взаимодействует со фтором: $\text{Si} + 2\text{F}_2 = \text{SiF}_4$. При 1000 °C Si реагирует с неметаллами: с Cl_2 , N_2 , C, S.

Из кислот кремний взаимодействует только со смесью азотной и плавиковой кислот: По отношению к металлам ведет себя по-разному: в расплавленных Zn, Al, Sn, Pb он хорошо растворяется, но не реагирует с ними; с другими расплавами металлов – с Mg, Cu, Fe кремний взаимодействует с образованием силицидов: $\text{Si} + 2\text{Mg} = \text{Mg}_2\text{Si}$. Кремний горит в кислороде: $\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$ (песок).

Диоксид кремния или кремнезем – стойкое соединение Si, широко распространен в природе. Реагирует со сплавлением его с щелочами, основными оксидами, образуя соли кремниевой кислоты – силикаты.

Получение: в промышленности кремний в чистом виде получают восстановлением диоксида кремния коксом в электротпечах: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$.

В лаборатории кремний получают прокаливанием с магнием или алюминием белого песка

Нахождение в природе: минерал кварц – SiO_2 . Кристаллы кварца имеют форму шестигранной призмы, бесцветные и прозрачные, называются горным хрусталем. Аметист – горный хрусталь, окрашенный примесями в лиловый цвет; дымчатый топаз окрашен в буроватый цвет; агат и яшма – кристаллические разновидности кварца. Аморфный кремнезем менее распространен и существует в виде минерала опала – $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Диатомит, трепел или кизельгур (инфузорная земля) – землистые формы аморфного кремния.

Кремния карбид.

Кремния карбид (карборунд), SiC. Чистый карбид кремния стехиометрического состава — бесцветные кристаллы с алмазным блеском. Технический SiC может иметь разнообразную окраску: белую, серую, желтую, зеленую и черную. Цвет материала зависит от сырья и технологии получения кристаллов и определяется как типом и количеством примеси, так и степенью отклонения состава от стехиометрического. Карбид кремния кристаллизуется в двух модификациях: при температурах менее 2000°C — в кубической типа сфалерита ($\beta\text{-SiC}$) (см. *структурные типы кристаллов*), и при более высоких температурах — в гексагональной ($\alpha\text{-SiC}$). Для высокотемпературной гексагональной модификации карбида кремния характерно

явление политипизма: обнаружено более 50 политипных модификаций α -SiC.

Карбид кремния — единственное полупроводниковое бинарное соединение $A^{IV}B^{IV}$. Тип связи — ковалентный, доля ионной составляющей порядка 10%.

Ширина запрещенной зоны для кристаллов SiC составляет 2,39 эВ, для различных модификаций SiC ширина запрещенной зоны может иметь значение в пределах от 2,72 до 3,34 эВ. Большие значения ширины запрещенной зоны позволяют создавать на его основе полупроводниковые приборы, сохраняющие работоспособность при температурах до 600°C.

Собственная электропроводность из-за большой ширины запрещенной зоны наблюдается лишь при температурах выше 1400°C. Подвижность носителей заряда низкая. Монокристаллы карбида кремния, легированные примесями элементов V группы (азот, фосфор, мышьяк, сурьма, висмут), а также литием и кислородом имеют *n*-тип проводимости и зеленую окраску. Элементы III группы (бор, алюминий, галлий, индий) и элементы II группы (бериллий, магний, кальций) являются акцепторами. При этом кристаллы имеют *p*-тип проводимости и голубую или черную окраску. В случае отклонения состава от стехиометрического в сторону кремния кристаллы обладают электропроводностью *n*-типа, в случае избытка углерода — *p*-типа.

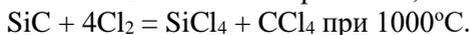
Карбид кремния тугоплавок ($t_{пл}$ 2830 С), химически стоек, по твердости уступает лишь алмазу и нитриду бора: твердость по МООСу — 9,1 — 9,5; микротвердость 3300-3600 кгс/мм². Карбид кремния обладает высокой термической, химической и радиационной стойкостью, выделяется своей устойчивостью к окислению среди многих окалиностойких сплавов и химических соединений.

Заметно окисляется только при температурах выше 800°C. Карбид кремния химически стоек и в других средах. Он не реагирует с минеральными кислотами любых концентраций, включая и плавиковую кислоту. При комнатной температуре химически взаимодействует с ортофосфорной и кислотой и смесью азотной и фтористоводородной кислот при температуре 200°C. Водяной пар реагирует с карбидом кремния по реакции:



только начиная с 1300-1400°C.

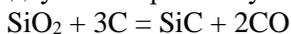
Вплоть до 1100°C с карбидом кремния совершенно не взаимодействует азот. Инертен он также в среде водорода и углекислого газа. В среде хлора теряет устойчивость при сравнительно низких температурах, разлагаясь по реакциям:



Карбид кремния активно разлагается с образованием соответствующих силикатов при сплавлении с едкими и углекислыми щелочами и перекисями.

Получение карбида кремния.

Поликристаллический карбид кремния получают в электрических печах при температуре 1800-2300°C путем восстановления двуоксида кремния углеродом:



В качестве сырья при производстве технического карбида кремния используется кварцевый песок с минимальным содержанием примесей и малозольный кокс или антрацит, или нефтяной кокс. Для повышения газопроницаемости шихты в нее иногда вводят древесные опилки. В шихту также вводят поваренную соль, количество которой влияет на цвет карборунда.

Из-за высоких значений температуры и давления, при которых существует расплав карбида кремния, классические методы получения из него монокристаллов не применимы. Используют методы выращивания кристаллов SiC из газовой фазы или из растворов в расплаве. Большое распространение получил метод сублимации. В этом методе рост кристаллов карбида кремния происходит из газовой фазы в графитовых тиглях в атмосфере инертных газов при температуре 2500-2600°C. Эпитаксиальные слои и твердые растворы на основе карбида кремния можно получать всеми известными методами, используемыми в полупроводниковой технологии.

Технология формирования структур карбида кремния на подложках кремния принципиально не отличается от процессов получения кремниевых пленок. Гетероэпитаксиальные слои выращиваются методом газофазной эпитаксии в открытой системе. В качестве газа-носителя используется водород диффузионной очистки; в первой зоне свободный углерод связывается с водородом и переносится в зону роста полупроводниковой пленки.

Применение карбида кремния

Монокристаллический SiC используют для изготовления радиационностойких светодиодов, обладающих очень высокой надежностью и стабильностью работы. Его можно использовать для изготовления высокотемпературных силовых полупроводниковых приборов, полевых транзисторов, туннельных диодов, счетчиков частиц высокой энергии, терморезисторов,

Из поликристаллического SiC выращивают монокристаллы или путем дробления получают порошки. Поликристаллический SiC используют в производстве нелинейных резисторов (варисторов).

Для этих целей изготавливают многофазовые материалы на основе порошкообразного SiC, скрепленного связующим веществом. Кроме того, на основе порошкообразного SiC производят высокотемпературные нагреватели, ингибиторные поджигатели и волноводные поглотители, а на основе пленок аморфного SiC — светодиоды и солнечные элементы. SiC является перспективным полупроводниковым материалом для высокотемпературной и высокочастотной электроники.

Благодаря высокой химической стабильности, огнеупорности и износостойкости карбид кремния находит широкое применение в качестве огнеупора в металлургической промышленности.

Применяется в машиностроении для футеровки термических печей; в химическом аппаратостроении, где он подвержен абразивному воздействию твердых пылевидных продуктов в газовых потоках.

Используется для изготовления коррозионно- и эрозийноустойчивых сопельных вставок, насадок и распылителей; для изготовления деталей теплообменной аппаратуры и деталей насосов для перекачки кислых растворов и других коррозионноактивных жидкостей. Огнеупорные изделия, а также изделия конструкционного назначения на основе карбида кремния изготавливаются с использованием различного вида связей — керамических, кремния, нитрида кремния.

Интересно использование карбида кремния в электротехнике - для изготовления нагревателей высокотемпературных

электропечей сопротивления (силитовые стержни), грозоразрядников для линий передачи электрического тока, нелинейных сопротивлений, в составе электроизолирующих устройств и т. д.

Благодаря высокой твердости, химической устойчивости и износостойкости карбид кремния широко применяется как абразивный материал (при шлифовании), для резания твердых материалов, точки инструментов.

Тема 5.1 Физические явления в магнитных материалах

Вопросы конспекта:

- 1. Основные сведения о физических явлениях**
- 2. Диамагнетики и парамагнетики**
- 3. Ферромагнетики и ферримагнетики**

Основные сведения о физических явлениях

Все вещества в природе являются магнитными, т. е. они взаимодействуют с внешним магнитным полем и обладают определенными магнитными свойствами.

Природа магнетизма объясняется строением атомов и молекул. Элементарными носителями магнетизма являются электроны. Орбитальное вращение электронов вокруг атомов и вращение электронов вокруг собственных осей (спиновое вращение), приводит к появлению орбитального и спинового магнитных моментов электрона.

Магнитный момент электронной оболочки и определяет магнитные свойства атома, поскольку он приблизительно в тысячу раз больше магнитного момента атомного ядра. Различный характер электронной структуры атомов приводит к различию магнитных свойств веществ.

По силе взаимодействия с магнитным полем все вещества можно разделить на слабомагнитные и сильномагнитные. Сила взаимодействия вещества с магнитным полем оценивается безразмерной величиной—магнитной восприимчивостью

Слабромагнитные вещества характеризуются величиной $k_m \ll 1$, т. е. изменение намагниченности вещества под действием внешнего поля очень незначительно. К ним относят **диамагнетики и парамагнетики**.

При помещении парамагнетиков в магнитное поле они незначительно усиливают его внутри себя ($k_m > 0$). Это происходит из-за совпадения направления намагниченности парамагнетиков с направлением внешнего поля. К парамагнетикам относят алюминий, платину и ряд других веществ.

Диамагнетики характеризуются тем, что ослабляют внутри себя то магнитное поле, которое действует извне. Это происходит вследствие того, что их намагниченность направлена против внешнего поля ($k_m < 0$). К этим веществам относят большинство органических соединений и ряд металлов: медь, серебро, золото, свинец и другие.

Наибольший интерес с точки зрения технического применения представляют сильномагнитные вещества ($k_m \gg 1$), к которым относят **ферромагнетики и ферримагнетики**.

К «классическим» ферромагнетикам относятся железо, никель, кобальт, их соединения и сплавы.

Ферромагнетиками также являются ряд редкоземельных металлов (РЗМ), а именно: гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий и туллий, но при этом в пяти из них (за исключением гадолиния) в определенном температурном интервале наблюдается и антиферромагнетизм. Ферромагнитны также некоторые сплавы и соединения марганца, серебра и алюминия.

Ферромагнетики относятся к переходным элементам, у которых нарушен нормальный порядок заполнения электронных оболочек, в результате чего их атомы имеют внутренние недостроенные оболочки. Для элементов группы железа недостроенным является $3d$ -слой, для большинства РЗМ недостроен $4f$ -слой. Наличие незаполненных оболочек приводит к тому, что атомы этих элементов обладают нескомпесированным спиновым моментом (для полностью заполненных оболочек результирующий магнитный момент равен нулю).

Тема 5.2 Магнитомягкие материалы

Вопросы конспекта:

1. Магнитомягкие материалы для низкочастотных магнитных полей

2. Магнитодиэлектрики

Магнитомягкие материалы используются в качестве разнообразных магнитопроводов в трансформаторах, электрических машинах, электромагнитах и т.д.

Делятся на **магнитомягкие материалы для низкочастотных магнитных полей и материалы для радиочастот.**

В постоянных и низкочастотных магнитных полях применяют металлические магнитомягкие материалы: листовые электротехнические стали, железоникелевые сплавы (пермаллой). Эти материалы должны обладать малой коэрцитивной силой, высокой магнитной проницаемостью и малыми потерями при перемагничивании.

Основным видом потерь в магнитомягких материалах являются потери на вихревые токи. Уменьшение потерь достигается снижением толщины отдельных листов, из которых собирают магнитопровод и применением магнитных материалов с повышенным удельным сопротивлением. Кроме того, отдельные листы магнитопровода изолируют друг от друга, что препятствует сложению отдельных вихревых токов и приводит к снижению общих тепловых потерь.

Электротехнические стали

Применяют две основные разновидности магнитомягких электротехнических сталей: низкоуглеродистые стали и кремнистые стали. Основой наиболее широко используемых в электротехнике магнитных материалов является низкоуглеродистая электротехническая сталь (технически чистое железо)

Она выпускается в виде листов, толщиной от 0,2 мм до 4 мм, содержит не выше 0,1% углерода и не выше 0,6% других примесей. Максимальное значение магнитной проницаемости $m_{\max} \sim 4000$, коэрцитивной силы $H_c \sim 65-100$ А/м. Выпускается

следующих марок: Э, ЭА, ЭАА, ЭП355, ЭП620. В наибольшей степени ухудшают магнитные свойства материала примеси углерода и серы, поэтому их содержание не должно превышать сотых долей процента.

Конструкцию магнитопроводов из низкоуглеродистой стали выбирают в зависимости от частоты перемагничивающего поля. Детали магнитопроводов, работающие в постоянных магнитных полях, обычно изготавливают из массивных заготовок низкоуглеродистой стали. Этот материал отличается низкой стоимостью, технологичностью, легко обрабатывается и штампуется, обладая в тоже время сравнительно высокими магнитными свойствами.

В переменных магнитных полях из-за низкого удельного электрического сопротивления в этих сталях возникают большие потери на вихревые токи, особенно при больших значениях индукции. Поэтому низкоуглеродистые стали применяют в слабых магнитных полях. Из них изготавливают сердечники трансформаторов, детали реле, элементы магнитоэлектрических, индукционных и электромагнитных измерительных приборов, магнитные экраны.

Кремнистые электротехнические стали. По ГОСТу – электротехническая тонколистовая сталь является основным магнитомягким материалом массового потребления. Для уменьшения потерь на вихревые токи в листах низкоуглеродистой стали повышают ее удельное электрическое сопротивление. При легировании такой стали кремнием, последний образует с железом твердый раствор и повышает сопротивление стали в 2-6 раз.

Легирование кремнием улучшает магнитные свойства стали: снижается ее магнитострикция, сталь приобретает более крупнозернистую структуру, что приводит к увеличению магнитной проницаемости стали, снижению коэрцитивной силы и потерь на перемагничивание.

Выпускается свыше 35 марок кремнистых электротехнических сталей. Кремнистые стали изготавливают горячей и холодной прокаткой. Буквы и цифры в обозначениях марок кремнистой стали означают: Э – электротехническая сталь, первая цифра – группа стали по содержанию кремния:

- 1 – слаболегированная;
- 2 – среднелегированная;
- 3 – повышенолегированная;
- 4 – высоколегированная.

Вторая цифра указывает на гарантированные электромагнитные свойства (Э11 – Э13: Э41-Э43 и т.д.). По этому признаку различают три группы сталей:

Стали, предназначенные для работы в сильных магнитных полях при частоте 50 Гц. В этом случае цифры означают: 1 – нормальные удельные потери, 2 – пониженные, 3 – низкие.

Стали, предназначенные для работы в средних полях при частоте перемагничивания 400 Гц, маркируются цифрой 4, которая означает нормальные удельные потери.

Стали, предназначенные для работы в слабых (цифры 5, 6) или средних полях (цифры 7, 8).

В этом случае цифры означают:

5 и 7 – гарантированное значение магнитной проницаемости;

6 и 8 – повышенное значение магнитной проницаемости.

Третья цифра в обозначении марки стали показывает степень текстурованности стали: 0 - означает текстурованную холоднокатаную сталь; 00 – малотекстурованную холоднокатаную сталь.

Текстурованные стали магнитно анизотропные

Примеры марок сталей: Э11, Э23, Э44, Э41, Э48, Э310, Э380. **Железоникелевые сплавы с высокой магнитной проницаемостью**

Если к железу добавить никель, то полученные материалы будут обладать повышенной магнитной проницаемостью (до 100000 у 79НМ, 79% никеля и небольшое количество марганца). Такие сплавы называются **пермаллои**, они используются для изготовления сердечников малогабаритных силовых и импульсных трансформаторов. Практически такие же результаты по магнитной проницаемости можно получить, добавляя к железу кремний (9.5%) и алюминий (5.6%). Такие сплавы называются **альсиферами**.

Сплавы железа с никелем, называемые пермаллоями, обладают при определенном соотношении компонентов высокими магнитными свойствами. Для сплавов этого состава характерны наивысшие значения магнитной проницаемости, минимальные значения коэрцитивной силы.

Наибольшими значениями начальной и максимальной магнитных проницаемостей обладают сплавы, содержащие 70-80% Ni (высоконикелевые сплавы), второй, меньший, максимум наблюдается, если сплав содержит 40-50% Ni (низконикелевые сплавы). По сравнению с электротехническими сталями магнитная проницаемость железоникелевых сплавов в несколько сотен раз выше как в постоянных, так и в переменных магнитных полях. Индукция насыщения высоконикелевых сплавов примерно в 2 раза ниже, чем у электротехнической стали, и в 1,5 раза ниже, чем у низконикелевых сплавов. Отсюда следует, что для магнитопроводов мощных силовых трансформаторов и мощных магнитопроводов других назначений не следует использовать высоконикелевые сплавы.

Удельное электрическое сопротивление низконикелевых сплавов примерно в 2 раза выше, чем у высоконикелевых. Это позволяет использовать низконикелевые сплавы на более высоких частотах.

Большим недостатком всех железоникелевых сплавов является их высокая чувствительность к механическим воздействиям. Промышленность выпускает свыше 30 марок этих сплавов. Все марки железоникелевых сплавов разделены на 4 группы:

Нелегированные низконикелевые сплавы 45Н и 50Н с содержанием 45 и 50% никеля (Н) соответственно.

Низконикелевый сплав 50НХС, легированный хромом (Х) и кремнием (С).

Сплавы, обладающие магнитной текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса, 50НП, 65НП, 34НКМП с содержанием никеля 50, 65 и 34% соответственно, но сплав 34НКМП легирован кобальтом (К) и молибденом (М). Буква П означает, что в результате особой технологии изготовления и термической обработки сплав может обладать прямоугольной петлей гистерезиса.

Высоконикелевые сплавы 79НМ, 80НХС, 76НХД, легированные соответственно молибденом, хромом и кремнием, хромом и медью (Д).

Введение легирующих добавок повышает проницаемость сплавов до значений $\mu_n = 100\ 000$, $\mu_{max} = 600\ 000 - 1500\ 000$, снижает H_c до 0,2-0,3 А/м.

Славы поставляют в виде горячекатаных листов, прутков и холоднокатаных лент толщиной от 2,5 мм до нескольких мкм. Сплавы поставляют в неотожженном виде. Режимы термообработки сплавов при температуре 1000-1200°C.

Области применения основных марок сплавов в приборостроении.

Сплав 50Н для изготовления ленточных, витых и штампованных магнитопроводов малогабаритных силовых трансформаторов и трансформаторов звуковых частот, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, работающих в широком диапазоне частот при повышенных магнитных индукциях без подмагничивания;

сплав 50НХС для изготовления магнитопроводов аппаратуры связи звуковых и высоких частот, работающих без подмагничивания и импульсных трансформаторов;

сплавы 79НМ, 80НХС, 76НХД для магнитопроводов малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле магнитных экранов, магнитных усилителей, бесконтактных реле и т.п.

Добавки к железу и никелю молибдена, хрома, меди приводит к еще большему росту начальной магнитной проницаемости, более 100 тысяч. Такие материалы используются в миниатюрных магнитных устройствах.

неэффективным. Эти потери снижаются при увеличении электрического сопротивления материала и уменьшении его индукции. Такими свойствами – малым значением B и высоким значением ρ обладают неметаллические магнитные материалы: ферриты и магнитодиэлектрики.

Марганцево-никелевые обладают следующими свойствами:

высокое значение $\mu_n = 40\ 000$;

малые потери на перемагничивание до частот 10^8 Гц.;

низкая остаточная и относительно большая максимальная индукция;

более высокая индукция, большая температура Кюри и меньшее значение температурного коэффициента магнитной проницаемости по сравнению с марганцево-цинковыми ферритами.

Применяют для изготовления сердечников импульсных трансформаторов с узким фронтом импульса и для сердечников аппаратуры дальней связи.

Никелево-цинковые обладают следующими свойствами:

малые потери и низкие значения начальной μ_n в широком интервале температур;

высокая временная стабильность μ_n (составляет десятые доли процента в год);

μ зависит от температуры, частоты, величины подмагничивающего поля;

μ не зависит от механических воздействий;

свойства зависят от состава и технологии изготовления.

Различают четыре группы. **Материалы первой группы** с высокой μ и узким диапазоном рабочих температур применяют для изготовления сердечников, работающих при частотах в несколько сот кГц. **Материалы второй группы со средним значением μ** , меньшими потерями на перемагничивание, более высоким ρ используют для изготовления сердечников катушек постоянной и переменной индуктивностей (вариометров) и магнитных антенн на частотах до нескольких мегагерц.

Литиево-цинковые ферриты обладают самым низким ТК μ ; малыми потерями на вихревые токи до частот до $2 \cdot 10^8$ ГЦ; гистерезисными потерями, большими чем у других ферритов. Сердечники контурных катушек из этих ферритов имеют большую добротность по сравнению с другими магнитомягкими материалами. На основе ферритов реализован перспективный тип элементов – многофункциональные магнитные радиокомпоненты, осуществляющие одновременно трансформацию, стабилизацию, модуляцию и другие виды преобразования электрического сигнала.

Магнитодиэлектрики

Представляют собой пластмассу, состоящую из порошка магнитного материала с малой величиной коэрцитивной силы, причем частицы материала электрически изолированы друг от друга диэлектриком.

Основными потерями в них являются потери на магнитное последствие, превышающее в 10-30 раз остальные виды

потерь. Относятся к высокочастотным магнитным материалам, характерной особенностью которых является более высокая стабильность магнитных свойств и, в частности, стабильность магнитной проницаемости при изменении внешнего магнитного поля. Технология производства сходна с технологией получения пластмасс: получение ферромагнитного порошка, смешивание ферромагнитных порошков и диэлектрика, прессования и термообработки. В качестве диэлектрика применяют бакелит, полистирол, каучуки и др., с помощью термообработки стабилизируют параметры, для чего магнитодиэлектрики выдерживают при повышенных температурах в течение определенного времени. В результате получают изделия более высоких классов точности, чем изделия из ферритов с меньшими затратами. Однако по ряду параметров они уступают ферритам. В промышленности применяют магнитодиэлектрики на основе альсифера, легированных железоникелевых сплавов, карбонильного железа. Магнитодиэлектрики на основе альсифера

Альсифер – это тройной сплав алюминия (аль-), кремния (-си) и железа (-фер). Он нековок, хрупок, тверд. Для магнитодиэлектриков применяют сплавы с содержанием кремния 9-11% и алюминия 7,5%, имеющие магнитные параметры: $\mu_n=30\ 000 - 35\ 000$, $\mu_{max}=120\ 000$, $H_c=1,8\ \text{А/м}$ при $\rho=0,8\ \text{мкОм}\cdot\text{м}$. Альсифер дешевый, недефицитный материал. Изделия получают только методом фасонного литья, так как он механически не обрабатывается. Изменяя содержание кремния и алюминия можно регулировать величину ТК μ .

Тема 5.3 Магнитотвердые материалы. Ферриты

Вопросы конспекта:

- 1. Магнитотвёрдые материалы**
- 2. Ферриты**

Магнитотвёрдые материалы

Магнитотвёрдые материалы магнитные материалы, характеризующиеся высокими значениями коэрцитивной силы. Каче-

ство магнитотвердых материалов характеризуют также значения остаточной магнитной индукции, максимальной магнитной энергии, отдаваемой материалом в пространство и коэффициента выпуклости. Материалы также должны иметь высокую временную и температурную стабильность перечисленных параметров и удовлетворительные прочность и пластичность.

Для получения высокой коэрцитивной силы в магнитных материалах кроме выбора химического состава используют технологии, оптимизирующие кристаллическую структуру и затрудняющие процесс перемагничивания. Это закалка сталей на мартенсит, дисперсионное твердение сплавов, создание высоких внутренних механических напряжений и др. В результате затрудняются процессы смещения доменных границ. У высококоэрцитивных сплавов магнитная текстура создается путем их охлаждения в сильном магнитном поле.

Магнитотвердые материалы намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в сравнительно сильных магнитных полях.

Применяют магнитотвердые материалы для производства постоянных магнитов. Они являются источниками постоянных магнитных полей, используемых в различной аппаратуре в электро- и радиотехнике, автоматике, приборостроении, электронике, в устройствах электромагнитной записи, фокусирующих устройствах для телевизоров, микрофонах, электроизмерительных приборах, микроэлектронике, СВЧ-приборах и т.д. Их используют в электрических машинах малой мощности, для записи и хранения цифровой, звуковой и видеоинформации и др. Преимущества постоянных магнитов по сравнению с электромагнитами постоянного тока - повышенная работоспособность; экономия материалов и потребления энергии; экономическая и техническая выгода применения.

Важнейшее требование к постоянному магниту — получение максимальной магнитной энергии в рабочем зазоре, поэтому удельная магнитная энергия (энергия, отнесенная к единице объема магнита) — одна из важнейших характеристик магнитотвердых материалов. Она пропорциональна произведению. Иногда магнитотвердые вещества характеризуют произведением, которое называется энергетическим произведением.

С усилением прямоугольности петли гистерезиса коэффициент выпуклости приближается к единице.

Чем больше остаточная индукция, коэрцитивная сила и коэффициент выпуклости, тем больше максимальная энергия магнита. Магнитотвердые материалы намагничиваются с трудом, но зато длительное время сохраняют сообщенную энергию. Намагничивание происходит в основном за счет вращения вектора намагниченности.

По составу и способу получения магнитотвердые материалы подразделяются на легированные стали, закаленные на мартенсит, литые высококоэрцитивные сплавы, порошковые магнитотвердые материалы, магнитотвердые ферриты, пластически деформируемые сплавы, сплавы для магнитных носителей информации.

Ферриты

Ферриты – это ферромагнитная керамика, сочетающая в себе высокие магнитные свойства и высокое удельное электрическое сопротивление и, следовательно, низкие потери на вихревые токи. Это позволяет применять их в области высоких и СВЧ, т.е. там, где металлические магнитомягкие материалы применять уже нельзя.

Ферриты представляют собой сложные системы оксидов железа и двухвалентного (реже одновалентного) металла, имеющие общую формулу $MeO \cdot Fe_2O_3$. В качестве металла применяют **Ni, Mn, Co, Fe, Zn, Cd, Li** и др., которые и дают название ферриту. Например, $NiO \cdot Fe_2O_3$ – никелевый феррит, $ZnO \cdot Fe_2O_3$ – цинковый феррит. Применяющиеся в технике ферриты называют также оксиферами. В последнее время широко применяют ферриты с общей формулой $3Me_2O_3 \cdot 5Fe_2O_3$ (где **Me** – двух- или трехвалентный металл).

Свойства ферритов и соответственно изделий из них сильно зависят от их состава и технологии получения. В промышленности используют наиболее простую технологию, которая заключается в спекании оксидов при повышенной температуре: в подготовленный ферритовый порошок, состоящий из обожженных оксидов соответствующих металлов, тонко измельченных и тщательно перемешанных, добавляют пластифици-

катор (обычно раствор поливинилового спирта), из полученной массы под большим давлением прессуют изделия требуемой формы и обжигают их при температуре 1100 – 1400°С. В процессе обжига и формируется феррит, представляющий собой твердый раствор оксидов. При этом происходит усадка, которая может составлять 10 – 20%. Очень важно, чтобы обжиг происходил в окислительной атмосфере (обычно в воздухе). Присутствие даже небольшого количества водорода может вызвать частичное восстановление оксидов, что приведет к увеличению магнитных потерь. Полученные ферритовые изделия являются твердыми, хрупкими и не позволяют производить какую-либо механическую обработку, кроме шлифования и полирования.

Тема 6.1. Литейное производство

Вопросы конспекта:

- 1. Сущность литейного производства**
- 2. Технологический процесс получения отливок: в разовые формы ручной или машинной формовкой**
- 3. Изготовление отливок литьем по выплавляемым моделям**
- 4. Изготовление отливок литьем в оболочковые формы**
- 5. Изготовление отливок литьем в кокиль**
- 6. Изготовление отливок литьем под давлением**

Сущность литейного производства

Литейным производством называют комплекс процессов получения фасонных отливок путем заполнения жидким металлом заранее приготовленных форм. После затвердевания металла в форме получают отливки.

Отливки могут быть готовыми деталями или заготовками. Для заготовок предусматривают припуск на механическую обработку. Отливки изготавливают из чугуна, стали, сплавов цветных металлов, пластмасс.

Технологический процесс получения отливок: в разовые формы ручной или машинной формовкой

Изготовление отливок в песчано-глинистых формах

Для изготовления песчано-глинистой формы используют модельный комплект, опочную оснастку и формовочные материалы. В модельный комплект входят: модель или модельные плиты, стержневые ящики, модели литниково-питающей системы (выпоры, прибыли). Модель в литейной форме образует отпечаток, по которому формируются внешние контуры отливки. Отверстия, углубления, внутренние полости в отливке воспроизводят стержни, которые изготавливают в специальных стержневых ящиках.

Модели и стержневые ящики делают из древесины, металла, пластмассы, гипса и других материалов.

Модели изготавливают с припуском на усадку металла при кристаллизации и механическую обработку.

Усадка чугунных отливок – 1 %, стальных – 2 %, цветных сплавов – 1...1,5 %.

Модели бывают цельные и разъемные, состоящие из двух и более частей и соединяющиеся шипами.

Чтобы обеспечить извлечение модели из формы, вертикальные поверхности ее делают с литейными уклонами. В деревянных моделях уклон составляет 1...3°, в металлических – 0°30'...1°30'.

Для установки и закрепления стержней в литейной форме на моделях и стержневых ящиках предусматривают знаковые части (знаки), которые могут быть вертикальными и горизонтальными.

В моделях между сопрягаемыми поверхностями должны быть плавные закругления – галтели. Это предохраняет форму от засорения, а отливку от трещин в местах резких переходов.

Специальные жесткие рамки, в которых изготавливается литейная форма, называются опоками. Они бывают литые, сварные и собранные на болтах.

При ручной формовке используют деревянный подмодельный щиток, на который устанавливают модель и опоку. При машинной формовке модели закрепляют на металлических модельных плитах.

Литейные формы изготавливают из формовочных смесей, которые состоят из кварцевого песка, огнеупорной глины, специальных добавок и влаги.

Формовочные смеси должны обладать:

- прочностью – способностью выдерживать внешние нагрузки не разрушаясь;
- пластичностью – давать хороший отпечаток модели;
- газопроницаемостью – свободно пропускать газы, выделяющиеся при кристаллизации металла;
- огнеупорностью – не сплавляться и не спекаться под действием расплавленного металла;
- податливостью – сжиматься при усадке металла;
- долговечностью – сохранять свои качества при повторном использовании.

Стержневые смеси состоят из 96...97 % кварцевого песка и связующих материалов (глина, льняное масло, патока, декстрин, синтетические смолы). Они должны обладать повышенной прочностью, газопроницаемостью, легко выбиваться из отливки, не впитывать влагу.

Специальные добавки вводят для повышения прочности формовочной смеси (жидкое стекло, цемент, сульфитный щелок); для предохранения от пригара (каменноугольная пыль, графит, мазут); для улучшения газопроницаемости и податливости (опилки, торф).

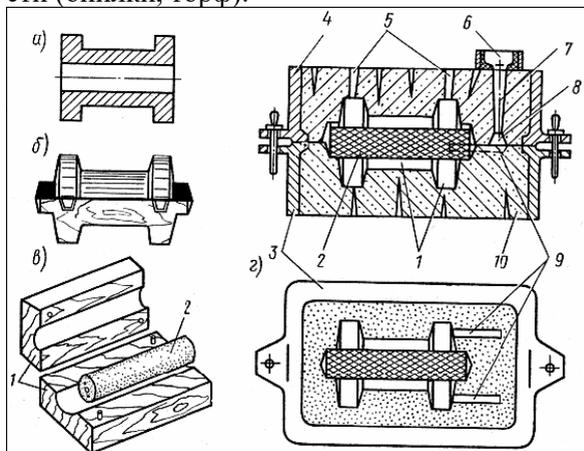


Рис. 8.

a – втулка; *б* – модель; *в* – стержневой ящик; *z* – форма

Рассмотрим песчаную форму для отливки втулки (рис. 1, а). Литейную форму (рис. 1, з) изготавливают ручной формовкой в двух опоках: нижней – 3 и верхней – 4, в которых уплотняют формовочную смесь 10. Полость формы 1 имеет конфигурацию модели втулки. Для выполнения отверстия во втулке в форме используется стержень 2, изготовленный в стержневом ящике 1 (рис. 1, в). По размерам стержень длиннее, чем отверстие втулки, так как стержень имеет дополнительные части – знаки, с помощью которых он устанавливается и фиксируется в форме.

Чтобы заполнить полость формы жидким металлом, в форме выполняют систему каналов – литниковую систему (рис. 1, з), состоящую из чаши 6, стояка 7, шлакоуловителя 8 и питателя 9. Воздух, находящийся в полости формы, вытесняется при ее заливке металлом через каналы 5 – выпоры, которые делают на самых высоких участках полости формы.

Заливку собранных форм производят чаще всего на конвейерах, где они охлаждаются до температуры выбивки. Выбивку отливок из форм и стержней из отливок производят на вибрационных решетках. Отливки освобождают от литников, выпоров и прибылей молотком или кувалдой, механической обработкой или газовой резкой.

Для удаления пригоревшей формовочной смеси и неровностей применяют ручную и механическую

очистку (стальной щеткой, зубилом, во вращающихся барабанах или в пескоструйных и дробеструйных установках). Затем осуществляют технический контроль. Методы контроля отливки: внешний осмотр, проверка размеров, определение химического состава, механических свойств, определение внутренних трещин, раковин, пустот рентгеновским, ультразвуковым и другими неразрушающими отливку методами.

Изготовление отливок литьем по выплавляемым моделям

Отливки сложной конфигурации, не требующие последующей механической обработки, изготавливают литьем по выплавляемым моделям.

Изготавливают металлическую прессформу, в которой выполняют выплавляемые модели и каналы литниковой системы. Заливают в прессформу модельный состав, состоящий из смеси материалов: парафина, стеарина, воска. Застывшую модель выталкивают из прессформы. Несколько моделей собирают в блоки с общей литниковой системой и погружают в огнеупорную суспензию, состоящую из 30 % гидрализованного раствора этилсиликата и 70 % кварцевой муки. Затем блок посыпают сухим песком и сушат на воздухе шесть–восемь часов или в аммиачной атмосфере 40...50 минут.

Повторяя эти операции наносят 4–5 слоев. Модельный состав удаляют горячим воздухом при температуре 120...150°C, паром или горячей водой. Оболочки формируют в опоках из жаростойких сталей. Форму прокаливают при 920...960°C в течение одного–двух часов для удаления влаги, модельной массы и повышения прочности. Горячую форму подают на заливку.

После затвердевания металла отливки выбивают, а керамическую корку отбивают.

Изготовление отливок литьем в оболочковые формы

Способ изготовления отливок литьем в оболочковые формы имеет преимущества по сравнению с предыдущим: возможность механизации и автоматизации процесса получения отливки, снижение расхода формовочных смесей, высокое качество отливок, повышение производительности труда.

Металлическую модельную плиту нагревают до 200...250°C и покрывают разделительной смесью. Засыпают специальную формовочную смесь, состоящую из кварцевого песка и 3...6 % фенолформальдегидной терморезистивной смолы. Под действием тепла смола плавится, образуя на модели смолисто-песчаную оболочку толщиной 5...20 мм. Нерасплавившуюся часть формовочной смеси удаляют встряхиванием.

Модель с модельной плитой загружают в печь и выдерживают при 350...400°C в течение одной–трех минут. Смола полимеризуется, переходя в твердое необратимое состояние. Обо-

лочка снимается с модельной плиты при помощи штифтов. Подобным способом изготавливается вторая полуформа. Две полуформы соединяют и склеивают по плоскости разреза.

При сборке формы устанавливают стержни. Собранный форму заливают металлом через литниковую систему, которую изготавливают вместе с оболочковой формой. После охлаждения отливки оболочка легко разрушается.

Изготовление отливок литьем в кокиль

Металлические формы (кокили) – литейные формы многократного использования. Их изготавливают из стали, чугуна и алюминиевых сплавов.

Преимущества этого способа: кокиль выдерживает большое число заливок (до нескольких десятков тысяч), исключается применение формовочной смеси, отливки получаются с высоким классом шероховатости и повышенной точности, снижаются припуски на механическую обработку и расход жидкого металла вследствие уменьшения прибылей, повышается производительность труда и уменьшается стоимость отливки, высокая скорость охлаждения обеспечивает мелкозернистую структуру и повышение прочности отливки, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

К недостаткам можно отнести: высокую стоимость изготовления форм, возможность образования отбела в чугунных отливках, трудность получения в отливке тонких стенок и сложных внутренних и внешних очертаний вследствие быстрой кристаллизации металла в форме, возможность образования газовых раковин.

Технологический процесс кокильного литья состоит из следующих основных операций: подготовка кокиля к заливке (окраска, подогрев и закрытие), заливка жидкого металла в кокиль (мерным ковшом), охлаждение отливки до ее затвердевания, удаление из отливки металлических стержней, раскрытие кокиля и удаление из него отливки (автоматически с помощью толкателей), удаление литников и зачистка отливки.

Изготовление отливок литьем под давлением

Литье под давлением применяют для изготовления фасонных отливок из цветных сплавов (цинковых, алюминиевых, магниевых).

Преимущества способа: большая производительность, высокий класс точности и чистоты поверхности, возможность получения сложных отливок со стенками до 0,8 мм, легкость механизации и автоматизации процесса.

При литье под давлением жидкий металл заполняет полость металлической формы (прессформы) под принудительным большим давлением, которое достигает 100 МПа и более. Для литья под давлением используют специальные машины поршневого и компрессионного действия. Масса отливок от нескольких граммов до десятков килограммов.

Механическая обработка отливок незначительна или вообще не нужна. Производительность машин очень высокая – до 3000 отливок в час при работе в автоматическом режиме. Машины для литья под давлением имеют холодную или горячую камеру прессования. Холодная камера применяется для литья алюминиевых, магниевых и медных сплавов, при этом в камеру заливают дозированное количество металла из отдельной печи, после чего производится прессование. Горячие камеры прессования применяют для литья цинковых сплавов.

Недостатки способа: высокая стоимость прессформ и возможность образования газовых раковин.

Изучите основные свойства чугуна, стали, сплавов цветных металлов: устройства и печи для плавки металла, заливку форм, извлечение отливок и очистку литья. Изучите методы контроля качества отливок, типичные дефекты отливок и методы их предупреждения или способы их исправления, а также области применения отливок из различных сплавов.

Тема 6.2. Обработка металлов давлением

Вопросы конспекта:

- 1. Общая характеристика обработки металлов давлением**
- 2. Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла**

Общая характеристика обработки металлов давлением

Обработкой металлов давлением называют процессы изменения формы и размеров заготовок под воздействием внешних сил, вызывающих пластическую деформацию.

Процессы обработки давлением очень разнообразны. Обычно их объединяют в шесть видов: прокатка, прессование и волочение – для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине; ковка, объемная штамповка и листовая штамповка – для получения деталей или заготовок, имеющих форму, приближенную к форме готовых деталей. Изучая виды обработки давлением, необходимо особое внимание уделить технологическим возможностям и областям их применения. Пластическим деформированием получают изделия с высокой производительностью, малыми отходами, возможностью повышения механических свойств металла.

Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла

Многие металлы можно пластически деформировать в холодном и горячем состоянии. После холодной пластической деформации (ниже температуры рекристаллизации) структура металла становится волокнистой.

Это сопровождается изменением его физико-механических свойств: увеличением прочности и снижением пластичности. Такое явление называют упрочнением или наклепом. При горячей пластической деформации (выше температуры рекристаллизации) происходит разупрочнение металла или рекристаллизация, а также повышается плотность металла, завариваются усадочные и газовые раковины.

Пластичность металлов и сплавов зависит от химического состава, структуры, температуры нагрева, скорости и степени деформации, схемы напряженного состояния и схемы деформации.

Тема 6.3. Сварочное производство

Вопросы конспекта:

- 1. Сущность процесса сварки**
- 2. Виды сварных соединений и швов**
- 3. Ручная дуговая сварка**

Сущность процесса сварки.

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого.

Сварочное производство – это комплекс производственных процессов с широким использованием сварочной техники, образующей самостоятельную законченную технологию изготовления сварной продукции. Весь комплекс сварочного производства может быть разделен на шесть групп операций: 1) заготовительные; 2) сборочные; 3) сварочные; 4) отделочные; 5) вспомогательные; 6) контрольные.

Наряду с обычными условиями сварку выполняют в условиях высоких температур, радиации, под водой, в вакууме, в условиях невесомости.

Виды сварных соединений и швов. Общепринятые обозначения

РДС – ручная дуговая сварка (преимущественно в советской литературе);

ММА – Manual Metal Arc (Welding) – ручная металлическая дуговая сварка;

SMAW – Shielded Metal Arc Welding – металлическая дуговая сварка в защитной атмосфере;

E – международный символ ручной дуговой сварки.

Ручная дуговая сварка

Для образования и поддержания электрической дуги к электроду и свариваемому изделию (см. рисунок) от источника питания подводится сварочный ток (переменный или постоянный).

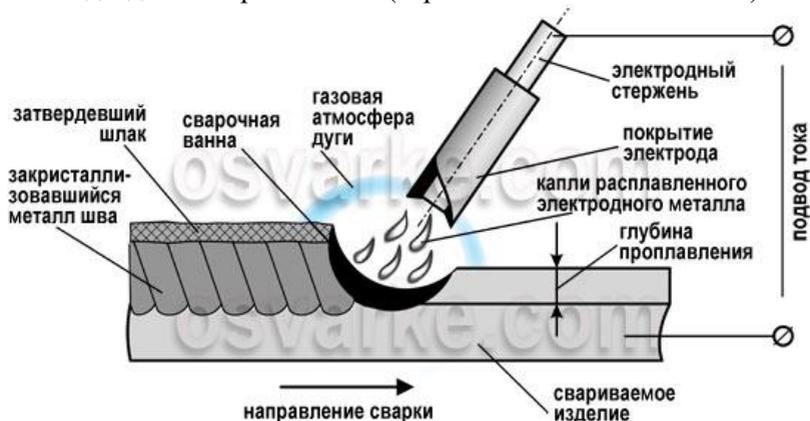


Рис. 9. Ручная дуговая сварка

Если положительный полюс источника питания (анод) присоединен к изделию, говорят, что ручная дуговая сварка производится на прямой полярности. Если на изделии отрицательный полюс, то полярность обратная. Под действием дуги расплавляются металлический стержень электрода (электродный металл), его покрытие и металл изделия (основной металл). Электродный металл в виде отдельных капель, покрытых шлаком, переходит в сварочную ванну, где смешивается с основным металлом, а расплавленный шлак всплывает на поверхность.

Размеры сварочной ванны зависят от режимов и пространственного положения сварки, скорости перемещения дуги по поверхности изделия, конструкции сварного соединения, формы и размера разделки свариваемых кромок и т.д. Они обычно находятся в следующих пределах: глубина до 6 мм, ширина 8–15 мм, длина 10–30 мм.

Длина дуги – расстояние от активного пятна на поверхности сварочной ванны до другого активного пятна на расплавленной поверхности электрода. В результате плавления покры-

тия электрода вокруг дуги и над сварочной ванной образуется газовая атмосфера, оттесняющая воздух из зоны сварки для предотвращения его взаимодействия с расплавленным металлом. В газовой атмосфере также присутствуют пары легирующих элементов, основного и электродного металлов.

Шлак, покрывая капли расплавленного электродного металла и поверхность сварочной ванны, препятствует их взаимодействию с воздухом, а также способствует очищению расплавленного металла от примесей.

По мере удаления дуги металл сварочной ванны кристаллизуется с образованием шва, соединяющего свариваемые детали. На поверхности шва образуется слой затвердевшего шлака.

Способы зажигания дуги при ручной дуговой сварке

Дуга зажигается кратковременным прикосновением конца электрода к свариваемому изделию. В результате протекания тока короткого замыкания и наличия контактного сопротивления торец электрода быстро нагревается до высокой температуры, при которой после отрыва электрода происходит ионизация газового промежутка и возникает сварочная дуга. Для надежного зажигания дуги сварщик должен отводить электрод от изделия на высоту 4–5 мм, так как при большем расстоянии между концом электрода и изделием дуга не возникает.

Обычно зажигание дуги осуществляется либо прямым отрывом электрода после короткого замыкания (А на рисунке ниже), либо скользящим движением конца электрода (Б на рисунке ниже).

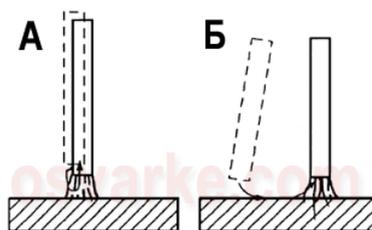


Рис. 10. Зажигание дуги при ручной дуговой сварке

Ведение дуги производится таким образом, чтобы обеспечить проплавление свариваемых кромок и получить требуемое качество наплавленного металла при хорошем формировании. Это достигается путем поддержания постоянства длины дуги и соответствующего перемещения конца электрода.

Перемещения электрода при ручной сварке

В процессе сварки электроду сообщается движение в трех направлениях. Первое движение – поступательное, направлено по оси электрода. Этим движением поддерживается постоянная длина дуги в зависимости от скорости плавления электрода. Длина дуги при ручной сварке в зависимости от условий сварки и марки электрода должна быть в пределах $(0,5-1,2)d_{эл}$. Чрезмерное уменьшение длины дуги ухудшает формирование шва и может привести к короткому замыканию. Чрезмерное увеличение длины дуги приводит к снижению глубины провара, увеличению разбрызгивания электродного металла и ухудшению качества шва как по форме, так и по механическим свойствам, а при сварке электродами с покрытием основного вида – и к порообразованию.

Второе движение – перемещение электрода вдоль оси валика для образования шва. Скорость этого движения устанавливается в зависимости от силы тока, диаметра электрода, скорости его плавления, вида шва и других факторов. При отсутствии поперечных движений электрода получается узкий шов (ниточный валик) шириной примерно 1,5 диаметра электрода. Такие швы применяют при сварке тонких листов, наложении первого (корневого) слоя многослойного шва, сварке по способу опирания и в других случаях.

Третье движение – перемещение электрода поперек шва для получения требуемых ширины шва и глубины проплавления. Поперечные колебательные движения конца электрода определяются формой разделки, размерами и положением шва, свойствами свариваемого материала, навыком сварщика (см. рисунок ниже). Ширина швов, получаемых с поперечными колебаниями, обычно составляет 1,5–5 диаметров электрода.

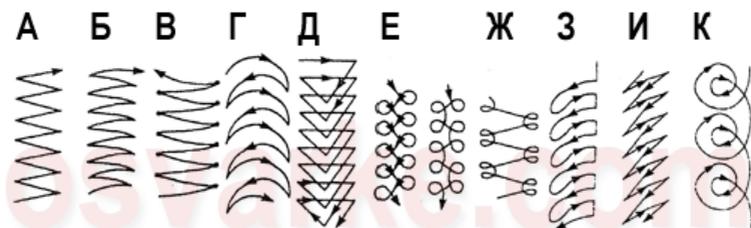


Рис. 11. Основные виды траекторий поперечных движений конца электрода при слабом (А, Б), усиленном (Е–Ж) прогреве свариваемых кромок, усиленном прогреве одной кромки (З, И), прогреве корня шва (К).

Тема 6.4 Является наиболее универсальной технологией дуговой сварки

Вопросы конспекта:

- 1. Техника ручной сварки в различных пространственных положениях**
- 2. Ручная дуговая сварка в нижнем положении**
- 3. Ручная дуговая сварка в вертикальном положении**
- 4. Сварка в среде защитных газов**
- 5. Сварка под слоем флюса**
- 6. Газовая сварка**

Техника ручной сварки в различных пространственных положениях

Техника выполнения ручной дуговой сварки во многом зависит от пространственного положения сварного шва. При сварке различают нижнее ($0-60^\circ$), вертикальное ($60-120^\circ$) и потолочное ($120-180^\circ$) положения (см. рисунок).

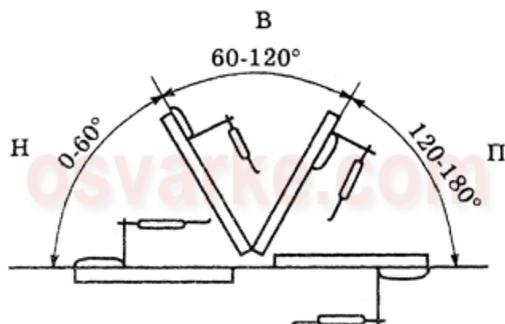


Рис. 12. Различные положения изделия при ручной дуговой сварке

Ручная дуговая сварка в нижнем положении

При ручной сварке в нижнем положении основная проблема состоит в том, чтобы обеспечить полное проплавление сечения без образования прожогов.

На рисунке приведены различные варианты выполнения швов в нижнем положении. При сварке односторонних швов на весу (рисунок А), как правило, очень трудно избежать непроваров или прожогов, поэтому для односторонних швов обычно применяют способы удержания сварочной ванны:

- сварка на съемной медной подкладке (рисунок Б);
- сварка на остающейся стальной подкладке (рисунок В);
- наложение подварочного шва (рисунок Г);
- вырубка непровара с последующей заваркой корня шва (рисунок Д).

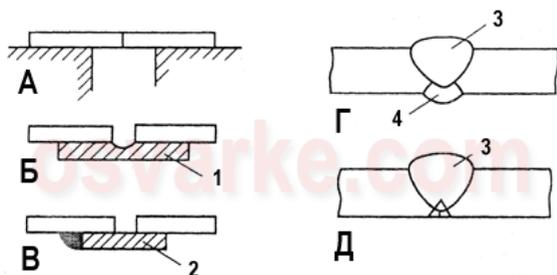


Рисунок.
Способы удержания сварочной ванны

1 – съемная медная подкладка; 2 – остающаяся стальная

подкладка; 3 – основной шов; 4 – подварочный шов

Сварку угловых швов в нижнем положении можно выполнять двумя способами: при повороте изделия на 45° (так называемое положение «в лодочку») и наклонным электродом (см. рисунок ниже). Сварка «в лодочку» более предпочтительна, так как при сварке наклонным электродом из-за отекания расплавленного металла трудно предупредить подрез по вертикальной плоскости и обеспечить провар по нижней плоскости.

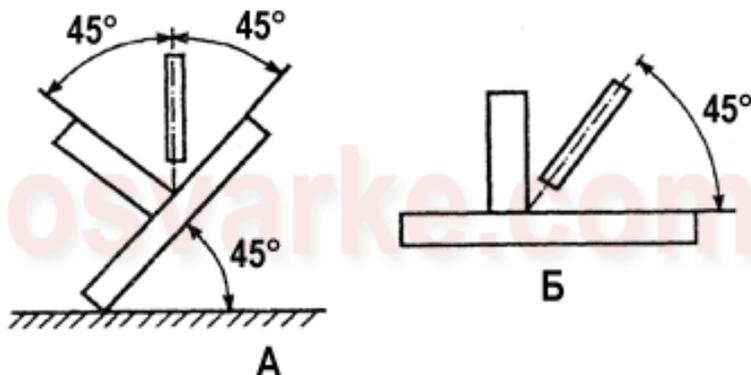


Рис. 13. Техника выполнения угловых швов при ручной дуговой сварке:

А – «в лодочку»; Б – наклонным электродом

Ручная дуговая сварка в вертикальном положении

При ручной сварке в вертикальном положении стекание расплавленного металла также оказывает существенное влияние на формирование шва и глубину проплавления (см. рисунок). Вертикальные швы обычно выполняют на подъем. В этом случае удастся обеспечивать требуемый провар и поддерживать расплавленный металл на кромках. Однако производительность сварки низкая и увеличивается при сварке на спуск. Однако из-за малой глубины проплавления это возможно только для тонкого металла и при применении специальных электродов.

Особенно неблагоприятные условия формирования шва наблюдаются при выполнении на вертикальной плоскости горизонтальных швов, так как расплавленный металл натекает на нижнюю свариваемую деталь.

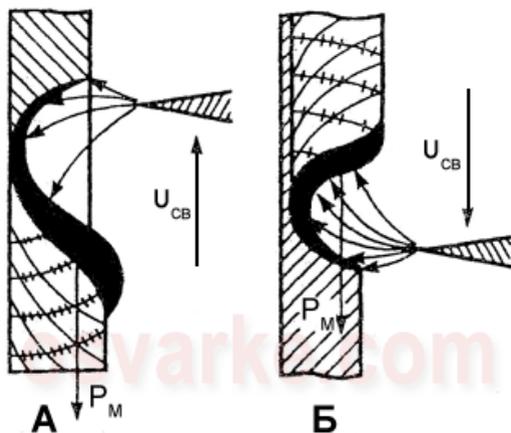


Рис.14. Ручная дуговая сварка швов в вертикальном положении

Ручная дуговая сварка в потолочном положении

Достаточно сложна и ручная сварка в потолочном положении. Расплавленный металл в сварочной ванне в этом случае удерживается от вытекания силой поверхностного натяжения (см. рисунок). Поэтому необходимо, чтобы вес расплавленного

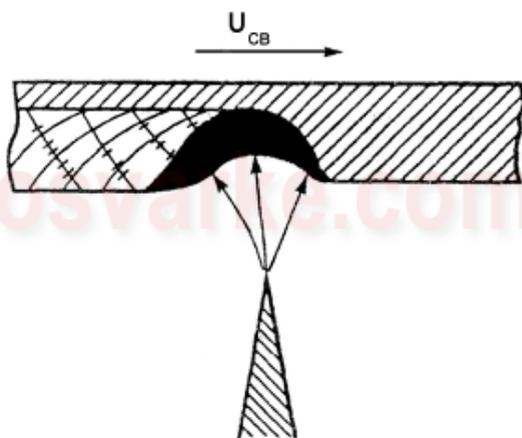


Рис. 15. Формирование ванны и шва при ручной дуговой сварке в потолочном положении

металла не превысил эту силу. Для этого стремятся уменьшить размеры сварочной ванны, выполняя сварку периодическими короткими замыканиями, давая возможность металлу шва частично закристаллизоваться. Применяют также уменьшенные диаметры электродов, снижают силу сварочного тока, используют специальные электроды, обеспечивающие получение вязкой сварочной ванны.

Преимущества ручной дуговой сварки

- возможность сварки в любых пространственных положениях;
- возможность сварки в местах с ограниченным доступом;
- сравнительно быстрый переход от одного свариваемого материала к другому;
- возможность сварки самых различных сталей благодаря широкому выбору выпускаемых марок электродов;
- простота и транспортабельность сварочного оборудования.

Недостатки ручной дуговой сварки

- низкие КПД и производительность по сравнению с другими технологиями сварки;
- качество соединений во многом зависит от квалификации сварщика;
- вредные условия процесса сварки.



Фото. Ручная дуговая сварка

Ручная дуговая сварка

Ручная дуговая сварка относится к сварке плавлением (местное расплавление соединяемых частей с использованием тепловой энергии). Источником тепла служит электрическая дуга, возникающая между электродом и изделием при протекании постоянного или переменного тока.

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы типа ТС, ТСК, ТД) и источники постоянного тока (преобразователи типа ПСГ, ПС, ПД, ПСУ и выпрямители типа ВСС, ВД, ВКС, ВС).

При дуговой сварке используют плавящиеся и неплавящиеся электроды. Неплавящиеся электроды изготовляют из угля, графита, вольфрама.

Плавящийся электрод для сварки стали состоит из сварочной проволоки (ГОСТ 2246–70) и электродного покрытия. Общее назначение электродного покрытия – обеспечение стабильности горения сварочной дуги и получение металла шва с заранее заданными свойствами (прочность, пластичность, ударная вязкость и др.).

Марку электрода выбирают в зависимости от химического состава свариваемого металла. Покрытия электродов со шлакообразующей основой на базе CaCO_3 и плавикового шпата называются основными. Они пригодны для сварки углеродистых и легированных сталей (УОHN – 13/45, АНО-7, АНО-8). Наплавленный ими металл обладает высокой ударной вязкостью и пластичностью. При сварке данными электродами необходимо применение постоянного тока обратной полярности.

Покрытия со шлакообразующей основой на базе рутила (TiO_2) называют рутиловыми (MP-3, O3C-4, АНО-4). В общем выпуске данные электроды составляют 75...80 %, благодаря высоким механическим свойствам швов, устойчивому горению дуги при переменном токе.

При выборе типа электрода следует руководствоваться ГОСТ 9467–75. В нем предусмотрено девять типов электродов: Э38, Э42, Э46, Э46А, Э50, Э-50А, Э55, Э60. Их применяют для сварки углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа. Для сварки легированных

сталей с временным сопротивлением свыше 600 МПа используют электроды Э70 – Э150. Цифры в обозначениях типов электродов для сварки конструкционных сталей обозначают гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм². Тип электрода выбирают таким образом, чтобы прочность металла шва не была ниже прочности основного металла.

Сварка в среде защитных газов

При сварке в среде защитных газов защитный газ, непрерывно подаваемый в зону сварочной дуги, оттесняет воздух, не допуская вредного влияния его на металл шва.

Применяются защитные газы: инертные (аргон и гелий); активные (азот, водород, углекислый газ); смеси газов (аргон с кислородом, аргон с азотом, аргон с углекислым газом).

Из инертных газов наиболее широко применяют аргон, содержание которого в атмосфере ~ 1 %. Применение аргона позволяет получать сварные швы высокого качества из высоколегированных сталей, цветных (Al, Mg) и тугоплавких металлов и сплавов (Ti, Nb, Mo, W, V).

Аргоно-дуговую сварку можно выполнять плавящимся и неплавящимся (вольфрамовым) электродом. Она разделяется на ручную (неплавящимся электродом), автоматическую и полуавтоматическую (плавящимся и неплавящимся электродами). Для ручной сварки используются установки: УДГ-101, УДГ-301, УДГ-501, ПРС-1М (где цифра означает номинальный сварочный ток); для полуавтоматической: УСГ-2, А-533, ПШВ-1; для автоматической: АДСВ-2, АРК-1.

Азотно-дуговая сварка производится неплавящимся электродом при сварке меди и медных сплавов. Азот не реагирует с медью при высокой температуре и успешно защищает сварочную ванну от действия кислорода и водорода, содержащихся в воздухе.

Сварка в углекислом газе применяется для соединения малоуглеродистых и низколегированных сталей.

В интервале высоких температур углекислый газ является активным окислителем, так как диссоциирует с образованием атомарного кислорода: $\text{CO}_2 = \text{CO} + \text{O}$. В результате в сварочной

ванне могут протекать следующие реакции: $C + O = CO$; $Fe + O = FeO$; $Mn + O = MnO$; $Si + 2O = SiO_2$.

Чтобы подавить реакции окисления применяется электродная проволока, легированная марганцем и кремнием: Св-08Г2С, Св-08ГС (ГОСТ 2246–70).

Для сварки в углекислом газе применяются полуавтоматы: А-537У ($d_э = 0,8...1,2$ мм), ПДГ-304 ($d_э = 0,8...1,6$ мм), А-573У ($d_э = 1,6...2,0$ мм), ПШП-21 ($d_э = 0,8...2,0$ мм).

Подача электродной проволоки в зону сварки осуществляется автоматически подающим механизмом, перемещение проволоки вдоль шва – вручную. Сварка выполняется на постоянном токе обратной полярности.

Этот способ сварки характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью.

Сварка под слоем флюса

Сварка под флюсом – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем порошкообразного флюса, обеспечивающего защиту сварочной ванны от воздуха. Наряду с защитой флюс стабилизирует дугу, обеспечивает раскисление и легирование металла шва. Сварку под флюсом осуществляют автоматами (АДС-1000-2, ТС-17М-У и др.) или шланговыми полуавтоматами (ПШ-5, ПДШМ-500 и др.) голой сплошной проволокой.

При сварке под флюсом производительность процесса по машинному времени повышается в 6–12 раз по сравнению с ручной дуговой сваркой благодаря применению больших токов, большой глубины проплавления и почти полного отсутствия потерь на угар и разбрызгивание ($\phi = 1...3$ %). Недостатком этого способа является возможность сварки только в нижнем положении.

Газовая сварка

Особенностью газовой сварки является то, что нагрев металла до расплавления осуществляется теплом, выделяемом при сгорании горючего газа в кислороде. В качестве горючего газа наиболее часто применяют ацетилен (C_2H_2), так как при сгора-

нии в кислороде он дает наибольшую температуру пламени (3200 °С).

По сравнению с электродуговой сваркой газовая сварка – процесс малопроизводительный, применяется при изготовлении тонких стальных изделий толщиной до пяти миллиметров, сварке цветных металлов и сплавов, исправлении дефектов в чугунных и бронзовых отливках, а также различных ремонтных работах.

Кислород и ацетилен поставляют на рабочее место в баллонах. Для снижения давления кислорода до рабочего на баллоне устанавливают газовый редуктор. Но в основном (в целях безопасности) ацетилен получают на рабочем месте в ацетиленовых газогенераторах (ГОСТ 5190–67) в результате взаимодействия карбида кальция с водой. Рабочим инструментом при газовой сварке является газовая горелка, в которой газы смешиваются и поступают в пламя.

При газовой сварке применяется присадочная проволока, близкая по составу к свариваемому металлу, а также флюсы, которые растворяют окислы и переводят их в шлак при сварке цветных металлов и чугунов.

Тема 6.4 Слесарная обработка материалов

Вопросы конспекта:

- 1. Общие сведения о слесарной обработке**
- 2. Слесарно-ремонтные работы**
- 3. Разметка заготовки**
- 4. Обработка металла резанием**
- 5. Пайка деталей**

Общие сведения о слесарной обработке

Слесарные работы по металлу в основном относятся к процессам холодной обработки металлов резанием. Такая обработка может осуществляться вручную или с помощью специального механизированного инструмента. Такими инструментами являются зубило, кернер, молоток, шабер, ножницы гильотинные, напильник и многие другие.

Слесарная обработка заготовки из металла выполняется в определенной последовательности. Первым делом осуществляют подготовительные работы по изготовлению заготовки или изменению ее формы — правку, резку, рубку, гибку материала. Затем заготовку размечают и осуществляют её основную обработку: последовательно снимают лишний слой металла, чтобы она приобрела размеры, форму и состояние поверхностей, близких к указанным на чертеже.

Потом выполняется отделочная обработка металлических изделий, после которой деталь должна соответствовать всем требованиям чертежа.

Слесарно-ремонтные работы

Существуют слесарно-ремонтные работы, заключающиеся в замене или исправлении поврежденных и изношенных деталей, изготовлении недостающих деталей, сборке узлов, механизмов и даже целой машины, выполнении подгоночных работ и работ по регулировке собранных механизмов и проведении испытаний готовой машины. У каждого слесаря имеется свое рабочее место — небольшой участок производственной площади цеха, где есть все необходимое оборудование: ручные инструменты для обработки металла, контрольно-измерительные приборы, вспомогательные приспособления.

Основным оборудованием рабочего места для слесарной обработки является слесарный верстак с тисками, закрепленными на нем, и набором необходимых рабочих и контрольно-измерительных инструментов и приспособлений. Чтобы на рабочем месте можно было перемещать деталь или узлы массой более 16 кг, оно должно обслуживаться кранами или подъемниками. Для выполнения сборочных или разборочных работ рабочие места оснащают стендами, конвейерами, рольгангами, специальными тележками или другими транспортирующими устройствами.

Разметка, рубка, правка и гибка

Слесарная обработка металлов включает в себя такие операции, как разметка, рубка, правка и гибка, а также резка метал-

ла ножовкой и ножницами, нарезание внутренней или наружной резьбы, шабрение и соединение деталей с помощью паяния или склеивания.

Разметка заготовки

Разметка — это процесс нанесения на поверхность заготовки специальных линий (рисок), которые согласно требованиям чертежа определяют места или контуры детали, подлежащие обработке. Разметка создает необходимые условия для получения детали определенной формы и нужных размеров, удаления с заготовок припуска металла до заданных границ и для максимальной экономии материалов. История художественной обработки металла знает множество примеров, когда с помощью разметки и последующим гравированием или насечкой получались настоящие произведения искусства.

Поруб металла

Процесс рубки представляет собой снятие металла заготовки с помощью зубила и молотка. Она производится в тисках, на наковальне или плите.

Правка и гибка изделия

Правка — это операция, с помощью которой устраняют различные недостатки формы заготовки (неровности, кривизну). Ручная правка выполняется молотком на правильной наковальне или плите, а машинная — на правильных машинах.

С помощью гибки заготовке придается заданная форма (при изготовлении петель, скоб, колец, кронштейнов и других изделий). Как и любая другая обработка металла, ручная гибка может производиться в тисках с применением слесарного молотка и всевозможных приспособлений. Механизированная гибка осуществляется на гибочных станках и гибочных прессах с ручным и механизированным приводом.

Обработка металла резанием

Для резки металла может применяться специальная ножовка или ножницы (гильотина для металла). Листовой металл

режут ручными или механическими ножницами, трубами, а профильный материал — ручными или механическими ножовками по металлу. Для резки труб применяют труборезы, а также дисковые и ленточные механические пилы.

Техника обработки металла резанием включает в себя такую операцию, как опилование. Этот процесс заключается в снятии с поверхности обрабатываемого изделия слоя металла с целью придания ему более точных размеров и необходимой чистоты поверхности. Опиливание выполняется напильниками.

При слесарной обработке металлов может производиться такая операция, как сверление — получение цилиндрических отверстий при помощи сверла. Сверление можно осуществлять на многих металлорежущих станках: сверлильном, токарном, револьверном и других. Наиболее приспособленными для этой операции являются сверлильные станки. Во время сборочных и ремонтных работ сверление часто производят с помощью переносных дрелей: пневматических, электрических и ручных.

Изготовление деталей из металла может включать в себя нарезание резьбы — процесс образования на внутренних и наружных цилиндрических и конических поверхностях заготовок спиралей, служащих для соединения деталей. Такие детали образуют разъемные соединения. Резьбу на болтах, винтах и прочих деталях нарезают в основном на станках. При сборке и ремонте агрегатов, а также при монтажных работах прибегают к нарезанию резьбы вручную при помощи метчиков и плашек.

Технологии ручной обработки металла немаловажное значение придают шабрению — операции по обработке поверхностей металлических деталей, в процессе которой соскабливают слой металла специальным режущим инструментом — шабером. Шабрение применяют для обеспечения точного соприкосновения трущихся поверхностей без нарушения их смазки. Данную операцию выполняют вручную или на специальных станках.

При слесарных работах финишная обработка металла часто осуществляется с помощью притирки, которую выполняют с использованием твердых шлифовальных порошков, наносимых на специальные притиры из серого чугуна, меди, мягкой стали и других материалов. Притир по форме должен соответствовать форме обрабатываемой поверхности. Путем перемещения при-

тира по обрабатываемой поверхности с неё снимают очень тонкий (0,001—0,002 мм) слой шероховатостей, что способствует достижению плотного соприкосновения сопрягаемых деталей.

Неразъемные соединения

Для получения неразъемных соединений из металлических деталей нередко применяются такие способы обработки металла, как клепка и паяние (пайка). Клепка — способ получения неразъемного соединения из двух или нескольких деталей с помощью заклепок. Клепку можно производить пневматическим молотком, ручным слесарным молотком или на специальных клепальных машинах.

Пайка деталей

Пайка это процесс соединения металлических частей с помощью расплавленного сплава, который называется припоем и имеющий температуру плавления гораздо ниже, чем металл соединяемых деталей. Обработка металла в домашних условиях зачастую включает в себя пайку — её широко применяют при ремонтных работах, а также для заделки трещин, устранения утечек жидкостей из сосудов и т. п.

Тема 6.5 Обработка конструкционных материалов на металлорежущих станках

Вопросы конспекта:

- 1. Назначения металлорежущих станков**
- 2. Классификация металлорежущих станков**

Назначения металлорежущих станков

Металлорежущими станками является оборудование, предназначенное для изготовления деталей машин методом снятия стружки с заготовки режущим инструментом. Многие изделия, которые сегодня могут быть изготовлены человеком, про-

изводятся при помощи станков для резки металла или машин, выполненных с использованием этих станков. Металлорежущие станки бывают самых разных модификаций и видов: от станков, имеющих ручное управление до роботизированных и компьютеризированных.

По виду производимых работ и используемому режущему инструменту более пятисот различных моделей существующих сегодня станков для резки металла подразделяются на множество групп. К ним относятся токарные станки, сверлильные, шлифовальные, фрезерные, разрезные. Так же существуют зубообрабатывающие станки, строгальные, автоматические многопозиционные, протяжные и мн. др. Станки для резки металла имеют в своей оснастке режущие инструменты, которые бывают разных видов (фреза, резец, сверло и др.). При помощи этого инструмента с заготовки снимается стружка почти таким же способом, как при очистке картофеля.

Обрабатываемые изделия могут быть изготовлены из металла, пластмассы, керамики. Режущий инструмент должен изготавливаться из более твердого и прочного материала, чем материал заготовки. Станок для резки металла оснащен механизмом, включающим в себя салазки, шпиндели, ходовые винты и столы, имеющие поперечное и продольное движение инструментов по отношению к детали. На станках, имеющих ручное управление, такое перемещение выполняется рабочим при помощи маховиков подачи, которые передвигают суппорт вместе с резцедержателем.

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) задают перемещение инструменту при помощи программы последовательных команд, которая занесена в память компьютера. Программой производится включение и выключение приводных механизмов (электродвигателей и гидроцилиндров) осуществляющих подачу суппорта, который автоматически регулирует взаимное положение заготовки и режущей кромки. Почти все виды станков имеют, как ручное управление, так и числовое программное управление.

Механические мастерские и любительские домашние мастерские, а так же машиностроительные заводы, чаще всего, имеют среди своего оборудования такие станки, как токарные,

шлифовальные, фрезерные, сверлильные и разрезные. На разрезных станках разрезают и распиливают сортовой прокат: прутки, уголки, швеллеры, балки. Ржущим инструментом является сегментная дисковая пила, ножовочное полотно или абразивные диски. Основным способом движения инструмента является возвратно-поступательное движение ножовочного полотна или вращение диска.

Разрезные станки с автоматическим управлением имеют разные скорости движения инструмента, они оснащены механизмом периодической подачи изделия и системами, осуществляющими управление рабочего стола двухкоординатным способом.

Самый распространенный вид станков для резки металла – это сверлильные станки. Они предназначены для просверливания и обработки отверстий. Главным способом движения является вращение и подача сверла. Подача сверла осуществляется ручным способом или выполняется автоматическое переключение скорости вращения и подачи. Шпиндель имеет разную частоту вращения, которая бывает постоянной с рядом установленных значений или переменной. Это зависит от материала, из которого изготовлено сверло и деталь, от диаметра отверстия и глубины сверления.

Классификация металлорежущих станков

Существует большое разнообразие типов и моделей металлорежущих станков.

Они различаются по виду технологических процессов, осуществляемых на данном станке, типу применяемых инструментов, степени чистоты обрабатываемой поверхности, конструктивными особенностям, степени автоматизации, числу важнейших рабочих органов станка.

По виду обработки и виду режущего инструмента станки делятся:

1. **токарные,**
2. **сверлильные,**
3. **фрезерные,**
4. **шлифовальные** и т. д.

В зависимости от чистоты обработанной поверхности станки делят на обдирочные, чистовые, отделочные, доводочные, а по конструктивным особенностям — на горизонтальные, вертикальные (сверлильные, фрезерные, протяжные вертикальные и горизонтальные). По степени автоматизации станки делят на автоматы, полуавтоматы, станки с программным управлением.

По числу рабочих органов станка (шпинделей, суппортов) различают сверлильные одношпиндельные, сверлильные многошпиндельные, токарные односуппортные, многосуппортные и т. п.

Все металлорежущие станки в зависимости от специализации делят на следующие три группы:

- Универсальные, применяемые для обработки различных по форме и размерам поверхностей на деталях многих наименований. Универсальные станки используются в штучном и отчасти в мелкосерийном производствах и в ремонтных цехах.

- Специализированные, применяемые для обработки различных поверхностей на деталях одного наименования или немногих наименований, сходных по конфигурации, но различных размеров, например ступенчатых валиков, колес подшипников качения, шкивов и т. п. Специализированные станки используются главным образом в серийном производстве.

- Специальные, применяемые для обработки одних деталей, как, например, обточки шеек коленчатых валов, для обточки фасонного профиля реборд вагонных колес и т. п.

Кроме этого, в зависимости от веса и размеров станки классифицируют на:

- легкие станки, применяемые для обработки деталей приборов, часов, швейных машин;

- средние станки весом до 10 т, применяющиеся главным образом в среднем машиностроении;

- крупные станки весом от 10 до 30 т (за исключением внутри-шлифовальных, шлифовально-притирочных и зубообрабатывающих, для которых предельный вес составляет 20 т);

- тяжелые станки весом от 30 до 100 т и особо тяжелые или уникальные (свыше 100 т).

Нумерация металлорежущих станков производится по системе, предложенной экспериментальным научно - исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМС).

Согласно этой системе все станки делятся на девять групп. Каждому станку присваивается трех- или четырехзначный номер. Первая цифра номера означает группу станка: 1 — токарные, 2 — сверлильные и другие (см. табл. 11). Вторая цифра означает разновидность (тип) станков, например, токарно-винторезные станки имеют вторую цифру 6, токарные полуавтоматы и автоматы одношпиндельные — вторую цифру 1 и т. д. Третья и четвертая цифры номера станка обозначают условно размеры обрабатываемой заготовки или размеры режущего инструмента. Для отличия новой модели станка от старой, выпускавшейся ранее, к номеру добавляют букву. Буква после первой цифры указывает на модернизацию станка (например, токарно-винторезный станок модель 1А62, 1К62), буква после всех цифр обозначает видоизменение (модификацию) основной модели станка (1Д62М — токарно-винторезный, 3153М — круглошлифовальный, 372Б — плоскошлифовальный модифицированный).

Таблица. Классификация и нумерация металлорежущих станков

Таблица 1

Классификация металлорежущих станков по группам и типам

Станки	Группа	Типы станков			
		1	2	3	4
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы		Револьверные	Сверлильно-отрезные
		одношпиндельные	многошпиндельные		
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Одношпиндельные полуавтоматы	Многошпиндельные полуавтоматы	Координатно-расточные
Шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные для валов
Комбинированные	4	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	—
Зубо- и резьбо-обрабатывающие	5	Зубострогальные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валков	Зубофрезерные для нарезания червячных колес
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные, консольные	Фрезерные непрерывного действия	—	Копировальные и гравировальные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Продольно-строгальные		Поперечно-строгальные (шепинги)	Долбежные
		одностоечные	двустоечные		
Разрезные	8	Отрезные работающие			
		токарным резцом	абразивным кругом	гладким или насечным диском	Правильно отрезные
Разные	9	Опиловочные	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные	Балансировочные

autowelding.ru

Учебное издание

Дикий Александр Федорович

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

для специальности 35.02.08

Электрификация и автоматизация сельского хозяйства

Учебное пособие

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 21.12.2020 г. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$

Бумага печатная Усл. п. л.6,74. Тираж 25. Изд. №6801.

243365 Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино
Издательство Брянского государственного аграрного университета