

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

ЗАЩИТНЫЕ, ДЕКОРАТИВНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ РЭС

ЗАЩИТНЫЕ, ДЕКОРАТИВНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ РЭС

Методические указания

Составители: Березков Б.Н., Архипов А.В.

УДК 621.38

Защитные, декоративные и специальные покрытия деталей РЭС: Метод. указания / Самар гос. аэрокосм. ун-т; Сост. Б.Н. Березков, А.В. Архипов. Самара, 2001, 40 с.

Описаны типы и виды покрытий, используемых при конструировании изделий радиоэлектронных средств. Приведены справочные данные по покрытиям различных видов в соответствии с действующей системой стандартов.

Предназначены для студентов специальности 20.08.00 при изучении дисциплин конструкторского и технологического циклов и при выполнении дипломных проектов.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензенты: проф. А.Е. Дубинин, проф. А.Н. Комов

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе конструирования изделий часто возникает необходимость защитить их от вредного воздействия окружающей среды либо придать поверхностному слою деталей определенные свойства, например, такие как повышенная износоустойчивость, большая твердость, повышенная электропроводность, декоративность и т.д. Для этого служат различные поверхностные покрытия.

Главнейшим назначением поверхностных покрытий является защита материала деталей от коррозии. Как известно, коррозией называется разрушение металлов и сплавов под влиянием химического и электрохимического воздействия внешней среды. Соответственно, по механизму процесса различают два типа коррозии металлов: химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия наблюдается при действии на металлы сухих газов (воздуха, продуктов горения топлива) и жидких неэлектролитов. В отличие от химической электрохимическая коррозия – это коррозия металлов в присутствии электролитически проводящей среды. Это наиболее распространенный тип коррозии. Он имеет место при взаимодействии металлов с жидкими электролитами (водой, водными растворами солей, кислот и щелочей, расплавами солей, влажным грунтом).

Коррозионный процесс протекает на границе двух фаз: металл – окружающая среда, т.е. является гетерогенным процессом взаимодействия жидкой или газообразной среды с металлом. Поэтому наиболее важно защитить контактирующую с агрессивной средой поверхность металла.

В процессе эксплуатации изделия неизбежна конденсация влаги, содержащей растворенные соли и газы, т.е. образование на поверхности деталей электролита.

Следует иметь в виду, что контактная коррозия особенно опасна, если между соединяемыми деталями имеется разность потенциалов, обусловленная падением напряжения на сопротивлении контакта при прохождении через него тока. Поэтому необходимо обеспечивать хороший электрический контакт путем увеличения площади соприкосновения и давления. При конструировании изделий необходимо предусматривать меры, исключая скопление конденсата в зазорах, капиллярах и других застойных зонах.

Но не только влага может интенсифицировать процесс коррозии. Осторожно следует выбирать и конструкционные материалы. Так,

например, если контактные соединения образуются с участием резины, то часто наблюдается усиленный процесс коррозии вследствие вредного влияния сернистых соединений, находящихся в самой резине. Химическими реагентами могут явиться материал изоляции проводов, изоляционные прокладки и т.д.

подавляющее большинство деталей изделий можно надежно и эффективно защитить от коррозии путем поверхностных покрытий:

- 1) металлами и сплавами;
- 2) оксидами и пленками;
- 3) лаками и красками.

Настоящее издание посвящено анализу основных свойств защитных, декоративных и специальных покрытий, выбору материалов для конструкций с учетом подверженности коррозии, а также выбору типа покрытия.

1. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

1.1. Условия эксплуатации изделий и виды покрытий

Покрытие – это слой одного материала или несколько слоев разных материалов, последовательно нанесенных на поверхность детали. Покрытия толщиной от десятых долей до нескольких сотен микрометров наносят на металлы, керамику, стекло, пластмассы. В качестве материалов покрытий используются металлы, оксиды (окислы), соли металлов, пластмассы, лаки, краски.

Выбор вида покрытия и его толщины определяется материалом и назначением детали, особенностями технологии ее изготовления и условиями эксплуатации и регламентируется ГОСТ 9.303 – 84 .

Различают следующие условия эксплуатации:

1) легкие (Л) – эксплуатация в закрытых помещениях при нормальных климатических условиях и влажности, не превышающей 65%;

2) средние (С) – в закрытых помещениях без искусственно регулируемых климатических условий, при этом влажность воздуха периодически достигает 98%, температура окружающей среды может меняться от –50 до +60°С. Эти условия характерны и для изделий, работающих в негерметизированной, но влагозащитной обстановке; работающих в среде воздушной атмосферы без непосредственного воздействия осадков и испарений, резких перепадов температуры и попадания на прибор лучей солнца;

3) жесткие (Ж) – характеризуются воздействием среды, загрязненной значительным количеством отходящих газов при возможном воздействии дождя и снега, влажность воздуха достигает 98%, температура меняется в интервале $\pm 70^{\circ}\text{C}$;

4) очень жесткие (ОЖ), морские условия – наружные детали приборов, установлены на морских судах, подвергаются воздействию морской воды, а внутренние - могут находиться в атмосфере, насыщенной морскими испарениями;

5) тропические условия (Т) – характеризуются постоянным воздействием атмосферы влажного тропического климата, солнечных лучей, осадков, повышенной температуры окружающей среды (до +60°С), высокой влажности (более 90%), а также воздействием дымовых газов;

6) особые (О) условия эксплуатации определяются для каждого отдельного случая. К ним относится работа приборов в глубоком вакууме, при температуре до 500.....600°С, в условиях знакопеременных и инерционных нагрузок, при большом давлении в условиях агрессивных сред.

Для умеренного (умеренно-континентального) климата характерны условия эксплуатации Л, С, Ж, ОЖ, не считая особых условий эксплуатации.

Приведенная классификация групп условий эксплуатации в настоящее время отменена и изложена здесь потому, что встречается в литературе. По новому стандарту (ГОСТ 9.306 – 85) климатические условия эксплуатации разбиты на 8 групп. В табл. 1 представлено соответствие ранее принятых обозначений групп условий эксплуатации обозначениям по действующему стандарту.

Таблица 1

Соответствие ранее принятых обозначений групп условий эксплуатации обозначениям по действующему стандарту

Обозначение групп условий эксплуатации		
Ранее принятые		По действующему стандарту
основные группы	дополнительные группы	
Л	Л	1
С	С1; С2;	2
	С2; С3;	3
	С4	4
Ж	Ж1; Ж2	5
	Ж3	6
ОЖ	ОЖ1; ОЖ2	7
	ОЖ3	8

Металлические и неметаллические неорганические покрытия (оксидные) по своему назначению делятся на защитные, защитно-декоративные и специальные.

Защитные покрытия предназначены для защиты деталей от коррозии в различных условиях эксплуатации. К ним относятся кадмиевые, цинковые, оксидные и другие покрытия. К внешнему виду и твердости этих покрытий не предъявляется особых требований.

Защитно-декоративные покрытия используются для придания деталям декоративного вида с одновременной защитой от коррозии. К ним относятся многослойные металлические покрытия: медь-никель-хром; никель-хром; никелевые; золотые; а также серебряные, оксидные покрытия.

Специальные покрытия предназначены для придания деталям определенных физических свойств (повышения износостойкости, твердости, отражательной способности и др.) с одновременной защитой от коррозии (например, серебряные, золотые, палладиевые, родиевые, хромовые).

Металлопокрытия бывают двух типов: анодное, защищающее основной металл не только механически, но и электрически (если в каком-либо месте пленка покрытия будет нарушена и под действием влаги образуются микрогальванические пары, то разрушающимся элементом будет не основной металл, а металл покрытия анода); катодное, предохраняющее основной металл лишь механически (при нарушении пленки катодного покрытия основной металл корродирует быстрее, чем если бы покрытия не было, так как при этом образуется микрогальваническая пара, разрушающая основной металл).

Тип покрытия определяется электродными потенциалами основного металла и металла покрытия. В табл. 2 приведен электрохимический ряд потенциалов.

Таблица 2

Электрохимический ряд потенциалов

Металл	Нормальный потенциал, В	Металл	Нормальный потенциал, В
Калий	-2,92	Никель	-0,23
Натрий	-2,71	Олово	-0,14
Магний	-2,38	Свинец	-0,12
Алюминий	-1,66	Водород	0,00
Дюралюминий	-1,53	Сурьма	0,25
Цинк	-0,76	Медь	0,34
Хром	-0,71	Серебро	0,80
Железо, сталь	-0,44	Ртуть	0,70
Кадмий	-0,40	Золото	1,50

Чтобы покрытие оказалось анодным, надо металлом покрытия взять любой из стоящих выше элементов по таблице электрохимического ряда потенциалов. Например, стальная деталь, покрытая цинком, имеет анодное покрытие, а покрытая оловом – катодное. Золочение деталей из любого металла даст катодное покрытие.

1.2. Методы нанесения металлических покрытий

Для нанесения металлических покрытий используют различные методы, основными из которых являются:

химическое осаждение из растворов;

горячее металлопокрытие;

диффузионный:

распыление металла сжатым воздухом;

вакуумная технология, широко используемая в микроэлектронике для получения на подложках тонких проводящих, резистивных и диэлектрических пленок;

гальваническое осаждение.

Последний метод металлопокрытия является самым распространенным, поэтому он будет рассмотрен отдельно после краткой характеристики остальных методов.

Химическое осаждение металлов из растворов основано на окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в растворах, в которые погружены покрываемые металлом детали. Основной недостаток метода – низкая скорость металлизации. Примером метода может служить химическое меднение диэлектрика в процессах изготовления печатных плат.

При методе горячего металлопокрытия детали или листы основного металла, зачищенные и флюсованные, погружаются в ванну с расплавленным металлом покрытия, в результате чего расплавленный металл осаждается на поверхности основного металла. Так обычно получают оцинкованное или луженое железо. Основное преимущество этого метода – быстрота процесса; основной недостаток – слишком большой расход металла покрытия.

Диффузионный метод металлизации основан на насыщении поверхностного слоя защищаемого металла (главным образом стали) различными элементами внешней среды, преимущественно металлами. Сюда относятся диффузионное цинкование (насыщение цинком стальных деталей), диффузионное алюминирование (алитирование),

Некоторые характеристики металлов покрытий

Металл	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Эл.-хим. эквивалент К, мг/А·с	Валентность	Примечание
Золото	19,30	1064	2,044	1	
Кадмий	8,64	321	0,585	2	
Медь	8,93	1083	0,659	1	Цианистый электролит
			0,329	2	Кислый электролит
Никель	8,80	1455	0,304	2	
Олово	7,28	232	0,615	2	Кислый электролит
			0,308	4	Щелочной электролит
Палладий	11,50	1553	0,551	2	
Родий	12,30	1960	0,533	2	
Свинец	11,34	327	1,074	2	
Серебро	11,50	960	1,118	1	
Хром	7,10	1765	0,0897	6	
Цинк	7,14	419	0,339	2	

1.4. Основные характеристики металлических покрытий

1.4.1. Цинковое покрытие

Единственное назначение цинкового покрытия - предохранение от коррозии. Цинковое покрытие является анодным по отношению к черным металлам и защищает сталь от коррозии электрохимически при температурах до 70°С, при более высоких температурах — механически. Покрытие предотвращает контактную коррозию сталей при сопряжении с деталями из алюминия и его сплавов; обеспечивает свинчиваемость резьбовых деталей.

Для повышения коррозионной стойкости цинковое покрытие хромируют и фосфатируют. Хромирование одновременно улучшает декоративный вид покрытия. Хроматная пленка механически непрочная. Средняя скорость коррозии в промышленной атмосфере 1...1,5 мкм/год; скорость коррозии в морской атмосфере 2,5 мкм/год. Цинковое хромированное покрытие теряет свой

диффузионное хромирование, азотирование и др. Основная цель – повышение коррозионной стойкости (в электролитах или газах при высоких температурах), твердости, износостойкости изделий. Недостатком процесса является его сложность из-за необходимости применения высоких температур (выше 300...400°С).

Металлизация распылением (термическое напыление) представляет собой процесс нанесения расплавленного и распыленного металла на различные поверхности под действием сжатого воздуха или газа. Для нанесения такого покрытия применяют специальные пистолеты распылители-металлизаторы. Покрытия наносят в декоративных целях, для исправления пороков поверхности металлических изделий, повышения их износо- или коррозионной стойкости. Наибольшее распространение получила металлизация цинком, кадмием, алюминием, оловом, никелем, медью, бронзой. Покрытие можно наносить не только на металлы, но и на бумагу, пластмассу, керамику и т.п.

1.3. Метод гальванического нанесения металлических покрытий

Гальваническое (электрохимическое) нанесение металлических покрытий основано на электролизе – химическом процессе, протекающем в электролите при прохождении через него постоянного электрического тока. В качестве электролитов применяют водные растворы солей, кислот, щелочей различной концентрации. Процесс электролиза подчиняется двум законам Фарадея, которые обобщенно можно выразить в виде

$$m = k \cdot J \cdot t,$$

где m – масса выделившегося на электроде вещества;

k – электрохимический эквивалент;

J – сила тока;

t – время прохождения электрического тока.

В табл. 3 приведены электрохимические эквиваленты и другие сведения о металлах покрытий.

Гальваническим методом создают защитные, защитно-декоративные и специальные покрытия.

декоративный вид при условии периодического механического воздействия: прикосновения инструмента, рук. Без хромирования и фосфатирования покрытие применяют для обеспечения электропроводности и при опрессовке пластмассами при температуре выше 100°C.

Электрохимическое цинкование вызывает потерю пластичности сталей вследствие наводороживания. Стали с пределом прочности $\sigma_{0.2} > 1380 \text{ МПа}$ (140 кгс/мм^2) цинкованию не подлежат. Покрытие обладает прочным сцеплением с основным металлом, низким сопротивлением механическому истиранию и повышенной хрупкостью при температурах выше 250°C и ниже минус 70°C; матовое покрытие выдерживает гибку, развальцовку.

Покрытие обладает низкой химической стойкостью к воздействию продуктов, выделяющихся при старении органических материалов. Микротвердость покрытия, наносимого электрохимическим способом, в среднем составляет 490...1180 МПа ($50 \dots 120 \text{ кгс/мм}^2$); удельное сопротивление при температуре 18°C составляет $5,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

1.4.2. Кадмиевое покрытие

Электродный потенциал кадмия очень близок к железу, поэтому в различных средах кадмий может быть анодным и катодным покрытием. Так, в обычных атмосферных условиях кадмий является катодным покрытием и ненадежно защищает черные металлы. В морской воде и атмосфере, насыщенной морскими испарениями, кадмиевое покрытие является анодным – весьма надежной защитой черных металлов.

Покрытие предотвращает контактную коррозию сталей при сопряжении с деталями из меди и медных сплавов. Для повышения коррозионной стойкости кадмиевое покрытие хромируют и фосфатируют. Хромирование одновременно улучшает декоративный вид покрытия. Хроматная пленка механически непрочная. Скорость коррозии в промышленной атмосфере в 1,5...2 раза больше, чем у цинкового покрытия.

Без хромирования и фосфатирования покрытие применяют для обеспечения электропроводности, при опрессовке пластмассами при температуре выше 100°C. Покрытие не рекомендуется применять для деталей, работающих в атмосфере промышленных районов; в контакте с топливом, содержащим сернистые соединения; в атмосфере,

содержащей летучие агрессивные соединения, выделяющиеся при старении из органических веществ: при высыхании олифы, масляных лаков и т. п.

Электрохимическое кадмирование вызывает потерю пластичности сталей вследствие наводороживания. Для деталей из стали с пределом прочности выше 1380 МПа (140 кгс/мм^2) допускается кадмирование по специальной технологии. Покрытие обладает прочным сцеплением с основным металлом, хорошими антифрикционными свойствами, низкой износостойкостью; пластичнее цинкового; выдерживает запрессовку, вытяжку, развальцовку, свинчивание. Кадмирование применяют для покрытия ответственных пружин.

Окислы кадмия токсичны. Сварка по кадмиевому покрытию не допускается. Микротвердость кадмиевого покрытия — 340...490 МПа ($35 \dots 50 \text{ кгс/мм}^2$); удельное сопротивление при температуре 18°C — $10,98 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

1.4.3. Никелевое покрытие

Никелевое покрытие является катодным по отношению к стали, алюминиевым и цинковым сплавам. Покрытие применяется для защитной, защитно-декоративной отделки деталей, повышения поверхностной твердости, износостойкости и электропроводности. Для повышения декоративности покрытия по никелевому подслою наносят хром толщиной до 1 мкм. Увеличение коррозионной стойкости достигается сочетанием нескольких слоев никелевых покрытий с различными физико-химическими свойствами. При толщине 24 мкм защитные свойства двухслойного покрытия (без подслоя меди) в два раза, а трехслойного с наполнителем в три раза превосходят защитные свойства блестящих покрытий.

Удельное сопротивление при температуре 18°C — $7,23 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; микротвердость блестящего покрытия — 4420...4900 МПа ($450 \dots 500 \text{ кгс/мм}^2$), полублестящего — 2940...3930 МПа ($300 \dots 400 \text{ кгс/мм}^2$); коэффициент отражения блестящего покрытия — 75%. Допустимая рабочая температура — 650°C. Покрытие обеспечивает хорошую растекаемость припоев и получение вакуумплотных соединений при высокотемпературной пайке в различных средах без применения флюсов, а также при аргонодуговой сварке (в последнем случае без медного подслоя). Никелевое покрытие толщиной до 6 мкм может подвергаться точечной сварке. Покрытие служит барьерным слоем под покрытия золотом, серебром, сплавом олово—свинец и другими

металлами, предотвращая диффузию меди, цинка, железа и других металлов. Черное никелевое покрытие применяется для придания деталям специальных оптических и декоративных свойств. Коэффициент отражения черного никелевого покрытия — до 20%.

1.4.4. Никелевое химическое покрытие

Химическое никелевое покрытие, содержащее 3...12% фосфора, обладает лучшими защитными свойствами по сравнению с электрохимическим никелевым покрытием. Покрытие обладает повышенной твердостью и износостойкостью и рекомендуется для деталей, работающих в условиях трения, особенно при отсутствии смазки; применяется для защиты от коррозии, для обеспечения пайки низкотемпературными припоями.

Покрытие рекомендуется применять преимущественно для сложнопрофилированных деталей. Покрытие после термообработки при температуре 400°С приобретает высокую твердость. Микротвердость покрытия после термообработки — 6400...11800 МПа (650...1200 кгс/мм²); удельное сопротивление при температуре 18°С — $6,8 \cdot 10^{-7}$ Ом·м.

1.4.5. Хромовое покрытие

Хромовое покрытие является катодным по отношению к стали, алюминиевым и цинковым сплавам, обеспечивает защиту от коррозии и улучшает декоративный вид. Защитно-декоративное покрытие наносят по подслою никеля тонким зеркально-блестящим слоем до 1 мкм. Покрытие толщиной до 0,5 мкм — пористое, при увеличении толщины образуется сетка трещин. Электрохимическое хромовое покрытие может быть твердым, пористым, молочным.

Твердое хромовое покрытие обладает высокой износостойкостью, жаростойкостью, низким коэффициентом трения, плохой смачиваемостью, низкой пластичностью. Покрытие эффективно работает на трение (при нанесении на твердую основу), хорошо выдерживает равномерно распределенную нагрузку, легко разрушается под действием сосредоточенных ударных нагрузок.

Молочное хромовое покрытие обладает невысокой твердостью и износостойкостью, небольшой пористостью. Покрытие защищает от коррозии с сохранением декоративного вида. Наводороживание сталей сильнее при получении молочного покрытия, чем твердого.

Для деталей, к которым предъявляют требования защиты от коррозии, декоративной отделки, а также износостойкости, рекомендуется применять комбинированное покрытие, состоящее из молочного и твердого хрома. Пористое покрытие повышает износостойкость деталей. Покрытие характеризуется разветвленной сеткой трещин (поры расширены дополнительным анодным травлением). Черное хромовое покрытие применяется для создания светопоглощающей поверхности; покрытие непрочно при работе на трение. Коэффициент отражения черного хромового покрытия — 3...4%; покрытие стабильно в вакууме. Нанесение хромовых покрытий на сложнопрофилированные детали затруднено из-за низкой рассеивающей способности хромовых электролитов.

Для повышения коррозионной стойкости детали с хромовым покрытием могут подвергаться дополнительной обработке (гидрофобизированию, пропитке и т. п.). При эксплуатации в условиях непосредственного воздействия морской воды для дополнительной защиты хромированных деталей рекомендуется периодическое возобновление смазки.

Микротвердость твердого хромового покрытия — 7350...10780 МПа (750...1100 кгс/мм²), черного хромового покрытия — 2940...3430 МПа (300...350 кгс/мм²).

1.4.6. Медное покрытие

Медное покрытие является катодным по отношению к стали, алюминиевым, магниевым и цинковым сплавам. Покрытие применяется в качестве технологического подслоя для уменьшения пористости и повышения сцепления других покрытий. Для защиты от коррозии в качестве самостоятельного покрытия не рекомендуется из-за низкой коррозионной стойкости.

Медное покрытие обладает высокой электро- и теплопроводностью, пластичностью, выдерживает глубокую вытяжку, развальцовку, хорошо полируется, облегчает приработку, притирку и свинчивание; в свежесозданном состоянии хорошо паяется. С низкотемпературными припоями образует интерметаллические соединения, резко ухудшающие паяемость и прочность паяного соединения. Допустимая рабочая температура покрытия — 300°С; микротвердость покрытия — 590...1470 МПа (60...150 кгс/мм²); удельное сопротивление при температуре 18°С — $1,68 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

1.4.7. Покрытие сплавом медь — олово

Покрытие высокооловянистым сплавом М-0(60) по отношению к стали является катодным, рекомендуется для повышения износостойкости электроконтактных деталей, а также для обеспечения пайки. Покрытие допускается применять в качестве защитно-декоративного.

Покрытие стойко к воздействию щелочей, слабых органических кислот и сернистых соединений. Коэффициент отражения покрытия 60...65%, сопротивление износу — в 4 раза больше, чем у серебряного покрытия; твердость в 5...6 раз больше твердости медного покрытия. Покрытие хорошо паяется низкотемпературными припоями с применением канифольных флюсов. Покрытие не подвержено росту нитевидных кристаллов и переходу в порошковую модификацию при низких температурах.

Микротвердость покрытия — 5390...6370 МПа (550...650 кгс/мм²).

1.4.8. Оловянное покрытие

Оловянное покрытие в атмосферных условиях является катодным по отношению к стали, анодным — во многих органических средах, а также по отношению к меди и ее сплавам, содержащим более 50% меди. Покрытие рекомендуется для обеспечения пайки.

Оловянное покрытие стойко к действию серосодержащих соединений и рекомендуется для деталей, контактирующих со всеми видами пластмасс и резин. Оловянное покрытие обладает хорошим сцеплением с основным металлом, эластичностью, выдерживает изгиб, вытяжку, развальцовку, штамповку, прессовую посадку, хорошо сохраняется при свинчивании. Свежеосажденное оловянное покрытие хорошо паяется. Блестящее покрытие сохраняет способность к пайке более длительное время, чем матовое.

Для матового оловянного покрытия характерна значительная пористость. Пористость покрытий малой толщины (до 6 мкм) может быть снижена оплавлением покрытия или нанесением блестящего покрытия. На поверхности покрытия в процессе хранения образуются нитевидные токопроводящие кристаллы («иглы»).

При эксплуатации оловянных покрытий при температуре ниже плюс 13°С возможно разрушение покрытия вследствие перехода компактного белого олова в порошкообразное серое олово («оловянная чума»).

Микротвердость покрытия — 118...198 МПа (12...20 кгс/мм²); удельное сопротивление при 18°С - $11,5 \cdot 10^{-8}$ Ом•м. Допустимая рабочая температура покрытия — 200°С.

1.4.9. Покрытие сплавом олово — никель

Покрытие сплавом 0-Н(65) является катодным по отношению к стали; рекомендуется как защитное для деталей, подлежащих пайке; для обеспечения поверхностной твердости и износостойкости. Покрытие обладает высокой коррозионной стойкостью; стойко в условиях повышенной влажности и среде, содержащей сернистые соединения. Покрытие хорошо полируется, выдерживает запрессовку в пластмассы; вследствие высокой хрупкости не рекомендуется для деталей, подвергаемых развальцовке и ударным нагрузкам.

Микротвердость покрытия 4900...5880 МПа (500...600 кгс/мм²). Допустимая рабочая температура — 300...350°С.

1.4.10. Покрытие сплавом олово — висмут

Покрытие сплавом 0-Ви-(99,8) в атмосферных условиях является катодным по отношению к стали, анодным по отношению к меди и ее сплавам, содержащим более 50% меди; рекомендуется как защитное для деталей, подлежащих пайке. Коррозионная стойкость и склонность к иглообразованию такие же, как у оловянного покрытия.

Покрытие хорошо выдерживает развальцовку, штамповку, прессовые посадки, сохраняется при свинчивании.

1.4.11. Покрытие сплавом олово—свинец

Покрытие сплавом 0-С(60) в атмосферных условиях является катодным по отношению к стали, анодным — по отношению к меди и ее сплавам. Покрытие обеспечивает паяемость низкотемпературными припоями. В условиях повышенной температуры и влажности коррозионная стойкость ниже, чем у оловянного покрытия. Покрытие пластично, обладает низким электрическим сопротивлением, паяется с применением неактивированных канифольных флюсов.

Оплавленное покрытие имеет лучшие эксплуатационные характеристики, оно не подвержено иглообразованию. На цинко-содержащих латунях покрытие должно применяться по подслою

никеля, предотвращающего диффузию цинка в покрытие и иглообразование. Паяемость покрытия после опрессовки в полимерные материалы при необходимости восстанавливают горячим способом с неактивированным канифольным флюсом.

1.4.12. Золотое покрытие

Золотое покрытие является катодным по отношению к покрываемым металлам и защищает их механически; рекомендуется для обеспечения низкого и стабильного переходного электрического сопротивления контактирующих поверхностей, улучшения поверхностной электропроводности.

Покрытие обладает высокой тепло- и электропроводностью, химической стойкостью, в том числе в атмосфере с повышенной влажностью и серосодержащих средах. Покрытие для деталей, работающих при температуре до 400°C, получают по подслою никеля. Покрытие из цианистых электролитов, работающее в контактных устройствах, склонно к возрастанию адгезии трущихся поверхностей в процессе работы. Покрытие из кислых электролитов не обладает таким дефектом. При осаждении золотого покрытия на латунь рекомендуется подслоем никеля, который предотвращает диффузию цинка на поверхность золотых покрытий из основного металла. С оловянно-свинцовыми припоями золотое покрытие образует хрупкие интерметаллические соединения, снижающие механическую прочность паяного соединения.

Микротвердость покрытия — 392...980 МПа (40...100 кгс/мм²); удельное сопротивление при температуре 18°C — $2,2 \cdot 10^{-8}$ Ом•м; внутренние напряжения достигают 59...147 МПа (6...15 кгс/мм²).

1.4.13. Покрытие сплавом золото—никель

Покрытие сплавом Зл-Н(99) является катодным по отношению к покрываемым металлам и защищает их механически. Коррозионная стойкость сплава золото—никель и функциональное назначение такие же, как золотого покрытия.

Покрытие характеризуется высокой электро- и теплопроводностью, высокой твердостью, повышенным сопротивлением износу, отсутствием склонности к свариванию, невысокими внутренними напряжениями; отличается химической стойкостью в различных агрессивных средах и сохраняет стабильными

во времени свои характеристики. Подслоем никеля создает благоприятные условия работы покрытия на трение, предотвращает диффузию основного металла при температурах до 350°C, способствует стабильности контактного сопротивления. С оловянно-свинцовыми припоями покрытие образует хрупкие интерметаллические соединения, снижающие механическую прочность паяного соединения.

1.4.14. Серебряное покрытие

Серебряное покрытие является катодным по отношению к покрываемым металлам; рекомендуется для обеспечения низкого контактного сопротивления, для улучшения поверхностной электропроводности.

Покрытие характеризуется высокой электро- и теплопроводностью, пластичностью, отражательной способностью; низкими твердостью, сопротивлением механическому износу и внутренними напряжениями; склонностью к свариванию. Покрытие хорошо выдерживает гибку и развальцовку, плохо переносит опрессовку в полимерные материалы. Не допускается применять серебряное покрытие в качестве подслоя под золото из-за диффузии серебра через золото с образованием поверхностных непроводящих пленок.

Под воздействием соединений хлора, аммиака, серосодержащих, фенолсодержащих и т. п. веществ на поверхности серебряных и серебросодержащих покрытий образуется пленка, способствующая повышению переходного сопротивления покрытия и затрудняющая его пайку.

Микротвердость покрытия — 883...1370 МПа (90...140 кгс/мм²), которая в течение времени может уменьшаться до 558 МПа (60 кгс/мм²); удельное сопротивление при температуре 18°C — $1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом•м.

1.4.15. Палладиевое покрытие

Палладиевое покрытие является катодным по отношению к покрываемым металлам, обладает высокой стойкостью в атмосферных условиях и при воздействии сернистых соединений, высоким сопротивлением механическому износу. Покрытие рекомендуется применять для снижения переходного сопротивления

контактирующих серебряных поверхностей, повышения их поверхностной твердости, износостойкости, при необходимости сохранения постоянства электрического сопротивления.

Покрытие обладает высокой износостойкостью и хорошей электропроводностью, стабильным во времени контактным сопротивлением; коэффициент отражения — 60...70%. Электропроводность почти в семь раз ниже, чем у серебряного покрытия, но стабильна во времени до температуры 300°C. Покрытие не рекомендуется применять в контакте с органическими материалами и резинами, а также в замкнутом пространстве при наличии указанных материалов. Покрытие не допускается применять в среде водорода.

Все металлы платиновой группы, в том числе и палладий, выделяются при электролизе с сильным наводороживанием (из-за значительной катодной поляризации) и имеют большие внутренние напряжения. В толстых слоях по этой причине они имеют сетку трещин и их трудно получить беспористыми. При толщине более 9 мкм в покрытии возникают микротрещины, что снижает его функциональные и защитные свойства.

Микротвердость покрытия — 1960...2450 МПа (200...250 кгс/мм²); удельное сопротивление при температуре 18°C — 10,8...10⁻⁸ Ом•м; внутренние напряжения достигают 686 МПа (70 кгс/мм²).

1.4.16. Родиевое покрытие

Родиевое покрытие является катодным по отношению к покрываемым металлам. Покрытие рекомендуется применять для обеспечения стабильных электрических параметров деталей контактных устройств, повышения отражательной способности поверхности. Покрытие обладает высокими износостойкостью, электропроводностью, отражательной способностью. Коэффициент отражения — 76...81%.

Покрытие не подвержено свариванию, стойко в большинстве коррозионно-активных сред, в том числе в сероводороде, не окисляется до температуры 500°C. Покрытие при толщине 1,0 мкм практически не имеет пор, при толщине более 3 мкм склонно к образованию микротрещин.

Микротвердость покрытия — 3920...7840 МПа (400...800 кгс/мм²); удельное сопротивление при температуре 18°C — 4,5...10⁻⁸ Ом•м; внутренние напряжения достигают 1670 МПа (170 кгс/мм²).

1.5. Неметаллические неорганические покрытия

Наряду с чисто металлическими покрытиями защитные пленки на металлах могут быть получены путем превращения поверхностного слоя металла под действием тех или иных реагентов в химические соединения (обычно оксиды), обладающие защитными свойствами. Оксидные (химические) покрытия образуются в результате:

- а) оксидирования стали (воронение);
- б) оксидирования алюминия (анодирование), магния, меди, кадмия, хрома, титана, серебра;
- в) фосфатирования;
- г) химического пассивирования.

Защитная пленка таких покрытий состоит из нерастворимых соединений и окислов металла. Толщина защитных пленок примерно 1 мкм, за исключением анодирования (до 400 мкм) и воронения в щелочном растворе (до 10 мкм).

В зависимости от назначения оксидные покрытия подвергают поронаполнению (маслами, смазками, парафином, лаком, красителями и др.). Поронаполнение повышает защитные свойства пленок.

Оксидирование стали (воронение) осуществляют, когда другие виды покрытий недопустимы по характеру работы детали (например: тонкостенные детали, прецизионные пружины, так как в результате цинкования или кадмирования они могут изменить свои механические характеристики).

Образующиеся в процессе оксидирования пленки имеют состав типа Fe₃O₄. Пленки пористы и поэтому могут защищать металл от коррозии лишь при условии заполнения пор нейтральными маслами или лаками. Цвет оксидной пленки в основном зависит от химического состава обрабатываемых сталей и может быть черносиним, коричнево-вишневым, золотисто-оранжевым. Оксидирование сталей широко применяют для защитно-декоративных целей.

Наибольшее распространение получили химическое и термическое оксидирование. Химическое оксидирование стали производят в кипящих концентрированных растворах NaOH, содержащих окислители NaNO₃ или NaNO₂, в течение 30 минут. При термическом оксидировании предварительно смазанные асфальтом или битумным лаком детали обжигают в течение 10...20 минут в печи при температуре 350...450°C до появления окисной пленки, а затем охлаждают в минеральном масле. При термическом оксидировании цвет покрытия черный, толщина покрытия 1...10 мкм.

Анодирование (электрохимическое оксидирование) применяется как защитно-декоративное покрытие на деталях из алюминия алюминиевых сплавов. Покрытие пористое, твердое (твердость оксидной пленки достигает твердости хромового покрытия). При нагреве до 400°C свойства и состав пленки не изменяются. Оксидная пленка обладает большой электрической прочностью, но, как правило, эта характеристика неоднородна вдоль покрытия. Оксидная пленка (Al₂O₃) обладает электрической прочностью 1000 В при толщине 10 мкм. Она может использоваться, например, в качестве диэлектрика конденсатора. Диэлектрическая постоянная такого диэлектрика равна 7.....15. Анодированные детали не паяются и не свариваются.

Анодирование успешно применяется в качестве предварительной обработки поверхности перед нанесением лакокрасочного покрытия, так как оксидный слой хорошо адсорбирует жировые вещества, лаки, краски.

Анодирование применяют также для декоративных целей. Для этого анодированные поверхности деталей окрашивают анилиновыми красителями и специальными растворами в различные цвета (чернение радиаторов, обработка лицевых панелей приборов и т.д.).

Для получения на анодированных деталях из алюминиевых сплавов зеркального блеска рекомендуется предварительно полировать поверхность. Отражательная способность анодированного алюминия и его сплавов уменьшается в следующем порядке: А99, А97, А7, А6, АД1, АМ21, АМ23, АД 31, АД 33.

При обработке анодированной поверхности в горячем водном растворе бихромата калия (K₂Cr₂O₇) последний доокисляет незащищенные поверхности в глубине пор с образованием оксихроматов, что существенно улучшает защитный эффект и придает деталям соломенно-желтую окраску.

Разновидностью анодирования является получение эмталевых покрытий, которые образуются в процессе эмталирования (эмталирования). Эмталирование – электрохимическое оксидирование алюминиевых сплавов с целью получения непрозрачных эмалевидных пленок молочного цвета. Эмталированию подвергают, например, посуду, светотехническую арматуру, медицинские инструменты и другие изделия.

Методы получения анодированной поверхности – электрохимический и реже – химический.

При электрохимическом (гальваническом) методе детали

подвешивают на анодных шинах электролизера, а катодами служат свинцовые пластины или свинцовая футеровка ванны. В табл. 4 приведены составы электролитов и режимы электрохимического анодирования алюминиевых сплавов.

Таблица 4

Процессы электрохимического анодирования алюминиевых сплавов

Состав электролита, г/л	Темпер., °С	Плотность тока, А/дм ²	Время, мин	Вид покрытия
Серная кислота-180...200	15...25	0,6...2 (постоянный ток 10...20В)	30...50	Защитно-декоративные покрытия на алюминии и его сплавах
Серная кислота-180...200, ПАВ марок ОП-7, ОП-6-0,5...3	15...23	1,5...2,8 (переменный ток 20...28В)	30...40	
Серная кислота-2...4 Щавелевая кислота-27...30 Сульфасалициловая кислота-90...110	18...28	1,5...3 (постоянный ток, до 110В)	20...120	
Щавелевая кислота-30 Сульфасалициловая кислота-100 Серная кислота-3	10...30	2...3 (перемешивание)	75...120	Эластичные, коррозионно-стойкие и электроизоляционные пленки на алюминии и его сплавах
Хромовый ангидрид-28...32 Борная кислота-1...3	45±3	1	50...60	Эмталирование алюминия различных марок

При химическом анодировании детали из алюминиевых сплавов загружают на 20...30 мин в сернокислую ванну и после тщательной промывки и нейтрализации переносятся в ванну с красителем. После выдержки в течение 1,5...2,5 мин детали переносят в ванну проявления. Проявление заключается в промывке в холодной проточной воде в течение 10...15 мин и «уплотнении» в дистиллированной воде в течение 30 мин при температуре кипения.

Фосфатирование – процесс химической обработки, при котором на металлах образуются пленки нерастворимых солей фосфорной кислоты. Обычно фосфатированию подвергают детали из малоуглеродистых сталей, а также – из цинка и его сплавов, кадмия, алюминиевых сплавов, меди и ее сплавов. Не рекомендуется фосфатировать изделия из высокоуглеродистой стали, так как в

процессе нанесения покрытия они приобретают повышенную хрупкость.

При фосфатировании происходит некоторое растравливание поверхностей и поэтому шероховатость их возрастает. Вследствие этого фосфатированию не подвергают детали, имеющие точно обработанные или полированные поверхности, а также мелкие резьбы.

Фосфатные пленки нетвердые, но достаточно износоустойчивые. Они отличаются большой жаростойкостью и морозостойкостью: пленки не меняют своих свойств при повышении температуры до +500°С и при снижении до -75°С. Эти пленки хорошо адсорбируют жидкости (масла, краски и пр.).

Фосфатирование в основном применяют в следующих случаях: для защиты деталей от атмосферной коррозии (с заполнением пор нейтральными маслами);

для улучшения прирабатываемости трущихся поверхностей тяжело нагруженных деталей (зубчатых колес, кулачковых механизмов и т.п.);

для облегчения глубокой вытяжки листовой стали при холодной штамповке;

для создания подслоя (грунта) для лакокрасочных покрытий.

Наиболее широкое промышленное применение приобрело фосфатирование цинковыми солями. По одному из рецептов фосфатирование деталей 6, 7 квалитетов точности из углеродистых, низко- и среднелегированных сталей проводят в водном растворе следующего состава: цинк азотно-кислый – 10...20 г/л; цинка монофосфат – 8...12 г/л; барий азотно-кислый – 30...40 г/л; температура раствора 75...85°С, продолжительность обработки 3...10 мин. Толщина покрытия 5...10 мкм.

Химическое пассивирование заключается в получении очень тонких (0,01...0,1 мкм) оксидных пленок на углеродистых сталях, цветных металлах и сплавах. Химическое пассивирование применяют как самостоятельный способ создания антикоррозийной защиты (только в легких окружающих условиях), а в комбинации с процессами цинкования, кадмирования и др. для повышения защитных свойств гальванических покрытий. Процесс пассивирования с использованием окислов хрома получил название «хроматирование».

1.6. Технологические требования к конструкции покрываемых деталей

Условия эксплуатации деталей и методы их защиты предъявляют ряд требований к конструкции деталей. В свою очередь, особенности

конструкции деталей накладывают определенные ограничения на выбор метода защиты. Эта взаимосвязь конструкции и технологии сводится к следующим требованиям.

1. Детали должны быть просты по конструкции, без узких и глубоких отверстий, пазов, острых кромок. Следует помнить, что детали с резкими переходами и внутренними полостями из-за эффекта экранирования трудно покрывать гальваническим способом.

2. Шероховатость поверхности деталей должна быть не более:

Rz 40 – под защитные покрытия;

Ra 2,5 – под защитно-декоративные покрытия;

Ra 1,25 – под твердые и электроизоляционные анодно-окисные покрытия;

3. Не допускается нанесение гальванических и химических покрытий на узлы, имеющие точечную сварку или заклепочные швы, из зазоров которых трудно удалить остатки электролитов, что в процессе эксплуатации может вызвать активное разрушение как покрытия, так и основного металла. На детали, соединяемые в сборочные единицы свинчиванием, точечной сваркой, клепкой, запрессовкой и др., покрытия должны наноситься до сборки. При нарушении покрытия в процессе сборки следует предусмотреть защиту нарушений лакокрасочными покрытиями.

4. Детали, изготовленные по 5...7 квалитету и предназначенные для сопряжения, подвергаются только химическим покрытиям, практически не изменяющим размеры деталей. Если все же необходимы гальванические покрытия, при нанесении размеров необходимо учитывать толщину покрытия.

5. При контакте деталей, изготовленных из различных металлов или имеющих различные металлические покрытия, создаются условия (особенно при «неблагоприятных» парах), ускоряющие коррозию в месте контакта. При прохождении через контактирующую пару электрического тока процесс коррозии еще более усиливается; поэтому необходимо рационально подбирать контактирующие пары.

6. Для всех металлов и сплавов для любых условий эксплуатации защиту от коррозии литых деталей рекомендуется осуществлять лакокрасочными покрытиями. Для условий эксплуатации 1 группы допускается наносить гальванические и химические покрытия на детали из черных и цветных металлов и сплавов (кроме алюминиевых), отлитые любым методом. Для условий эксплуатации 2...4 групп допускается наносить гальванические и химические покрытия на детали из сталей, медных и цинковых сплавов, отлитые в кокиль, под давлением и по выплавляемым моделям.

Покрытие металлическими пленками литых деталей из

алюминиевых сплавов, как правило, является практически неприемлемым. Обусловливается это тем, что в литых деталях всегда оказываются поры и капилляры, что особенно свойственно алюминиевым сплавам. При обработке в гальванических ваннах электролит проникает в поры и капилляры. В дальнейшем при эксплуатации изделия вследствие хронической реакции остатков электролита под пленкой образуются газы, которые в отдельных местах вспучивают ее, а затем она постепенно вся отслаивается. Если литые детали гальваническим путем покрыть тонким слоем хрома, а затем подвергнуть их термической обработке при температуре 4100°С, то хром будет диффундировать в сплав, пленки хрома в обычном представлении не будет, а покрытие окажется коррозионно-устойчивым. Подобную антикоррозионную защиту деталей из алюминиевых сплавов используют в тех случаях, когда по каким-либо причинам нельзя применить анодирование с лакокрасочными покрытиями.

7. Большое значение при серийном и массовом производстве деталей имеет стоимость того или иного метода защиты. Самое дешевое из металлических покрытий – цинковое. Из неметаллических покрытий – оксидирование и фосфатирование по стоимости близки к нему. Более дорогими металлическими покрытиями являются медные, оловянные, кадмиевые, а наиболее дорогими – никелевые и хромовые. Покрытие деталей редкими и драгоценными металлами (серебром, золотом, палладием, радием) необходимо применять лишь в особо ответственных случаях.

8. Без покрытия обычно применяют золото, платину, палладий, радий, серебро, бериллиевую бронзу, сплавы вольфрама, титана.

1.7. Контроль качества покрытий

Контроль качества защитных, защитно-декоративных и специальных покрытий включает осмотр внешнего вида покрытий, определение их толщины и пористости, механических свойств, прочности сцепления, защитной способности, специальных свойств покрытий.

Контроль внешнего вида покрытий производится с целью выявления таких дефектов, как шероховатость, точечная пористость, “подгар”, отслаивание, механические повреждения, неоднородность оттенка, плохое качество полирования, растравленная поверхность. Допустимые и недопустимые дефекты покрытия регламентируются отраслевыми стандартами.

Контроль толщины покрытий производится химическими или

физическими методами. Химические методы контроля толщины покрытий основаны на растворении покрытия на выбранных участках поверхности специальными растворами. Точность методов различна: $\pm 30\%$ для капельного метода; $\pm 10\%$ для струйно-временного метода.

Физические методы контроля толщины покрытий делятся на неразрушающие и разрушающие.

Неразрушающие методы основаны на изменении магнитных, электромагнитных, радиационных явлений в зависимости от толщины покрытия. Точность неразрушающих методов составляет приблизительно $\pm 10\%$.

К разрушающим методам относится металлографический метод, основанный на определении толщины покрытия на поперечном шлифе под микроскопом при 200...500-кратном увеличении.

Контроль пористости покрытия производится методом паст или методом наложения фильтровальной бумаги. При использовании соответствующих реактивов на испытываемой поверхности покрытия или фильтровальной бумаге, которую приводят в соприкосновение с покрытием, подсчитывают число окрашенных участков, соответствующих числу пор.

Контроль прочности сцепления покрытий осуществляют методами крацевания, нагрева, навивки, изгиба, нанесения сетки царапин.

Адгезия металлического покрытия к материалу детали оценивается количественно измерением усилия, необходимого для отслаивания покрытия.

Контроль защитной способности покрытий производится методами погружения или капельным. Эти методы основаны на разрушении покрытия под действием испытательных растворов. Признаком разрушения покрытий является изменение цвета раствора, образование продуктов коррозии. Контролируемым параметром является время воздействия раствора на покрытие до начала его разрушения (растворения).

Специальные покрытия в зависимости от характера и назначения проверяют на твердость, износостойкость, отражательную способность, термостойкость и другие свойства.

1.8. Условные обозначения металлических и оксидных покрытий

Обозначения металлических и неметаллических неорганических покрытий в технической документации устанавливает ГОСТ 9.306 -85.

Порядок обозначения покрытия:

- обозначение способа обработки основного металла (при необходимости);
- обозначение способа получения покрытия;
- обозначение материала покрытия;
- толщина покрытия;
- обозначение электролита (раствора), из которого требуется получить покрытие (при необходимости);
- обозначение функциональных или декоративных свойств покрытия (при необходимости);
- обозначение дополнительной обработки (при необходимости).

В обозначении покрытия не обязательно наличие всех перечисленных составляющих.

Допускается в обозначении покрытия указывать способ получения, материал и толщину (в мкм) покрытия, при этом остальные составляющие условного обозначения указывают в технических требованиях чертежа. Толщину покрытия, равную или менее 1 мкм, в обозначении не указывают, если нет технической необходимости (за исключением драгоценных металлов). Для многослойных покрытий допускается указывать суммарную толщину покрытия.

Обозначения способов (методов) получения покрытий приведены в табл. 5, а обозначения материалов покрытий - в табл. 6.

Таблица 5

Обозначения способов получения покрытий

Способ получения покрытия	Обозначение
Катодное восстановление (гальванический)	—
Анодное окисление*	Ан
Химический	Хим
Горячий	Гор
Диффузионный	Диф
Термическое напыление	по ГОСТ 9.304-84
Конденсационный (вакуумный)	Кон
Контактный	Кт
Контактно-механический	Км
Катодное распыление	Кр
Вжигание	Вж
Эмалирование	Эм
Плакирование	Пк

*Способ получения покрытий, окрашивающихся в процессе анодного окисления алюминия и его сплавов, магния и его сплавов, титановых сплавов, называется "Аноцвет".

Таблица 6

Обозначения материала покрытий

Материал покрытия	Условное обозначение	Материал покрытия	Условное обозначение
Алюминий	А	Сплавы*:	
Висмут	Ви	Алюминий-цинк	А-Ц
Вольфрам	В	Золото-серебро	Зл-Ср
Железо	Ж	Золото-серебро-медь	Зл-Ср-М
Золото	Зл	Золото-платина	Зл-Пл
Индий	Ин	Медь-олово (бронза)	М-О
Иридий	Ир	Медь-цинк (латунь)	М-Ц
Кадмий	Кд	Никель-железо	Н-Ж
Кобальт	Ко	Никель-кадмий	Н-Кд
Медь	М	Никель-хром-железо	Н-Х-Ж
Никель	Н	Олово-висмут	О-Ви
Олово	О	Олово-кадмий	О-Кд
Палладий	Пд	Олово-свинец	О-Кс
Платина	Пл	Олово-цинк	О-Ц
Родий	Рд	Серебро-медь	Ср-М
Свинец	С	Серебро-палладий	Ср-Пд
Серебро	Ср	Кобальт-вольфрам	Ко-В
Титан	Ти	Цинк-никель	Ц-Н
Хром	Х	Оксидное покрытие	Окс
Цинк	Ц	Фосфатное покрытие	Фос

*1. Для материала покрытия, состоящего из сплава, в скобках указывают максимальную массовую долю первого или первого и второго (в случае трехкомпонентного сплава) компонентов в сплаве. Например, покрытие сплавом медь – цинк с массовой долей меди 50...60 % и цинка 40...50 % обозначают М-Ц (60); покрытие сплавом медь – олово – свинец с массовой долей меди 70 – 78 %, олова 10...18 %, свинца 4...20 % обозначают М-О-С (78;18).

2. В обозначении покрытия припоем, получаемого горячим способом, указывают марку припоя по ГОСТ 21930 – 76, ГОСТ 21931 – 76.

Обозначения функциональных покрытий приведены в табл. 7, а декоративных - в табл. 8.

Таблица 7

Обозначения функциональных свойств покрытий

Способ получения покрытия	Обозначение
Твердое	ТВ
Электроизоляционное	ЭИЗ
Электропроводное	Э

Таблица 8

Обозначения декоративных свойств покрытий

Наименование декоративного покрытия	Декоративный признак покрытия	Обозначение
Блеск	Зеркальное	зк
	Блестящее	б
	Полублестящее	пб
	Матовое	м
Шероховатость	Гладкое	гл
	Слегка шероховатое	сш
	Весьма шероховатое	ш
Рисунчатость	Рисунчатое	рсч
Текстура	Кристаллическое	кр
	Слоистое	сл
Цвет*	-	Наимен. цвета

* 1. Цвет покрытия, соответствующий естественному цвету осажденного металла, не служит основанием отнесения покрытия к окрашенным.

2. Цвет покрытия, получаемый в процессе, например, анодирования, обозначают полным наименованием, за исключением черного покрытия - ч.

Обозначения некоторых видов дополнительной обработки покрытия приведены в табл. 9.

Таблица 9

Обозначение дополнительных способов обработки покрытий

Наименование дополнительной обработки покрытия	Обозначение
Нанесение лакокрасочного покрытия	лкп
Оксидирование (пассивирование)	окс
Оплавление	опл
Пропитка (лаком, клеем, эмульсией и т.д.)	прп
Пропитка маслом	прм
Термообработка	т
Фосфатирование	фос
Хроматирование*	хр

* При необходимости обозначают цвет хроматной пленки: хаки-хаки, бесцветный - бцв; цвет радужной пленки - без обозначения.

В таблице 10 приведены примеры записи обозначений покрытий.

Таблица 10

Примеры записи обозначений покрытий

Покрытие	Обозначение
Цинковое толщиной 15 мкм с хроматированием хаки	Ц15. хр. хаки
Цинковое толщиной 6 мкм с радужным хроматированием	Ц6. хр
Цинковое толщиной 6 мкм, оксидированное в черный цвет	Ц6. окс. ч
Цинковое толщиной 9 мкм с последующим дискретным оксидированием и нанесением прозрачного лака (цинк-сплоит)	Ц9. окс. сл. лкп
Цинковое толщиной 6 мкм, фосфатированное в растворе, содержащем азотно-кислый барий, пропитанное маслом	Ц6. фос. окс. прм
Кадмиевое толщиной 6 мкм, получаемое блестящим из электролита с блескообразующими добавками, с бесцветным хроматированием	К дб6. хр. бцв
Кадмиевое толщиной 3 мкм по подслою никеля толщиной 9 мкм с последующей термической обработкой для образования диффузионного слоя, хроматированное	Н9. К д3. т. хр
Никелевое блестящее, получаемое из обычных электролитов с последующей полировкой, толщиной 15 мкм	Нб. 15
Никелевое блестящее, получаемое из электролитов с блескообразователем, толщиной 15 мкм	Нб15.
Хромовое с подслоем меди толщиной 24 мкм и двухслойного никеля толщиной 15 мкм	М24. Нд15. Х
Хромовое с подслоем меди толщиной 30 мкм и трехслойного никеля толщиной 15 мкм	М30. Нт15. Х
Хромовое двухслойное: "молочное" толщиной 24 мкм, твердое толщиной 12 мкм	Хмол24. Хтв12
Покрытие сплавом олово-свинец, с массовой долей олова 55-60% толщиной 3 мкм, оплавленное	О-С (60)3. опл
Оловянное толщиной 3 мкм, текстурированное термической кристаллизацией, с нанесением прозрачного лакокрасочного покрытия	О3. кр. лкп
Медное толщиной 6 мкм, блестящее, тонированное в синий цвет, защищенное прозрачным лаком	Мб6. тн. синий, лкп
Золотое толщиной 1 мкм, полученное на поверхности после алмазной обработки	алм. Зл1
Химическое фосфатное, получаемое в растворе фосфатирования с пропиткой маслом	Хим. Фос. прм.
Химическое окисное, электропроводное	Хим. Окс. э
Химическое окисное, получаемое в растворе солей двуххромовой кислоты с различными активаторами	Хим. Окс. хром
Анодно-окисное, наполненное хроматами	Ан. Окс. нхр
Анодно-окисное электроизоляционное, пропитанное бесцветным лаком	Ан. Окс. эиз. прп. лкп
Анодно-окисное, твердое, пропитанное маслом	Ан. Окс. тв. прм

Окончание таблицы 10

Покрытие	Обозначение
Анодно-окисное, получаемое на штрихованной поверхности	штр. Ан. Окс.
Анодно-окисное, получаемое окрашенным в бронзовый цвет в процессе анодного окисления	Аноцвет. бронзовый
Анодно-окисное, получаемое на химически полированной поверхности, окрашенное химическим способом или наполненное в растворе красителя	Хп. Ан. Окс.красный
Анодно-окисное, получаемое в растворе хромового ангидрида	Ан. Окс. хром
Анодно-окисное эматаль твердое, получаемое на матированной поверхности	мт. Ан. Окс. эмт. тв
Анодно-окисное эматаль, получаемое в электролите, содержащем хромовый ангидрид и борную кислоту	Ан. Окс. эмт.
Горячее цинковое толщиной 50 мкм	Гор. Ц 50
Горячее покрытие припоем ПОС 61	Гор. ПОС 61
Серебряное толщиной 9 мкм с подслоем никеля толщиной 3 мкм, получаемого химическим способом	Хим. НЗ. Ср9
Анодно-окисное покрытие, окрашенное электрохимическим способом в темно-серый цвет	Ан. Окс. эл. темно-серый

2. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ

2.1. Особенности лакокрасочных покрытий

Лакокрасочные покрытия (ЛКП) как наиболее дешевые и эффективные средства защиты от коррозии получили очень широкое распространение. Наряду с хорошими защитными свойствами ЛКП являются прекрасным декоративным материалом. ЛКП можно применять для изделий:

- 1) не имеющих поверхности трения скольжения;
- 2) не подвергающихся механическим ударам, изгибам и другим деформациям;
- 3) не требующих точных допусков и посадок;
- 4) не требующих электропроводности при механических соединениях;
- 5) не предназначенных для сварки или пайки;
- 6) не подвергающихся нагреву выше 200°С.

Главными составными частями ЛКП являются цветной непрозрачный порошок (пигмент) и связующий материал (плёнкообразователь).

Для получения покрытия, обладающего высокими защитными

и декоративными свойствами, в зависимости от вида материала деталей и условий их эксплуатации пользуются различными видами многослойных покрытий.

2.2. Содержание основных операций ЛКП

Технологический процесс нанесения жидких лакокрасочных материалов включает следующие основные операции: подготовку поверхности, окраску, сушку и отделку (при необходимости) окрашенной поверхности.

Подготовка поверхности под окраску включает ее очистку, выравнивание, грунтовку и шпатлевку с последующим шлифованием. Поверхность изделия очищают химическим (обезжиривание, травление и т.д.) или механическим (шлифование, крацевание, галтовка, струйная абразивная и гидроабразивная обработка и т.д.) способами.

В ряде случаев для повышения противокоррозионной стойкости на металлические детали, эксплуатируемые в условиях, отнесенных к 5...8 группам, предварительно наносят металлические или оксидные покрытия. В табл. 11 приведены рекомендуемые покрытия.

Таблица 11

Предварительные металлические и оксидные покрытия металлов перед окраской

М атериал	П одготовка перед окраской	Обозначение
Стали низкоуглеродистые	Фосфатирование кадмирование с хромированием никелирование оловянирование	Хим. фос К д 6. Хр.* Н 6* О 6*
Алюминий и его сплавы (деформируемые)	Анодное оксидирование с наполнением пленки хромпиком	Ан. Окс. Хр
Алюминий и его сплавы (литейные)	Химическое оксидирование	Хим. Окс
Магниеые сплавы	Химическое оксидирование	Хим. Окс
М едь и ее сплавы	Химическое пассивирование	Хим. пас
Серебро	Химическое пассивирование	Хим. пас

Затем для улучшения адгезии материала покрытия к поверхности детали и придания дополнительной противокоррозионной защиты на поверхность наносят слой грунтовки. Применяют лакомасяные, битумомасяные, нитрогрунтовки. Пигментом в грунтовках является цинковый крон и железный сурик, так как грунтовки на этих

пигментах усиливают адгезию и повышают свето-, щелоче- и кислотостойкость ЛКП.

В тех случаях, когда к покрытию предъявляют повышенные требования по внешнему виду, а поверхность изделия имеет дефекты, загрунтованную поверхность подвергают шпатлевке с последующим шлифованием. Применяют масляные, лаковые, нитроцеллюлозные, перхлорвиниловые, эпоксидные шпатлевки.

Окраску подготовленной поверхности производят одним или несколькими слоями следующими способами: распылением краски (пневматическим, безвоздушным, электростатическим), струйным обливанием, электрофорезом, ручным способом.

Сушку ЛКП выполняют для их отверждения. Различают естественную и искусственную сушку. Естественная сушка производится при температуре помещения или открытой площадки, длительна и не пригодна при поточном производстве; покрытие получается недостаточно высокого качества. Искусственная сушка ускоряет процесс высыхания пленки и значительно улучшает качество покрытия. Существует несколько способов искусственной сушки: конвекционная, терморadiационная, потоком электронов (радиационное отверждение) и др. Конвекционная сушка основана на нагреве окрашенных деталей горячим воздухом в специальных сушилках. Образующаяся при этом корка препятствует улетучиванию растворителя, что удлиняет время сушки. Терморadiационная сушка основана на поглощении инфракрасных лучей деталью. Сушка пленки начинается с нижних слоев покрытия, в результате чего ускоряется испарение растворителя. Время сушки сокращается в 5...10 раз, а качество пленки повышается.

Сушка за счет радиационного отверждения основана на облучении пленки потоком электронов в специальных установках. Этот способ сушки рекомендуется для полимерных покрытий (эмали и лаки на основе полиэфиров, акриловых, эпоксидных, полиуретановых смол), которые отверждаются при дозе облучения 20...80 кГр. Время отверждения покрытия составляет секунды или доли секунд.

Отделка окрашенной поверхности включает лакирование, полирование и художественное оформление. Лакирование повышает стойкость покрытия и придает ему блеск. При полировании достигается блестящая поверхность с помощью фетровых кругов с применением специальных паст. Художественное оформление предусматривает нанесение декоративных линий (цировка), схем, надписей, знаков.

2.3. Классификация и обозначение лакокрасочных материалов и покрытий

В основу классификации и системы обозначений лакокрасочных материалов положены две важнейшие характеристики:

1. Химический состав смолы, эфира, целлюлозы и масел - как пленкообразователей и связующих - для эмалей, лаков, грунтовок, шпатлевок и красок (табл. 12).

Таблица 12

Обозначения лакокрасочных материалов по химическому составу пленкообразующих веществ

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Глифталевые	ГФ	Полиэфирные ненасыщенные	ПЭ
Пентафталевые	ПФ	Полиуретановые	УР
Меламинные	МЛ	Полиакриловые	АК
Мочевинные	МЧ	Алкидно-акриловые	АС
Фенольные	ФЛ	Нитроцеллюлозные	НЦ
Фенолоалкидные	ФА	Этилцеллюлозные	ЭЦ
Эпоксидные	ЭП	Перхлорвиниловые и	ХВ
Эпоксизифирные	ЭФ	Поливинилхлоридные	
Сополимеро-винилхлоридные	ХС	Фторопластовые	ФП
		Поливинилацетатные	ВЛ
Кремнийорганические	КО	Дивинилацетиленовые	ВН
Качуковые	КЧ	Битумные	БТ
Полиамидные	АД	Канифольные	КФ
Масляно- и алкидно-стирольные	МС	Масляные	МА
		Шеллачные	ШЛ

2. Назначение лакокрасочного материала применительно к условиям эксплуатации (табл. 13).

В тех случаях, когда лакокрасочный материал изготавливается из смеси смол, буквенные обозначения устанавливаются по смоле, определяющей основные свойства этого материала.

Обозначение лакокрасочных материалов состоит из следующих знаков:

- 1) наименование - лак, краска, эмаль и т.д.;
- 2) состав пленкообразующего вещества (обозначение по табл. 12);
- 3) группа назначения - первая цифра (см. табл. 13);
- 4) порядковый номер, присвоенный материалу - следующие цифры;

Таблица 13

Группы лакокрасочных материалов по преимущественному назначению

Группа	Назначение	Обозначение
Атмосферостойкие	Наружные покрытия для различных климатических условий	1
Стойкие внутри помещений	Покрытия для изделий, эксплуатируемых внутри помещений	2
Консервационные	Покрытия, защищающие изделия при их длительном хранении или транспортировании	3
Водостойкие	Покрытия, стойкие при контакте с водой	4
Специальные (покрытия, обладающие специфическими свойствами)	Покрытия для кожи, резины, стойкие к излучениям, светящиеся составы и т.д.	5
Маслостойкие	Покрытия, стойкие к нефтепродуктам	6
Химически стойкие	Покрытия, стойкие к действию различных химических реагентов (жидких и парообразных)	7
Термостойкие	Покрытия, подвергающиеся действию повышенных температур от 60 до 500°C	8
Электроизоляционные	Покрытия, подвергающиеся действию электрического напряжения, тока, дуги, поверхностных разрядов	9
Грунтовки и лаки полужабрикатные	—	0
Шпатлевки	—	0 0

5) цвет материала - обозначается словом или буквой.

Например:

Эмаль ХВ - 16 голубая: эмаль перхлорвиниловая (ХВ), атмосферостойкая (1), порядковый номер 6, цвет - голубой.

Шпатлевка ЭП - 0010 красно-коричневая: эпоксидная (ЭП) шпатлевка (00), порядковый номер 10, цвет - красно-коричневый.

Лак ФЛ - 98: лак фенольный (ФЛ), электроизоляционный (9), порядковый номер 8.

В основу классификации лакокрасочных покрытий положены три основных признака, которые при обозначении покрытий в технической документации записывают в следующем порядке:

1) лакокрасочный материал, применяемый для покрытия (см. табл.12), цвет, обозначение стандарта или технических условий на данный материал;

2) класс покрытия по внешнему виду (см. табл. 14);

3) условия эксплуатации покрытий (при воздействии климатических факторов) - АИ NO009 - 73; и ?e ai caeпоаee i ni au o n?aa - АИ NO9.032-74.
Сaeeeoa 14

Классификация покрытий по внешнему виду

Класс покрытия	Характеристика внешнего вида	Допускаемые дефекты	Назначение покрытия
1	Поверхность ровная, гладкая, однородная	Не допускаются дефекты поверхности, видимые невооруженным глазом	Окраска легковых автомашин, приборов, холодильников и т.п.
2	Поверхность ровная, гладкая, однородная или с характерным рисунком	Допускаются отдельные малозаметные невооруженным глазом соринки, риски, следы от зачистки, штрихи и пр. Рисуночатые покрытия (молотковые, муар, мороз и т.д.) должны иметь рисунок без непроявленных участков	Окраска станков, машин, энергетического оборудования приборов, аппаратов
3	Поверхность ровная, гладкая, однородная или с характерным рисунком	Допускаются неровности, связанные с состоянием окрашенной поверхности, отдельные, заметные невооруженным глазом следы зачистки, риски	Окраска "шкафов" приборов, крупных машин и т.д.
4	Поверхность ровная, гладкая, однородная или с характерным рисунком	Допускаются неровности, связанные с состоянием окрашенной поверхности, и другие дефекты, видимые невооруженным глазом, но не влияющие на защитные свойства покрытий	Окраска поверхностей, соприкасающихся с агрессивными средами: водой, маслом, бензином, растворами щелочей, кислот

Примеры обозначения покрытий:

1) Окраска голубой эмалью МЛ - 152 по II классу для эксплуатации на открытом воздухе в атмосфере тропического климата.

Эмаль МЛ - 152 голубая ГОСТ 18099-78. II. АТ.

2) Окраска нитроэмалью синего цвета (31) по первому классу для эксплуатации внутри помещения.

Эмаль НЦ 11-31. I. П.

Характеристики покрытия	ЛК П на основе материала							
	ГФ, ПФ	МЛ	ЭП	АК	НЦ	ВЛ	ХВ	МА
Термостойкость, °С	150	120	150	180	60	250	90	90
Макс.достижимый класс покрытия	II	II	II	I	I	II	I	II

*Оценка устойчивости ЛПК в различных условиях произведена по 4-балльной системе (5-отличная стойкость, 2-плохая).

Учитывая эти факторы, а также пользуясь краткой характеристикой ЛПК, приведенной в табл. 15, делают окончательный выбор покрытия.

3) Если лакокрасочному покрытию предшествует металлическое либо оксидное покрытие, то в технической документации такое покрытие обозначают дробью. В числителе дроби указывается металлическое либо оксидное покрытие, а в знаменателе - лакокрасочное покрытие.

Например:

$\frac{\text{Хим. Окс.}}{\text{Эм. НЦ-25, белая, 1.П.}}$ означает химическое оксидирование с последующей окраской нитроцеллюлозной эмалью НЦ-25, белой по I классу для эксплуатации внутри помещений.

4) Можно числитель отделять от знаменателя косой чертой:

$\frac{\text{Кдб/эмаль ВЛ - 515 красно-коричневая.III.6.}}{\text{}} - \text{означает кадмиевое покрытие толщиной 6 мкм с последующей окраской красно-коричневой поливинилацетатной эмалью ВЛ - 515 по III классу для эксплуатации покрытия при воздействии нефтепродуктов.}$

2.4. Выбор типа лакокрасочного покрытия

При выборе того или иного лакокрасочного покрытия конструктор должен учитывать следующие факторы:

- 1) целевое назначение изделия и условия его эксплуатации;
- 2) основное назначение покрытия;
- 3) устойчивость покрытия к воздействию той или иной агрессивной среды (см. табл. 15);
- 4) требуемый класс покрытия;
- 5) цвет, соответствующий требованиям технической эстетики.

Таблица 15

Некоторые характеристики основных лакокрасочных материалов

Характеристики покрытия	ЛК П на основе материала							
	ГФ, ПФ	МЛ	ЭП	АК	НЦ	ВЛ	ХВ	МА
Устойчивость в условиях*:								
1) атмосферные условия средних широт	5	4	5	4	5	5	5	4
2) тропический климат	4	2	5	4	4	5	5	2
3) пресная вода	4	3	4	4	4	5	5	3
4) морская вода	3	2	4	3	3	4	4	2
5) кислоты	3	3	4	3	3	5	5	2
6) щелочи	2	3	5	2	3	3	3	2
7) нефтепродукты	4	4	5	4	4	4	4	2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ачкасов Н.А., Терган В.С. Технология точного приборостроения: Учебник для приборостроительных техникумов.-М: Высшая школа, 1973. 336 с.
2. Технологичность конструкций: Справочное пособие /Под ред. С.Л. Ананьева и В.П. Купровича - М.: Машиностроение, 1969. 423с.
3. Кандырин Ю.В. Защитные и декоративные покрытия изделий в радиопромышленности: Учеб. пособие.-М.: Изд-во МЭИ, 1977. 45с.
4. Справочник технолога - приборостроителя: В 2-х т. - 2-е изд., перераб., доп. Т.2/Под ред. Е.А. Скороходова - М.: Машиностроение, 1980. 463 с.
5. Технология деталей радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов (С.Е. Ушакова, В.С. Сергеев, А.В. Ключников, В.П. Привалов). Под. ред. С.Е. Ушаковой. - М.: Радио и связь, 1986. 256 с.
6. ГОСТ 9.303 - 84. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору.
7. ГОСТ 9.306 - 85. ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Обозначения.
8. ГОСТ 9.301 - 86. ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1.МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ.....	4
1.1. Условия эксплуатации изделий и виды покрытий	4
1.2. Методы нанесения металлических покрытий	7
1.3. Метод гальванического нанесения металлических покрытий ...	8
1.4. Основные характеристики металлических покрытий	9
1.4.1. Цинковое покрытие	9
1.4.2. Кадмиевое покрытие	10
1.4.3. Никелевое покрытие	11
1.4.4. Никелевое химическое покрытие	12
1.4.5. Хромовое покрытие	12
1.4.6. Медное покрытие	13
1.4.7. Покрытие сплавом медь-олово	14
1.4.8. Оловянное покрытие	14
1.4.9. Покрытие сплавом олово-никель	15
1.4.10. Покрытие сплавом олово-висмут	15
1.4.11. Покрытие сплавом олово-свинец	15
1.4.12. Золотое покрытие	16
1.4.13. Покрытие сплавом золото-никель	16
1.4.14. Серебряное покрытие	17
1.4.15. Палладиевое покрытие	17
1.4.16. Родиевое покрытие	18
1.5. Неметаллические неорганические покрытия	19
1.6. Технологические требования к конструкции покрываемых деталей	22
1.7. Контроль качества покрытий	24
1.8. Условные обозначения металлических и оксидных покрытий...24	
2. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ	30
2.1. Особенности лакокрасочных покрытий	30
2.2. Содержание основных операций ЛКП	31
2.3. Классификация и обозначение лакокрасочных материалов и покрытий	33
2.4. Выбор типа лакокрасочного покрытия	36
Список литературы	38

Учебное издание

**ЗАЩИТНЫЕ, ДЕКОРАТИВНЫЕ И
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ РЭС**

Методические указания

Составители: *Березков Борис Николаевич,
Архипов Алексей Владимирович*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а
Корректор Т. И. Щ е л о к о в а
Компьютерная верстка О. А. А н а н ь е в

Лицензия ЛР №020301 от 30.12.96 г.

Подписано в печать 20.04.2001. Формат 60S84 1/16.
Бумага газетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2,32. Усл. кр.-отт. 2,44. Уч.-изд. л. 2,5.
Тираж 400 экз. Заказ . Арт. С-29/2001.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.