

Лекция 26

10. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

План лекции

10.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКРЫТИЙ

Свойства металлических покрытий

Свойства окисных покрытий

Свойства диффузионных покрытий

Свойства лакокрасочных покрытий

Литература к лекции № 26: [16, 39, 68, 69, 78]

10.3 Классификация покрытий

При выборе материала для конструкции ЭС, наряду с такими факторами как обрабатываемость, прочность и др., стоит в числе наиболее значимых и способность материала к нанесению на него покрытия.

В ряде случаев оказывается более выгодным не использовать специальные материалы, а применить покрытие, обеспечивающее соответствующее свойство. Помимо этого, применение покрытий обязательно для большинства металлических (алюминий, сталь) и ряда неметаллических материалов.

В общем случае поверхность материала при нанесении покрытия может приобрести следующие свойства:

- повышенную твердость;
- повышенную износостойкость и устойчивость против трения;
- устойчивость против потускнения;
- кислотощелочестойкость;
- декоративность и внешнюю привлекательность;
- определенную отражательную способность;
- теплостойкость;
- повышенную долговечность;
- легкость полировки;
- лучшую способность к креплению;
- изменение электропроводности.

Взаимное соотношение детали и покрытия можно представить в следующем виде:

Деталь	Функциональное назначение		Покрытие
	Условия эксплуатации		
	Влияние последующих операций (механическая, термическая обработки)		
	Материал		
	Состояние, структура, способ изготовления	Физико-химические свойства	
	Габариты, форма	Характеристика покрываемости	
	Состояние поверхности, шероховатость	Совместимость с материалом сопрягаемой детали	
	Взаимное влияние детали и покрытия		
	Оборудование для покрытия		
	Экология		
	Стоимость		

По назначению покрытия подразделяются на:

- защитные – предназначены для защиты основного материала от коррозии, старения, высыхания, гниения и др. процессов, вызывающих выход аппаратуры из строя ($R_z 40$).
- защитно-декоративные – используются для защиты от вредного воздействия окружающей среды изделий, требующих красивой внешней отделки ($R_a 2,5$).
- специальные – придают поверхности детали особые свойства или защищающие от влияния особых сред ($R_a 1,25$).

Даже в относительно несложных конструкциях ЭС используются различные материалы. Коррозия протекает более интенсивно при контактировании материалов с существенно различными электрохимическими потенциалами. Металл с отрицательным потенциалом гальванической пары будет разрушаться и тем быстрее, чем больше разница их электрохимических потенциалов. Электрохимические потенциалы металлов в пресной и морской воде представлены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Пресная вода		Морская вода	
Металл	Потенциал, мВ	Металл	Потенциал, мВ
Серебро	+194	Серебро	+149
Медь	+140	Никель	+46
Никель	+118	Медь	+10
Алюминий	-169	Свинец	-259
Олово	-175	Цинк	-284
Свинец	-283	Сталь	-335
Сталь	-350	Кадмий	-519
Кадмий	-574	Алюминий	-667
Цинк	-823	Олово	-807

Если по тем или иным причинам невозможно заменить металлы с высокой разницей электрохимических потенциалов, то на них наносятся защитные покрытия.

Виды защитных покрытий:

- металлические;
- неметаллические неорганические;
- лакокрасочные.

Металлические образуют с основным материалом детали контактную пару. В зависимости от полярности потенциала различают покрытия анодные и катодные. *Покрытия называют анодными*, если электрохимический потенциал металла покрытия меньше электрохимического потенциала детали ($\text{ЭХПп} < \text{ЭХПд}$). Катодные покрытия имеют обратное соотношение: ($\text{ЭХПп} > \text{ЭХПд}$).

При коррозии может разрушаться как основной металл детали, так и покрытие. Разрушение происходит из-за наличия пор в покрытиях, повреждений в виде сколов, царапин, трещин, возникающих в процессе эксплуатации, и будут тем интенсивнее, чем больше разница электрохимических потенциалов между основным металлом и покрытием. При анодном покрытии вследствие коррозии разрушается само покрытие, основной материал детали не подвергается разрушению. При катодном покрытии все происходит наоборот.

В качестве материалов покрытий наибольшее распространение получили *цинк, хром, никель, олово и серебро*. Толщина покрытия выбирается в зависимости от материала и способа нанесения покрытия. Для улучшения защитных и специальных (механические, улучшение способности к

креплению и т. д.) свойств покрытий применяются многослойные покрытия из разных металлов.

Неметаллические неорганические покрытия – окисные пленки.

Оксидирование – получение окисной пленки на стали, меди и ее сплавах, алюминии и его сплавах. Такое покрытие имеет хороший внешний вид, антикоррозионные свойства, но непрочное и микропористо. Последнее свойство покрытия позволяет его использовать как грунт под окраску.

Окисные пленки могут быть получены химическим способом, анодированием и фосфатированием.

Полученное **химическим** способом покрытие менее прочно, чем покрытие металлическое. Образующаяся при этом защитная пленка химически пассивна, устойчива, имеет хороший декоративный вид. Толщина покрытия обычно составляет 1–15 мкм.

Анодирование – декоративное покрытие алюминия и его сплавов электрохимическим способом. Защитная пленка химически устойчива, обладает высокими электроизоляционными свойствами, надежно защищает от коррозии, пористо.

Фосфатирование – процесс образования на стали защитной пленки с высокими антикоррозионными и электроизоляционными свойствами, хорошей адгезией. Получаемое покрытие пористо и недостаточно прочно.

Лакокрасочные покрытия защищают детали от коррозии. Как недостаток следует отметить низкую механическую прочность и термостойкость. Этот вид покрытия применяется для окрашивания каркасов, кожухов, лицевых панелей приборов и т. п. Качественный внешний вид изделия обеспечивается многослойным окрашиванием. Толщина лакокрасочного покрытия колеблется от 20 до 200 мкм.

По способу получения (для металлических и неметаллических неорганических):

- гальванический;
- химический;
- анодизационный;
- горячий;
- диффузионный;
- напыление;
- металлизационный.

Гальванический способ нанесения покрытия, как наиболее распространенный, не обозначается.

К *достоинствам* процессов электрохимической металлизации (гальванический способ) по сравнению с химическими методами относятся большие скорости процесса (химическое меднение – 2–4 мкм/час, гальваническое – 100–130 мкм/час), более низкая себестоимость покрытия из-за пониженного расхода химикатов, значительно меньшие сбросы вредных веществ. При гальванической металлизации легче нанести покрытия с заданными свойствами, с нужными физико-механическими характеристиками.

К *недостаткам* гальванической металлизации по сравнению с химической относятся меньшая равномерность толщин покрытий, особенно на сложнопро-филированных деталях, необходимость установки токопроводах.

По условиям эксплуатации согласно ГОСТ 15150 имеется 8 групп покрытий в зависимости от климата и категории исполнения:

1 группа – все исполнения категории 4.1 кроме У и Т;

- категории 4, 4.2 для УХЛ (ХЛ), ТС;
- категории 3, 3.1 для У, УХЛ (ХЛ), ТС;
- категория 2.1 для У, УХЛ (ХЛ);

2 группа – категории 1.1, 2.3 для ТС;

- категория 2.1 для ТВ, Т, О;
- категории 3, 3.1 для ТВ, Т;
- категории 4, 4.2 для ТВ, О, М, ТМ, ОМ, В;

3 группа – категории 1 для ТС;

- категория 1, 1.1, 2.3 для У, УХЛ (ХЛ);

4 группа – категория 1.1 для ТВ, Т, О, М, ТМ, ОМ, В;

5 группа – категория 1 для У, УХЛ (ХЛ);

- категория 1, 2 для ТВ, Т, О;
- категория 3 для Т;

6 группа – категория 1, 2, 2.1, 3, 3.1 для М, ТМ, ОМ;

7 группа – категория 1 для ТВ, Т, О;

- категории 5, 5.1 для всех исполнений;

8 группа – категории 1, 2 для М, ТМ, ОМ, В.

Обозначение покрытий на чертежах устанавливает стандарт ГОСТ 9.306. Оно состоит из:

1. Способ обработки поверхности основного материала. Этот параметр указывается при необходимости:

Мт – матирование;

Хп – химическая полировка;

Ж – обработка под жемчуг;

Хим. Пас. – химическое пассивирование.

2. Способ получения (Хим., Окс. и т.д.);

3. Для металлических – материал, для пленок – тип пленки:

Окс – оксидная;

Фос – фосфатная.

Условные обозначения материалов:

Алюминий – А

Бронза – Бр

Золото – Зл

Кадмий – Кд

Латунь – Л

Медь – М

Никель – Н

Олово – О

Палладий – П

Платина – Пл

Радий – Р

Олово-свинец – О-С (40)

Серебро – Ср

Свинец – С

Хром – Хр

Цинк – Ц

Припой – ПОС-61

4. Функциональные свойства:

тв – твердое;

эиз – электроизоляционное;

э – электропроводное.

5. Декоративные свойства:

зк – зеркальное; м – матовое; мол – молочное;

б – блестящее; ч – черное; ри – рисунчатое;

пб – полублестящее.

6. Толщина покрытия:

- для обычных металлов, полученных гальваническим, химическим способами и напылением, из ряда: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 60; толщины менее 1 мкм не указываются;

- для драгоценных металлов, полученных теми же способами: 0.25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12;

- для металлов, полученных горячим или металлизационным способами: 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 60;

- для Хим.Окс, Ан.Окс, Гор, Хч, Нч не нормируется.

7. Дополнительная обработка:

хр. – хроматирование;
фос. – фосфатирование;
прм. – пропитка маслом;
нв. – наполнение водой.

Свойства и назначение металлических покрытий

Цинковое покрытие

Покрытие серебристо-белого цвета, применяется как защитное от коррозии в атмосферных условиях эксплуатации для сталей. Обладает средней твердостью, выдерживает изгибы и развальцовку, хорошо сохраняется при свинчивании.

На прочность стальных деталей влияет отрицательно из-за обезуглероживания поверхности. Стали с пределом прочности более 140 МПа цинком не покрывают. Не пригодно для деталей, работающих на трение, работающих в вакууме. Способно растворяться в кислых и щелочных средах.

Рабочие температуры от -70 до 250°C . При температурах выше 250°C становится хрупким. Не применяется для деталей толщиной менее 0,5 мм, так как они становятся хрупкими.

Не применяется для изделий с последующей сваркой.

Для получения светопоглощающих покрытий на стали, меди и ее сплавов применяют цинк черного цвета.

Для улучшения защитных свойств применяют дополнительную обработку – хроматирование и фосфатирование.

Хроматирование – увеличивает декоративность. Цвет такого покрытия – радужный с зеленоватым, желтым или золотистым оттенком. Применяется для деталей работающих во влажной атмосфере, для деталей, подвергающихся окраске.

Фосфатирование – увеличивает стойкость к внешним воздействиям, но мало влияет на прочность.

Шероховатость поверхности – $Ra\ 6.3$

Кадмиевое покрытие

Это покрытие применяется для защиты деталей эксплуатируемых в среде, насыщенной морскими испарениями и в морской воде. Анодное по отношению к стали. Покрытие имеет серебристо-белый цвет, мягкое, эластичное. Хорошо паяется, допускает сварку. Хорошо сохраняется в резьбовых соединениях. Кадмиевые покрытия применяют для деталей из стали, меди и ее сплавов, требующие плотной сборки, хорошей притираемости с одновременной защитой от коррозии.

Рабочие температуры: от -70 до 250°C .

Покрытие нельзя применять для деталей, находящихся в среде, содержащей соединения серы, а также в присутствии проолифленных или пропитанных высыхающими маслами изделий в закрытых приборах, особенно герметичных.

Для увеличения коррозионной стойкости деталей покрытия оксидируют и фосфатируют, однако, это уменьшает токопроводность.

Кадмиевое покрытие применяется в исключительных случаях, так как кадмий и продукты его коррозии токсичны.

Шероховатость поверхности – Ra 6.3.

Никелевое покрытие

Никель применяется как защитное, защитно-декоративное и специальное покрытие для стальных, медных и алюминиевых деталей, контактных пружин и токопроводящих деталей из меди и медных сплавов. Является катодным к стали, алюминию и цинку.

Имеет серебристо-белый цвет с желтоватым оттенком, легко полируется. По декоративным свойствам различают матовое, блестящее и черное.

Покрытие плотное, выдерживает изгибы, запрессовку, однако возможно отслаивание при расклепке и развальцовке. По твердости покрытие уступает хромовым и приближается к закаленным сталям.

Микротвердость блестящего покрытия 4400–4900 МПа, химического – до 11000 МПа. Никель, осажденный химическим способом более износостоек.

В атмосфере, загрязненной газами, покрытие тускнеет.

Шероховатость поверхности – для защитных покрытий Ra 3.2, для защитно-декоративных Ra 1.6.

Хромовое покрытие

Его применяют для защитно-декоративной отделки деталей и повышения износостойкости. Катодное по отношению к стали, алюминию, цинку. Одно из самых твердых покрытий; микротвердость 7400–10800 МПа (твердое), 2900–3400 (молочное, твердое). Обладает низкой пластичностью и высоким внутренним напряжением растяжения. Легко разрушается под действием концентрированных ударных нагрузок. Хорошо выдерживает равномерно распределенную нагрузку.

При хромировании имеет место наводороживание стали, что снижает предел выносливости материала детали.

Покрытие износостойкое, антифрикционное. Отличается высокой коррозионной стойкостью в окислительной атмосфере, в том числе в среде серосодержащих соединений. Не устойчиво в среде глотоводородных соединений.

Хром стоек в термическом отношении, не тускнеет при температурах 400 – 500 °С.

Обладает высокой декоративностью. Позволяет обеспечить для блестящих покрытий высокий стабильный коэффициент отражения ($\approx 70\%$).

Черное покрытие обладает высокими светопоглощающими свойствами (96–97 %), стойкое в вакууме. Однако плохо работает на трение.

Хромовое покрытие пористое. Это позволяет хорошо удерживать смазку в трущихся соединениях. Из-за пористости для повышения защитных свойств необходимо применять многослойные покрытия с более плотными подслоями, например, медь–никель–хром.

Низкая рассеивающая способность электролита не позволяет гальванически покрывать сложнопрофилированные детали. При этом способность хрома отлагаться преимущественно на остриях в виде крупных кристаллов, делает его чрезмерно хрупким и легко скалываемым. Для покрытия поверхностей сложной формы применяют только химические покрытия.

Покрытие не паяется (плохая смачиваемость припоями), не сваривается.

Медное покрытие

Данное покрытие применяют как специальное для улучшения электропроводности (электростатические немагнитные экраны), паяемости, в качестве подслоя под покрытие никелем, хромом, оловом – обладает

хорошей адгезией. Применяется как искрогасящее покрытие. Катодное по отношению к стали, алюминию, цинку, магнию.

Как правило, в качестве самостоятельного не применяется.

Пластично, имеет низкие внутренние напряжения.

Устойчиво к углероду и его соединениям при высоких температурах и используется для защиты от науглероживания при цементации сталей.

Не устойчиво в химическом отношении, к продуктам старения органических материалов. Склонно к потускнению на воздухе и быстрому окислению даже при незначительном нагревании.

Имеет высокий коэффициент диффузии в другие материалы, поэтому используется для снижения переходного сопротивления. Но с низкотемпературными оловянно-свинцовыми припоями может образовывать интерметаллиды, резко снижающие паяемость и качество паяных соединений.

Может приводить к негерметичности сварных соединений в качестве подслоя под другие покрытия.

Как самостоятельное применяется покрытие медно-оловянным сплавом (40 % олова) – белой бронзой.

Покрытие применяется как защитно-декоративное и вместо серебрения элементов волноводной аппаратуры (волноводных трактов). Покрытие имеет серебристый цвет не тускнеет под действием сернистых соединений.

Коррозионно-устойчиво, хорошо выдерживает действие щелочей и слабых органических кислот. Износоустойчиво, повышает контактную стойкость сталей. По твердости уступает хрому, но превосходит никель.

Термостойкость порядка 200 °С. устойчиво в вакууме. Отражательная способность около 60 %.

Не выдерживает опрессовку в полимерные материалы.

Оловянное покрытие

Покрытие является катодным по отношению к стали в атмосферных условиях и анодным во многих органических средах. Обладает стойкостью к серосодержащим соединениям, пригодно под заформовку в любые пластмассы и резины.

Покрытие мягкое, связь с основным материалом хорошая, допустима пластическая деформация деталей.

Рабочая температура – до 200 °С.

Оловянно-свинцовые покрытия

Наносятся гальваническим методом.

Характеризуется высокой коррозионной стойкостью в обычной и морской средах. Устойчиво в среднесернистых соединениях.

Обладает хорошим сцеплением с основным материалом, эластично, выдерживает изгибы, развальцовку, вытяжку, штамповку. Сохраняется на резьбе при свинчивании деталей. Имеет антифрикционные свойства.

По паяемости превосходит все остальные покрытия, уступая припюю ПОС-61, наносимому горячим способом. Оплавленные покрытия имеют лучшие эксплуатационные характеристики, для сохранения паяемости рекомендуется консервация флюсами типа ФКЭт. Подслой никеля обеспечивает получение надежных паяных соединений.

Припой ПОС-61

Наносится горячим способом. По характеристикам аналогично электрохимическому покрытию О-С (60), но обладает лучшей паяемостью.

Покрытия благородными металлами рекомендуются для снижения переходного сопротивления и повышения поверхностной электропроводности.

Серебряное покрытие

Применяется для токонесущих контактирующих деталей, работающих при трении (контактное давление 0,25–2,5 Н), для деталей СВЧ-устройств.

Занимает первое место по электропроводности и теплопроводности.

Покрытие имеет белый цвет и обладает высоким коэффициентом отражения (до 95 %).

Покрытие ограниченно стойко: с хлором, аммиаком, серой, фенольными соединениями взаимодействует, образуя неэлектропроводную и затрудняющую пайку пленку.

Твердость и износостойкость низкие (микротвердость покрытия 900–1300 МПа, со временем снижается до 560 МПа), связь с основой и пластичность высокие. Хорошо полируется.

Золотое покрытие

Покрытие отличается высокой коррозионной стойкостью во всех средах. Хорошо работает в герметичных объемах, в вакууме. Обеспечивает стабильное контактное сопротивление.

Выдерживает запрессовку в полимерные материалы.

Хорошо паяется, сваривается, но с оловянно-свинцовыми припоями образует хрупкие интерметаллические соединения, растворяясь в припое.

Имеет невысокие твердость и сопротивление износу в условиях сухого трения. В вакууме – низкий износ и минимальный коэффициент трения.

Палладиевое покрытие

Применяется для контактных пар, работающих в режиме замыкания-размыкания, для придания поверхностной проводимости и износостойкости. Обеспечивает стабильное контактное сопротивление при температурах до 300 °С.

Микротвердость 1000–2500 МПа.

Покрытие стойко в атмосферных условиях и к сернистым соединениям, в контакте с органическими материалами не рекомендуется. В среде водорода применение недопустимо, так как способно поглощать большие объемы водорода, что приводит к охрупчиванию и отслоению покрытий.

Растворяется в оловянно-свинцовых припоях с образованием хрупких интерметаллических соединений. Снижает механические свойства тонкостенных деталей.

Анодно-окисные покрытия

Данное покрытие применяется как защитное, защитно-декоративное и специальное для алюминия, магния, титана и их сплавов. Пленка прочно сцепляется с основным материалом детали и может служить хорошим грунтовочным материалом.

Покрытия маслонаполненные гидрофобизированные имеют более высокую коррозионную стойкость.

Покрытия имеют пористое строение и сравнительно высокую твердость, но на почность детали влияют отрицательно, снижая последнюю на 5–10 %. Твердые покрытия износостойки. Микротвердость – 2000...5000 МПа.

При анодировании деталей размеры увеличиваются приблизительно на половину толщины покрытия, шероховатость возрастает в 2...4 раза.

В декоративных целях производят окраску – наполнение анилиновыми красителями.

Покрытие по магниевым сплавам атмосферостойко, стойко в неагрессивных минеральных маслах, промасливание улучшает свойства.

Покрытие по титану намного повышает износостойкость материала, устраняет налипание – обеспечивает свинчивание резьбовых соединений.

Покрытие типа Аноцвет износостойко, но хрупко, на гранях склонно к скалыванию. Микротвердость 1700...2000 МПа, рабочая температура до 499 °С. Цвет покрытия – белый, зеленый, серо-черный в зависимости от применяемого электролита.

Химическое окисное покрытие

Данное покрытие представляет собой окисную пленку, полученную в растворах щелочей, кислот, солей. Применяется для стали, меди и алюминия.

Защитные свойства покрытия, при промасливании улучшаются.

Поверхности с покрытиями не подвергаются пайке и сварке; покрытие не наносится на изделия, имеющие паяные швы.

Покрытие имеет декоративное свойство – черный и сине-черный цвет (воронение).

Химическая окисная пленка применяется для получения токопроводящего покрытия на алюминии.

Диффузионные покрытия

Данный вид покрытия связан с диффузией в поверхностный слой основного материала детали металлического или неметаллического диффузанта. К настоящему времени получены диффузионные покрытия на металлических, неорганических (графит, кварц, стекло, керамика) и органических (пластмассы, ткани и т. д.) материалах.

Цементация

Это процесс поверхностного насыщения стали углеродом. Содержание углерода в исходном металле до 0,3 %. После цементации обязательна закалка и низкий (200 °С) отпуск. При этом поверхностный слой (около 1

мкм) приобретает твердость, износостойкость закаленной стали, а сердцевина остается мягкой и вязкой.

Цементацию применяют для упрочнения стальных шестерен и других трущихся деталей.

Азотирование

Азотированию (насыщению азотом подвергают, стали, легированные переходными металлами (хромом, алюминием, титаном, вольфрамом, молибденом), способными образовывать нитриды. Процесс протекает при 500–650 °С. Закалка не требуется. Получают твердый, износостойкий слой глубиной 0,1–0,3 мм, одновременно повышаются коррозионная стойкость и усталостная прочность изделий.

Цианирование

Цианированием называется процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом. В зависимости от режима обработки свойства поверхностного слоя приближаются к цементированным или азотированным.

Цианированные детали имеют красивую матовую поверхность, улучшающую товарный вид продукции.

Сульфацианирование

Данный процесс одновременного насыщения поверхности азотом, углеродом и серой придает поверхности отличные антифрикционные свойства.

Борирование

Это процесс насыщения поверхности бором. Можно насыщать практически любые стали, чистое железо, никель и его сплавы. На поверхности образуется боридный слой высокой твердости и износостойкости.

Хромирование

Процесс насыщения поверхности стальных деталей хромом, происходящий при 1000–1050 °С.

Улучшает окалиностойкость деталей, а также коррозионную стойкость в пресной и морской воде, водяном паре, азотной кислоте.

Покрытие имеет высокую твердость, толщина покрытия 0,1–0,2 мм.

Алитирование

Насыщение поверхности стали алюминием при 900–1050 °С.

Алитированные детали имеют повышенную окалиностойкость до 850–900 °С и коррозионную стойкость в ряде агрессивных сред.

Силицирование

Насыщение стальных деталей кремнием при 950–1100 °С.

Силицирование придает стали высокую коррозионную стойкость в морской воде, в азотной, серной и соляной кислотах.

Слой имеет низкую твердость, но после пропитки маслом приобретает высокую износостойкость.