

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к практическим занятиям по дисциплине

**ТЕХНОЛОГИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Донецк – 2018

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**КАФЕДРА «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к практическим занятиям по дисциплине

**ТЕХНОЛОГИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Для магистрантов, обучающихся по направлению 22.04.01  
«Материаловедение и технологии материалов»

Рассмотрено:

На заседании кафедры физического  
материаловедения  
протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.  
\_\_\_\_\_ зав.каф. Егоров Н.Т.

Утверждено на заседании методической  
комиссии по направлению 22.04.01  
\_\_\_\_\_ проф. Горбатенко В.П.

УДК 621.357

**Рецензенты:**

Штычно Алла Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры физического материаловедения ГОУВПО «ДОННТУ»;

Кузин Андрей Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры руднотермических процессов и малоотходных технологий ГОУВПО «ДОННТУ».

**Составитель:**

Крымов Виталий Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры физического материаловедения ГОУВПО «ДОННТУ»

Алимов Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры физического материаловедения ГОУ ВПО «ДОННТУ»

**Ответственный за выпуск:**

Егоров Николай Тимофеевич - кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой физического материаловедения ГОУВПО «ДОННТУ»

**М54 Методические указания и рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Технология гальванических покрытий» [Электронный ресурс] :** для студентов, обучающихся по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» / сост.: В. Н. Крымов, В.И. Алимов. - Электрон. дан. (1 файл: 0,8 Мб). - Донецк : ДОННТУ, 2018. - Системные требования: Acrobat Reader.

В методических указаниях приведены цель и задачи практических занятий, изложено содержание и рекомендации относительно выполнения. Предоставлен перечень рекомендованной справочной, научно-технической и нормативной литературы.

## Оглавление

1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ. ОБОЗНАЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ .....	6
2. НАНЕСЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ .....	12
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ .....	17
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЙ .....	22
5. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ.....	25
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ.....	28
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ.....	32
Приложение А.....	36
Приложение Б .....	37
Приложение В.....	41
Приложение Г .....	42
Приложение Д.....	43
Приложение Е .....	44
Приложение З .....	45



# 1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ. ОБОЗНАЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

*Цель работы:* изучить мероприятия по технике безопасности при нанесении покрытий; усвоить основные сведения об оборудовании, применяемом для нанесения покрытий; научиться правилам обозначения покрытий в технологической документации.

## 1.1. Техника безопасности при нанесении покрытий

Защитные, декоративные и специальные покрытия могут наноситься на изделия с использованием различных способов: гальваническим, химическим, термодиффузионным, с использованием концентрированных источников энергии (ВИЭ) и т.д. Формирование покрытий по этим технологиям сопровождается возникновением вредных и опасных производственных факторов, ухудшающих условия труда и способных нанести ущерб здоровью работающих. В ГОСТе 12.3.008-75 «ССБТ. Производство покрытий металлических и неметаллических неорганических. Общие требования безопасности» определены вредные факторы, возникающие при основных технологических операциях - подготовке поверхности, приготовлении растворов и электролитов, нанесении покрытий и их последующей обработке, а также мероприятия по обеспечению безопасности труда.

В прил. А приведены обобщенные данные по вредным производственным факторам и способам защиты от них для различных способов нанесения покрытий.

При выполнении лабораторных работ в учебных аудиториях необходимо руководствоваться следующими правилами техники безопасности.

1. При работе на полировальных и шлифовальных станках необходимо пользоваться защитными очками или экранами (ГОСТ 12.2.003-74).
2. Приготовление растворов и электролитов (отмеривание, взвешивание, перемешивание) выполнять в местах, оборудованных защитной вентиляцией с использованием средств индивидуальной защиты. Запрещается сливать агрессивные жидкости простым переливом из крупных емкостей в мелкие. Особую осторожность следует проявлять при вскрытии сосудов с хромовым ангидридом, каустиком и подобными веществами.

При составлении смеси кислот в воду следует добавлять сначала соляную, затем азотную, затем серную кислоты. Щелочь можно добавлять только в холодную воду.

3. При нанесении гальванических покрытий работай нужно только под вытяжным зонгом. Запрещено повышать рекомендуемые температуру электролита и плотность тока во избежание интенсивного испарения
4. При попадании на кожу брызг кислоты или щелочи пораженные участки следует промыть раствором соды или борной кислоты соответственно.

5. Во время лабораторных работ следует выполнять все мероприятия по электробезопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок- потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»:

- применять малые напряжения;
- корпуса всех установок должны быть надежно заземлены;
- токоведущие части установок должны быть изолированы или ограждены.

### **1.2. Оборудование для нанесения покрытий**

Оборудование, применяющееся при нанесении гальванопокрытий, может быть разделено на основное и вспомогательное. К основному относят оборудование, которое непосредственно используется для нанесения покрытий: ванны, источники тока, приспособления для подвешивания деталей.

К вспомогательному оборудованию относят устройства для подготовки поверхности, для промывки, сушки и т.п.

*Оборудование для подготовки поверхности.* В зависимости от состояния поверхности, назначения детали, материала и способа нанесения покрытия могут использоваться различные операции по подготовке поверхности. В общем случае это удаление окислов, травление, обезжиривание, полирование.

Удаление окислов осуществляют следующими способами: дробе- и пескоструйной обработкой, галтовкой, крацеванием, травлением, механической обработкой.

Дробе- и пескоструйная обработка чаще всего осуществляется на установках с пневматической или механической подачей рабочего материала. Однако в последнее время распространяется гидродробеструйная обработка, при которой рабочий материал вводится в струю жидкости. Данный способ отличается практически полным отсутствием запыленности и пониженным уровнем шума.

Галтовка обычно осуществляется в металлических емкостях колокольного или барабанного типов. Часто она изнутри футеруется резиной для снижения шума. Иногда галтовка совмещается со шлифованием или полированием изделий. В этом случае в барабаны загружаются соответственно шлифовальные и полировальные материалы. В ряде случаев применяется подводная галтовка (шлифовка), когда перфорированные барабаны частично погружаются в жидкость.

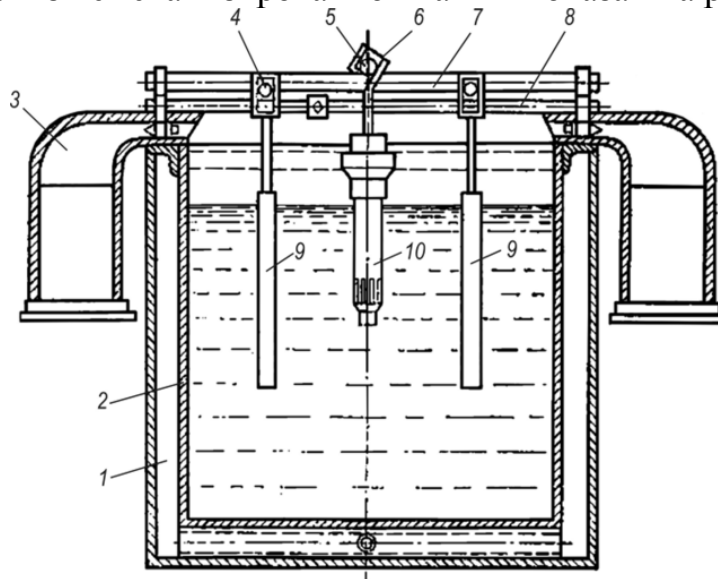
Крацевание (очистка изделий щетками) в зависимости от материала изделия осуществляется стальными, латунными, волосяными или травяными щетками. Иногда для этих целей используются иглофрезы - инструмент из спрессованной тонкой высокоуглеродистой проволоки. Скорость вращения щеток, как правило, составляет 1400-1800 мин<sup>-1</sup>.

Механическую очистку поверхности изделий чаще всего осуществляют с помощью различного абразивного материала. Это могут быть шлифовальные камни, разнообразные эластичные круги: войлочные, суконные, вулканические, кожаные, тряпичные, наборные и цельные. На эти круги различными способами наносятся абразивные материалы: корундовая крошка, песок и др.

Для химического и электрохимического травления изделий и для обезжиривания применяют механизированные и немеханизированные травильные и промывочные ванны. Конструкция их сходна с конструкцией ванн для нанесения гальванических покрытий.

*Оборудование для нанесения покрытий.* Для нанесения химических и электрохимических покрытий используются немеханизированные ванны, колокольные и барабанные ванны, механизированные поточные линии.

Немеханизированные ванны изготавливаются сваркой из листовой стали толщиной 4-6 мм. Эскиз немеханизированной ванны показан на рисунке 1.1.



1- пароводяная рубашка; 2 – футерованная ванна; 3 - бортовой вентиляционный отсос; 4 - анодная штанга продольная подвижная; 5 - катодная штанга поперечная; 6 – приспособление для подвешивания детали; 7- катодная штанга; 8 - анодная штанга; 9 - анод; 10 - деталь

Рисунок 1.1- Схема немеханизированной ванны для нанесения гальванических покрытий

Токоподводящие штанги изготавливаются, чаще всего, из меди. На рис. 1.1 показана ванна с «двойным корпусом». Такая конструкция используется в том случае, если требуется организовать охлаждение электролита, например, при гальваническом хромировании. Кроме указанных элементов ванны могут снабжаться паровыми или электрическими нагревателями, электрическими мешалками или барботерами для перемешивания, сеткой и др. приспособлениями.

Как правило, гальванические ванны футеруются изолирующими материалами, в качестве которых используют листовую свинец, винипласт или хлорвиниловый пластикат. Сегодня также применяют полипропилен, полиэтилен и фторопласт. В некоторых случаях ванны целиком делают из титана или нержавеющей стали.

Ванны небольших размеров для кислых электролитов целиком изготавливают из винипласта, фаолита, керамики, резины, эбонита и пр.



Для сушки применяют сушильные шкафы с электрическим или паровым обогревом.

К вспомогательному оборудованию относят установки для фильтрования электролита; установки для растворения цианистых солей и щелочей; столы для изоляции и монтажа подвесок.

### 1.3. Правила нанесения обозначений покрытий в технической документации

Правила нанесения на чертежах изделий покрытий (защитных, декоративных, электроизоляционных, износостойких) установлены ГОСТ 2310-68, ГОСТ 9.032-74 и ГОСТ 9.306-85.

Общая схема обозначения покрытий на чертежах такова

«Покрытие .....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт)».

В зависимости от особенностей нанесения покрытия на то или иное изделие возможны следующие варианты обозначений

1) если на всю поверхность изделия должно быть нанесено одно и тоже покрытие, то оно обозначается следующим образом:

«Покрытие.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт)».

2)если покрытие наносится на поверхность, которую можно однозначно определить или обозначить буквами, то пишут

«Покрытие наружных поверхностей.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт)». Или «Покрытие поверхностей А.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт)».

3)если на несколько поверхностей накладываются различные покрытия, то эти поверхности обозначаются разными буквами и пишется

«Покрытие поверхностей А.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт), поверхностей Б.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт), поверхностей В.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт)».

4)если на одни поверхности наносится одно покрытие, а на другие -другое или вообще не наносится, то поверхности обозначаются буквами:

«Покрытие поверхности А.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт), остальных.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт)», ИЛИ «Покрытие.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт), кроме поверхности А;

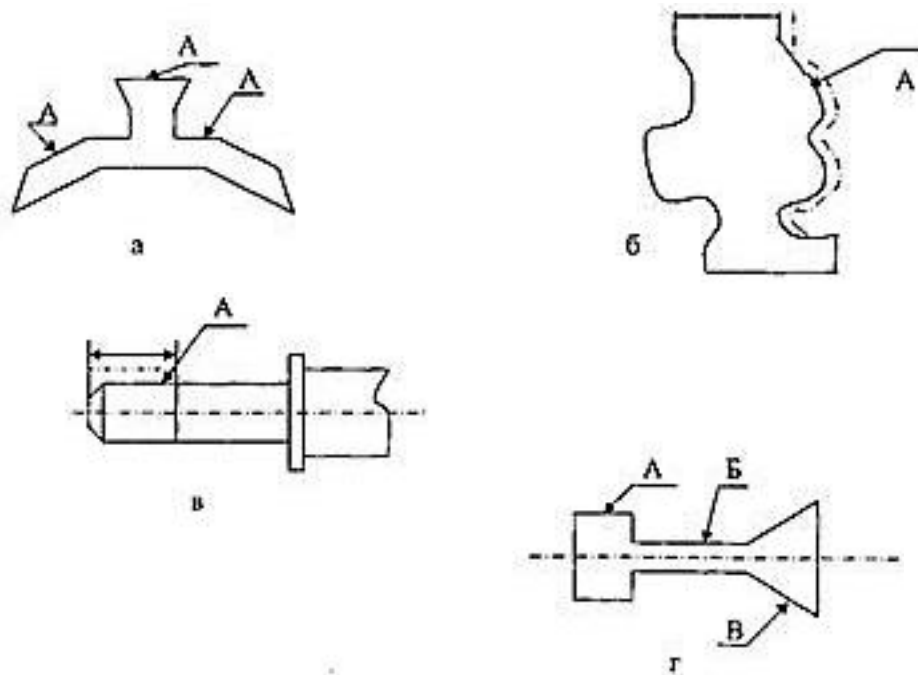
5)если покрытие наносится на поверхность сложной формы, которую нельзя однозначно определить, то такие поверхности обводят штрих -пунктирной утолщенной линией на расстоянии 0,8-1,0 мм от линии поверхности с указанием размеров, определяющих положение этой поверхности. Если размеры ясны из чертежа, то их можно не проставлять.

«Покрытие поверхности А.....(обозначение по ГОСТ),.....(марка материала и стандарт)».

На рисунке 1.2 показаны обозначения покрытий на чертежах.

Собственно указание покрытий осуществляется в соответствии с ГОСТом для данного материала покрытия. Так в случае нанесения металлического или неметаллического неорганического покрытия обозначение представляет собой описание материала покрытия и технологии его получения приведенных в определенном порядке с использованием условных обозначений (Приложение Б ). Порядок обозначение покрытия по ГОСТ 9.306-85 следующий:

- 1)обозначение способа обработки основного металла (при необходимости)
- 2)способ получения покрытия.
- 3)материал покрытия.
- 4)минимальная толщина покрытия:
- 5)электролит (раствор), из которого требуется получить покрытие (при необходимости).
- 6)функциональные или декоративные свойства покрытия (при необходимости)
- 7)дополнительная обработка(при необходимости)



а. б. в - покрытие отдельных поверхностей; г - покрытие детали разными материалами

Рисунок 1.2 – Схема обозначения покрытий на чертежах

Например, обозначение «крц.Гор.Ц100» указывает, что слой цинка толщиной 100 мкм должен быть нанесен горячим методом на поверхность, предварительно обработанную крацеванием.

Некоторые условные обозначения по ГОСТ 9.306.85 приведены в приложении Б.

#### **1.4. Экспериментальная часть**

Работа выполняется с использованием учебно-методической литературы и нормативно-технической документации, а также оборудования учебной лаборатории кафедры «Физическое материаловедение»

Необходимо изучить правила техники безопасности при проведении лабораторных работ; ознакомиться с наиболее распространенным оборудованием, используемым при различных способах нанесения покрытий, используя ГОСТы и другую документацию, изучить правила обозначения покрытий на чертежах и выполнить индивидуальное задание» полученное от преподавателя

#### **1.5 Содержание отчета**

- 1.Краткие теоретические сведения по рассмотренным вопросам;
- 2.Схемы и рисунки оборудования для нанесения покрытий,
- 3.Индивидуальное задание.

#### **1.6 Контрольные вопросы**

1. Вам необходимо подготовить отоженную деталь для нанесения гальванического покрытия. Каким способом и на каком оборудовании Вы будете это делать для следующих условий

- а) крупносерийное производство;
- б) штучное производство;
- в) деталь простой формы.
- г) деталь сложной формы

2. В чем преимущество гидродробеструйной обработки, по сравнению с пневматической или механической подачей дроби?

3. Перечислите вредные и опасные факторы, которые могут возникать в условиях учебной лаборатории при подготовке образца и нанесении гальванического цинкового покрытия (горячего цинкового покрытия)

4. Какие меры необходимо предпринять при попадании кислоты (щелочи) на кожу?

5. Какие способы механического удаления окалина Вы знаете?

6. В чем преимущество электрохимического способа очистки поверхности, по сравнению с химическим?

7. Для повышения износостойкости внутреннюю поверхность стальной втулки подвергают цементации. Для предотвращения науглероживания наружную поверхность покрывают электролитическим слоем меди толщиной 10 мкм. Нарисуйте чертеж втулки со всеми необходимыми обозначениями

## 2. НАНЕСЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

*Цель работы* - освоить получение металлических покрытий гальваническим методом и исследовать влияние режима осаждения на качество покрытий.

### 2.1. Краткие теоретические сведения о технологии нанесения гальванических покрытий

В общем случае нанесение покрытий на металлические изделия-состоит из следующих технологических операций:

- подготовка поверхности изделия;
- собственно нанесение покрытия.
- окончательная обработка покрытия (при необходимости).

**Подготовка поверхности** заключается в удалении загрязнений (окалина, ржавчина, жиромасляные пленки и т.п.) и осуществляется следующими основными способами:

- 1)механической обработкой;
- 2)химическим или электрохимическим обезжириванием;
- 3)химическим или электрохимическим травлением

В некоторых случаях может применяться механическое химическое или электрохимическое полирование поверхности.

Механическая обработка поверхности может осуществляться путем абразивной шлифовки и полировки, крацевания (очистки металлическими щетками), галтовки, вибрационной (ультразвуковой) очистки, электрохимической полировки, дробе- и пескоструйной обработки.

Как правило, после грубой механической очистки следует обезжиривание. Химическое обезжиривание, чаще всего, осуществляется в растворах моющих средств. Наиболее распространенным является водный раствор тринатрийфосфата. Сегодня обычно используются синтетические концентрированные моющие средства, которые содержат множество добавок: умягчители воды, поверхностно активные вещества и др.

Очистка жиромасляных загрязнений осуществляется в органических растворителях, в качестве которых используют бензин, керосин, уайт-спирит, трихлорэтилен  $C_2HCl_3$ , дихлорэтан  $C_2H_4Cl$ , четыреххлористый углерод  $CCl_4$  и др.

После промывки в органических растворителях часто применяют обезжиривание в щелочных растворах.

Химическое обезжиривание как правило проводят при температурах 60-70 °С

Электрохимическому обезжириванию подвергают изделия с незначительным загрязнением. Оно может быть анодным (только для сталей) и катодным. При обработке применяют щелочные электролиты.

Травление изделий проводят в кислых или щелочных растворах с целью удаления окислов и ржавчины

Для травления сталей применяют растворы серной и соляной кислот, реже применяется ортофосфорная кислота (для ответственных изделий). Для предотвращения растворения металлической основы к травильному раствору

добавляют ингибиторы или присадки типа «ЧМ». Применяется также и электролитическое травление (анодное или катодное) в кислых электролитах.

Качество поверхности после электролитического травления выше, чем после химического.

*Декапирование* - процесс активизации поверхности путем удаление тонкого слоя оксидов. Декапирование осуществляется электрохимическим анодным растворением. Применяется декапирование в особо ответственных случаях.

Окончательная обработка изделия с покрытием зависит от вида покрытия и его назначения. В большинстве случаев обработка заключается в промывке и сушке. Гальванические цинковые осадки часто хроматируют, что заметно повышает их коррозионную стойкость. Изделия после хромирования иногда подвергают обезводораживающему отжигу.

## 2.2. Нанесение электрохимических покрытий

Сущность метода заключается в восстановлении ионов металла на катоде, например,



Ион металла восстанавливается из электролита, в качестве которого чаще всего используют растворимую соль металла.

Механизм кристаллизации металлов из электролитов, в целом, сходен с механизмом образования и роста кристаллов из расплавов. Процесс электрокристаллизации имеет две фазы; возникновение зародышей и рост кристаллов. Механические, коррозионные и декоративные свойства выше у мелкокристаллических и плотных покрытий.

Основные факторы, оказывающие влияние на структуру катодных осадков следующие.

Природа осаждаемого металла. Решающую роль на структуру покрытий оказывает величина так называемого тока обмена, тока возникающего при равновесном обмене ионами между электролитом и поверхностью твердого металла. Чем меньше этот ток, тем более плотные и мелкокристаллические осадки образуются (Ni, Fe, Co). В противном случае требуется применение специальных мер для измельчения структуры (Sn, Pb, Ag, An Pt).

Температура электролита оказывает сложное влияние на структуру покрытий. В общем случае, при повышении температуры увеличивается диффузионная подвижность ионов, снижается катодная поляризация, что способствует образованию крупнокристаллических осадков.

Перемешивание электролита увеличивает скорость диффузии, уменьшая концентрационную поляризацию, что приводит к образованию крупнокристаллических осадков.

Одновременное перемешивание позволяет увеличить плотность тока, что способствует измельчению структуры покрытия. Перемешивание электролита

может производиться следующими способами: продуванием сжатого воздуха, раскачиванием катодных шланг с подвесками, механическими мешалками.

Влияние выделяющегося при электролизе водорода. В больших или меньших количествах водород образуется почти во всех используемых гальванических ваннах. Если металл покрытия или основы склонен к поглощению водорода (Fe, Cr, Ni), то это приводит к нарушению роста кристаллов, образованию пор (питтинга) в покрытиях. Поглощение водорода металлом основы приводит к развитию водородной хрупкости.

Выделение водорода в прикатодной области приводит к повышению кислотности pH и защелачиванию. Это проявляется в образовании нерастворимых гидратов которые, включаясь в катодный осадок, оказывают сильное влияние на структуру (как правило, отрицательное) покрытий.

Влияние поверхностно-активных веществ. Ряд веществ (чаще всего, органических с большим молекулярным весом, образующих коллоидные и полукolloидные растворы), добавленных в гальванические ванны, резко измельчают кристаллические осадки. Действие этих добавок связано с явлениями адсорбции и блокирования поверхности растущих кристаллов металла. Они применяются при осаждении Sn, Pb, Zn и др. металлов (примеры таких веществ – желатин, декстрины, гуммиарабик, этиламин и др.).

Среди поверхностно-активных добавок выделяются вещества, присутствие которых в электролите позволяет получать блестящие, практически зеркальные осадки. Такие добавки называются блескообразующими. Они успешно используются для никелирования, меднения и цинкования. К числу таких веществ относятся сульфированный нафталин, мочевины, декстрины, фенол, крезол и др.

На катоде чаще всего протекают два или три (частичное или полное восстановление металлов, восстановление водорода) электрохимических процесса, один из которых главный, а остальные побочные.

Количество вещества  $m$ , которое окисляется на аноде или восстанавливается на катоде может быть определено из законов Фарадея:

$$m = c \cdot I \cdot \tau$$

где  $c$  – электрохимический эквивалент, г/(А\*ч);

$I$  – сила тока, А;

$\tau$  – длительность осаждения, ч

Зная плотность металла покрытия и площадь поверхности, на которую он осаждается, можно сразу получить расчетную толщину покрытия  $\delta$  (мм):

$$\delta = \frac{c I \tau \eta}{S \rho 100}$$

где  $\eta$  – выход металла по току, %.

$S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>,

$\rho$  – плотность материала, г/см<sup>3</sup>

$\tau$  – длительность осаждения

В приложении В приведены необходимые для расчета величины толщины осаждаемых покрытий.

Для электрохимического осаждения используют электролиты различных составов. В большинстве случаев в основе электролита может лежать соль осаждаемого металла. В зависимости от состава и кислотности рН среды, электролиты могут быть щелочными или кислыми.

К основным свойствам электролитов относят: срок их службы, восстановимость и рассеивающая способность. Кислые электролиты, как правило, наиболее долговечны и легко восстанавливаемы. При осаждении некоторых металлов (Zn,Cu) наибольшей рассеивающей способностью обладают цианистые электролиты. однако они оказывают вредное воздействие на здоровье работающих.

### 2.3 Экспериментальная часть

Работа выполняется на лабораторной установке. Полученные пластинчатые образцы разных сплавов и металлов (сталь, латунь, медь, алюминий) зачищают абразивными материалами, при необходимости их подвергают травлению в соответствующем травителе. Образцы взвешивают на аналитических весах и измеряют их начальную толщину микрометром с точностью 0.01 мм. После этого на образцы по заданию преподавателя наносятся покрытия по режиму, приведенному в приложении Г.

После нанесения образцы тщательно промывают, сушат и взвешивают. Производят оценку качества покрытия путем осмотра поверхности. Микрометром измеряют конечную толщину образца. Толщину покрытий находят несколькими методами:

- 1) по изменению массы ( с учетом плотности покрытия и площади детали);
- 2) по изменению толщины образца .
- 3) измерение магнитным толщинометром МТ-41НЦ;
- 4) расчетным с использованием закона Фарадея

Экспериментальные и расчетные данные заносят в таблицу 2.1.

Таблица 2.1- Экспериментальные данные по влиянию длительности осаждения на толщину покрытия

Исходный материал - .....							Материал покрытия - .....				
$m_0$ , г	$m_1$ , г	$\Delta m$ , г	$\delta_0$ , мм	$\delta_1$ , мм	$\Delta \delta$ , мм	$\tau$ , ч	Толщина покрытия, мкм (определенная по способу)				
							1	2	3	4	сред- няя

Используя данные таблицы 2.1, строят график зависимости толщины от длительности осаждения.

С помощью биологического микроскопа необходимо изучить и описать макроструктуру покрытий (шероховатость, видимые размеры зерна, пористость, наличие дендритов).

#### **2.4 Содержание отчета**

В отчете необходимо привести следующие данные:

1. Краткие теоретические сведения;
2. Экспериментальную часть, включающую цель работы, материал и методику, результаты экспериментов в виде таблиц, графиков, рисунков макро- и микроструктуры.
3. Выводы

#### **2.5 Контрольные вопросы**

1. Объясните характер влияния плотности тока на структуру покрытия.
2. Каков механизм измельчения структуры покрытий при добавлении в электролит поверхностно-активных веществ?
3. Объясните, за счет чего происходит очистка поверхности изделий при анодном и катодном электрохимическом травлении.
4. Как влияет повышение температуры на структуру гальванического покрытия?
5. Каким образом влияет восстанавливающийся при электролизе водород на структуру и свойства покрытия, основного металла?
6. Для чего производят перемешивание электролита, как это влияет на структуру покрытия?
7. При электроосаждении каких металлов целесообразно применять перемешивание электролита?



### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: получить практические навыки определения некоторых критериев качества гальванических покрытий.

#### 3.1. Краткие теоретические сведения

Понятие качества покрытия подразумевает наличие определенного комплекса свойств, позволяющих выполнять основную функцию покрытия - защиту основного металла от агрессивной среды, износа и т.д. Это прочность сцепления покрытия с поверхностью, пористостью, шероховатостью, внутренние напряжения, коэффициент отражения и блеск; для электрических контактов большую роль может играть переходное сопротивление покрытия.

Пористость особенно значима для катодных покрытий, которые защищают изделие от коррозионной среды механически. При наличии пор коррозионная среда проникает по ним к основному металлу с образованием микрогальванических пор, что приводит к коррозионному разрушению изделия. В случае анодного покрытия повышенная пористость также может стать причиной снижения срока службы покрытия.

Для определения пористости покрытий пользуются методом паст и методом наложения фильтровальной бумаги.

Метод паст основан на химическом взаимодействии основного металла или подслоя в местах пор с веществами, входящими в состав пасты. В результате такого взаимодействия образуются окрашенные химические соединения, по которым и судят о порах. Этот метод применяют для определения пористости металлических покрытий на стали, алюминии, меди, цинке. Паста наносится на поверхность образца. После выдержки она смывается дистиллированной водой. Затем образец сушат. Поры выявляются в виде окрашенных участков. Пористость оценивают по количеству пор на единице поверхности.

Метод наложения фильтровальной бумаги также основан на взаимодействии основного металла или подслоя с реагентами в местах пор, сопровождающимся образованием окрашенных соединений. Метод применим для определения пор в катодных покрытиях на стали, меди и её сплавах. Составы реактивов и условия их применения указаны в приложении 5. Этот метод используют следующим образом. Пропитанную в реактиве фильтровальную бумагу накладывают на поверхность образца и выдерживают необходимое время. Затем бумагу промывают дистиллированной водой и сушат на ровной поверхности. Для подсчета отпечатков пор берут прозрачную бумагу и накладывают её на отпечатки пор, затем находят среднее число пор на единицу поверхности.

Шероховатость поверхности покрытия оказывает заметное влияние на коррозионную стойкость и износостойкость покрытия. Увеличение шероховатости сопровождается повышением пористости, структурной неоднородности, величины переходного сопротивления.

Наиболее универсальный и точный способ измерения шероховатости связан с использованием специальных приборов - щуповых профилометров-

профилографов типа «Калибр». При этом непосредственно может быть определена шероховатость в виде параметра Ra - среднеарифметического отклонения профиля (ГОСТ 2780-73) или Rz - высоты неровностей по десяти точкам.

Для измерения шероховатости могут быть использованы микроинтерферометры МИИ-4 и МИИ-9. Однако с их помощью можно определить высоту неровностей только при  $Ra < 0,01$  мкм.

Микрошероховатость может быть также определена с помощью двойного микроскопа МИС-11. Этот способ основан на методе светового сечения. С его помощью производят измерение высот микронеровностей в пределах 0,8.....40,0 мкм.

Для измерения шероховатости может быть применен обычный металлографический микроскоп с проградуированной ценой деления винта подстройки резкости.

Прочность сцепления является важнейшей характеристикой, оказывающей значительное влияние на эксплуатационные свойства покрытия.

Прочность сцепления зависит от качества подготовки поверхности, состава электролита и режима электролиза.

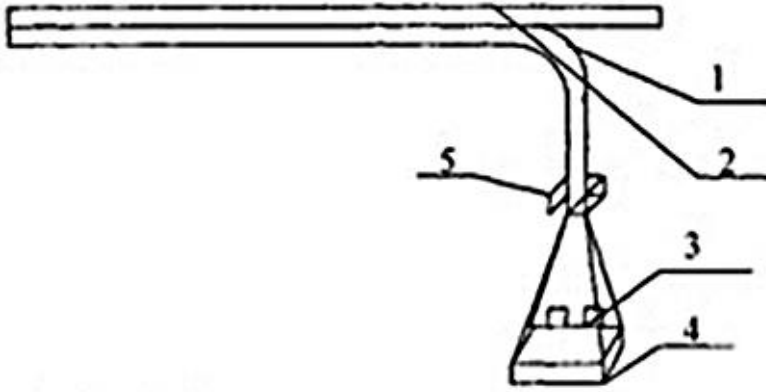
Для определения прочности сцепления покрытия применяют качественные и количественные методы. К первым относят методы полирования, крацевания, нанесения сетки царапин, навивки, изгиба, нагрева. Ко вторым относят метод штампов, метод отрыва полосы.

Методы полирования и крацевания заключается в крацевании или полировании с помощью обычных полировочных материалов (оксид хрома, крокус и т.д.) покрытия в течение определенного времени. Качество покрытия оценивается по отсутствию вздутий и отслаиваний. Эти же критерии используются в методах навивки и изгиба, которые применяются для проволоки и листового материала соответственно.

Очень распространен метод нанесения сетки царапин, который заключается в нанесении острым инструментом на поверхность нескольких параллельных царапин до основного металла и столько же перпендикулярным им. При этом не должно быть отслоений.

При использовании метода нагрева покрытий образец нагревают в течение 30-60 минут, с последующим охлаждением на воздухе. Температуру нагрева выбирают в зависимости от основного металла: для алюминия и его сплавов 185-195 °С. для меди и её сплавов 245-255°С. для стали 345-355°С. В случае испытания легкоплавких покрытий температуру нагрева снижают: для цинка и кадмия - 180-200 °С, для олова и свинца - 140-160 °С.

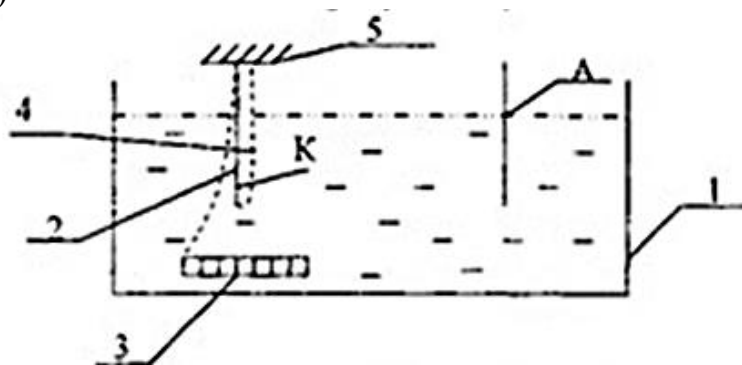
Количественные методы (штампа, отрыва полосы) основаны на отрыве участка покрытия определенной площади при известной нагрузке. Метод отрыва полосы (рисунок 3.1 ) применим только для пластичных покрытий.



1-покрытие, 2-образец, 3-разновесы, 4-платформа, 5-закрепляющее устройство

Рисунок 3.1- Схема метода отрыва полосы

Внутренние напряжения возникают в процессе формирования покрытия. Так же как и в монолитных металлах, в покрытиях могут возникать напряжения второго и третьего рода (микронапряжения) и напряжения первого рода (макронапряжения), которые являются наиболее опасными. Как правило, внутренние напряжения оказывают вредное воздействие (кроме случая нанесения пористых гальванических покрытий) и являются причиной растрескиваний и отслоений покрытий. У большинства материалов покрытий, возникающие напряжения являются растягивающими, лишь в случае осаждения меди, кадмия, свинца возникают напряжения сжатия. Величины напряжений сильно различаются в зависимости от материала от 10 ГПа у хрома до 20 МПа у цинка. Для измерения величины внутренних напряжений, возникающих при осаждении гальванических покрытий, применяют методы, основанные на фиксировании деформации тонкого катода (рисунок 3.2)



1-гальваническая ванна с прозрачной стенкой, 2 - образец-катод. 3-шкала для измерения деформации образца покрытия. 4 -слой осажденного покрытия, 5 - жесткое крепление

Рисунок 3.2 - Схема определения внутренних напряжений по деформации тонкого катода

Одна сторона тонкого образца изолируется химически стойким лаком перед осаждением, что вызывает при осаждении его изгиб под действием внутренних напряжений. Численное значение напряжений рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \frac{E \delta_1 z}{\delta_2 l^2}$$

где  $E$  - модуль упругости основного металла, МПа;  
 $\delta_1$  - толщина катода, см;  
 $\delta_2$  - толщина осадка, см;  
 $l$  - длина рабочей части катода, см;  
 $z$  - смещение конца катода, см.

Коэффициент отражения и блеск покрытий. Эти показатели также отражают рабочие характеристики покрытия и являются важными для покрытий на деталях оптических приборов (золото, серебро, индий, никель, хром), которые должны иметь или очень высокий коэффициент отражения ( $K_{отр} = 0.96$  у золота) или очень низкий (черный никель). Однако для некоторых защитных или декоративных покрытий, например, цинковых, никелевых, повышение коэффициента отражения, блеска сопровождается также повышением защитных свойств. Для определения коэффициента отражения применяют фотометры, действие которых основано на сравнении силы света, отраженную от исследуемого образца и от эталона.

Для определения блеска покрытия (между блеском и коэффициентом отражения корреляция отсутствует) не существует общепринятой методики. Применяемые методы, чаще всего, основаны на количественном измерении силы отраженного от поверхности света. Сегодня на рынке предлагаются приборы для количественного измерения как уровня освещенности (что позволяет косвенно оценить отражательную способность поверхности), так и непосредственно степень отражения света при данном уровне освещенности.

К первым приборам относятся люксометры, ко вторым – блескомеры. Это электронные приборы, принцип действия которых основан на фотоэлектрическом измерении интенсивности светового потока, отраженного от измеряемой поверхности, при заданной геометрии освещения или наблюдения. Отечественные приборы оценивают степень блеска по ГОСТ Р 52663-2006 (ISO 2813:1994) и ГОСТ 896-69.

### **3.2. Экспериментальная часть**

На образцах, покрытых на предыдущих работах, а также на полученных от преподавателя, необходимо исследовать некоторые критерии качества по приведенным выше методикам.

Студенты должны:

- с помощью бинокулярной лупы и металлографического микроскопа изучить структуру покрытий с целью выявления несплошностей, трещин, отслаиваний, шероховатости;

- определить пористость методом наложения фильтровальной бумаги;

- по заданию преподавателя определить прочность сцепления покрытия с подложкой одним из качественных методов, предпочтительно нанесением сетки царапин.

Результаты определенные сводятся в таблицу типа таблицы 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты оценки качества покрытий

Материал изделия и покрытия	Свойства		
	Пористость, $n, \text{см}^{-2}$	Прочность сцепления, доля по площади отслоившегося покрытия, %	Макроструктура поверхности, шероховатость

### 3.3. Содержание отчета

В отчете приводится следующая информация:

1. Краткие теоретические сведения;
2. Экспериментальная часть, содержащая цель работы, подробное описание методики выполнения, результаты в виде схем макроструктуры и таблицы.
3. Выводы

### 3.4. Контрольные вопросы

1. Каким образом влияет пористость на качество покрытий (анодных, катодных)?
2. Может ли пористость быть полезной?
3. Какие методы определения пористости покрытий Вы знаете, в чем их суть?
4. Какие эксплуатационные характеристики зависят от прочности сцепления покрытия с подложкой?
5. Назовите основные факторы, влияющие на прочность сцепления покрытия с основным металлом, какие из них легче всего регулировать?
6. Какие качественные и количественные методы определения прочности сцепления покрытия с подложкой Вы знаете?
7. Как влияет на качество покрытия величина шероховатости поверхности? Приведите примеры вредного и полезного влияния
8. Каким способом, по Вашему мнению, можно определить шероховатость в условиях металлографической лаборатории?

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: получить навыки измерения твердости тонких покрытий; ознакомиться с оценочными методами определения толщины покрытия по твердости

### 4.1 Краткие теоретические сведения

Твердость представляет собой сопротивление материала вдавливанию или царапанию. Твердость - сложное свойство, зависящее не только от прочности и пластичности, но и от величины прилагаемой нагрузки.

Твердость гальванических покрытий играет большую роль, определяя во многих случаях срок службы покрытия и ресурс соответствующих механизмов и приборов. Особую роль играет твердость гальванических покрытий хромом, железом, химическим никелем, применяемых для повышения поверхностной прочности деталей механизмов машин, приборов, контрольно-измерительных калибров различного рода и т.д. В общем случае, большей твердости соответствует большая износостойкость и соответственно, длительность службы деталей. Твердость покрытий золотом, серебром, родием, палладием, никелем, оловом и сплавами на их основе определяет надежность работы различных контактных устройств, применяемых в радио электрических и электронных устройствах, разнообразных приборах, телефонной аппаратуре и др.

Твердость электроосажденных металлов всегда превышает твердость тех же металлов полученных металлургическим путем. Особенно это заметно для тугоплавких металлов. В приложении Е приведены соответствующие данные о твердости металлов.

Повышение температуры электролита в большинстве случаев приводит к уменьшению твердости покрытий. Состав электролита также оказывает заметное влияние на твердость. Никелевые покрытия получаются более мягкими при осаждении из борфтористоводородных электролитов, чем из сульфатных. Осадки хрома в тетрахроматных электролитах получаются значительно более мягкими, чем в стандартных электролитах.

Наблюдается определенная корреляция между твердостью, внутренними напряжениями, хрупкостью и износостойкостью гальванических покрытий. Как правило, более высоким внутренним напряжениям соответствует большая твердость и большая хрупкость покрытий. Большой твердости обычно соответствует более высокая износостойкость, однако, это верно до определенного предела.

Измерение микротвердости с помощью прибора ПМТ-3. При измерениях на приборе ПМТ - 3 твердость определяется по размерам отпечатков, создаваемых вдавливанием алмазной пирамиды под нагрузкой от 0,05 до 5,00 Н и выражается в Н/мм<sup>2</sup>.

Микротвердость зависит от нагрузки в большей степени, чем макротвердость. В большинстве случаев микротвердость увеличивается с уменьшением нагрузки

Поэтому при записи микро твердости следует в индексе указывать приложенную нагрузку в граммах, например.  $H_{50}$ .

Величину нагрузки выбирают в зависимости от твердости и толщины образца или толщины слоя однородного материала. Минимальная толщина слоя должна быть больше полуторной длины диагонали отпечатка  $l$ .

При тонком слое покрытия на измерении микротвердости сказывается твердость материала подложки, вследствие чего могут быть значительные искажения результатов.

Минимальная толщина металлического покрытия, при котором металл основы практически не оказывает влияния на результаты измерения, зависит от твердости основы и твердости покрытия. Если твердость основы больше твердости покрытия, то должно быть соблюдено соотношение. Для приближенного определения минимальной толщины слоя покрытия используется формула:

$$\delta_{\text{п}} = \frac{0,7(H_{\text{max}} + H_{\text{п}} - H_0)l}{H_{\text{п}}}$$

где  $l$  - диагональ отпечатка на покрытии, мкм;  
 $H_{\text{п}}$  и  $H_0$  - твердость покрытия и основного металла, соответственно, Мпа;  
 $H_{\text{max}}$  - наибольшая из величин  $H_{\text{п}}$  или  $H_0$ .

Если  $H_{\text{п}} > H_0$ , то формула имеет вид:

$$\delta_{\text{п}} = \frac{0,7(2H_{\text{п}} - H_0)l}{H_{\text{п}}}$$

Для более точного определения минимальной толщины слоя покрытия проводят серию измерений микротвердости при различных толщинах слоя покрытия. По результатам измерения строят график в координатах микротвердость - толщина слоя покрытия. По графику определяют минимальную толщину слоя, выше которого дальнейшее увеличение толщины не оказывает влияния на результаты измерения.

При достаточно большой толщине покрытия микротвердость определяют зачастую и на поперечном шлифе. Расстояние отпечатка от края слоя покрытия должно быть не меньше половины диагонали отпечатка. Соответственно минимальная толщина покрытия должна быть вдвое больше длины диагонали отпечатка.

Для получения сопоставимых результатов измерения проводят при постоянной нагрузке. Поверхность покрытия должна быть гладкой во избежание дополнительных погрешностей измерения.

#### 4.2 Экспериментальная часть

Работа выполняется на образцах с известной толщиной покрытия, например, на образцах, полученных в ходе выполнения предыдущих лабораторных работ.

Перед измерением микротвердости непосредственно на покрытии оно подвергается полировке. Возможна тонкая шлифовка твердых покрытий, например, хромовых. При значительной толщине покрытия твердость может быть измерена на поперечном шлифе, который изготавливается по принятой методике. Если покрытие очень тонкое и невозможно выполнить соотношение, то приблизительную твердость покрытия можно определить с помощью первой формулы. При этом нужно учитывать, что увеличение нагрузки позволяет повысить точность значений микротвердости за счет уменьшения влияния приборных погрешностей.

Результаты измерений сводятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1-Микротвердость металлических покрытий

Материал покрытия	Режим нанесения	Микротвердость средняя, Н/мм <sup>2</sup>	Статистические характеристики	По литературным данным	
				Для литого металла	Для электроосажденного металла

Полученные значения твердости должны быть статистически обработаны с нахождением среднего значения и статистических характеристик:  $S$  - суммы квадратов отклонений,  $f$  доверительного интервала и  $D$ -дисперсии

### 4.3 Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения.
2. Экспериментальная часть, содержания описание методики выполнения работы, результаты в виде сводной таблицы и необходимых пояснений
3. Выводы с обязательным объяснением полученных результатов

### 4.4 Контрольные вопросы

- 1.Объясните качественные и количественные отличия значений твердости металла, полученного электроосаждением от традиционного литого.
- 2.Проанализируйте данные таблицы 4 2. Объясните полученные результаты.
3. Какое влияние на твердость тонкого слоя покрытия будет оказывать материал подложки
  - а) если покрытие более твердое.
  - б) если покрытие более мягкое?
- 4.Можно ли наносить твердое покрытие небольшой толщины на очень мягкую подложку, если изделие работает в условиях значительных удельных давлений'.
- 5.Какое влияние оказывает температура электролита на твердость гальванических покрытий. Обоснуйте ответ.



## 5. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: познакомиться с основными закономерностями электрокристаллизации металлов и факторами, влияющими на формирование структуры электрохимических покрытий

### 5.1 Краткие теоретические сведения

Структура гальванических покрытий

Гальванические покрытия в большинстве своем имеют четко выраженный кристаллический характер (рис. 5.1).

По своей природе электрокристаллизация металлов сходна с кристаллизацией из жидкости или твердофазными превращениями, имеющими диффузионный характер: вначале образуются зародыши, которые растут в процессе кристаллизации за счет присоединения новых атомов. Чем выше скорость образования зародышей и чем ниже линейная скорость роста кристаллов, тем более мелкозернистым получается покрытие. Факторами, оказывающими влияние на конечную структуру гальванических покрытий, являются природа металла, состав и температура электролита, поляризация и плотность тока. Аналогом переохлаждения при кристаллизации из жидкости для электрокристаллизации является поляризация. Чем она выше, тем меньше размер зерен покрытия.

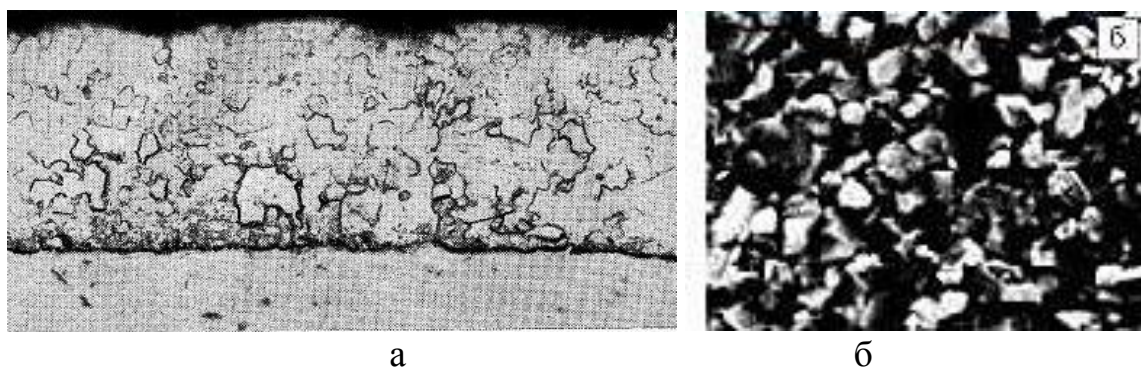


Рисунок 5.1 – Микроструктура цинкового (а) и алюминиевого гальванических покрытий. Алюминий получен осаждением из кислого электролита

Условия электролиза, определяющие характер кристаллизации, оказывают влияние на свойства покрытия: компактность, защитные свойства, прочность сцепления с подложкой, твердость, внутренние напряжения, блеск и т.д. В зависимости от состава электролита, плотности тока, температуры и циркуляции электролита могут образовываться плотные осадки, матовые или блестящие, рыхлые, губчатые, дендриты, порошкообразные осадки. Влияние условий осаждения на структуру покрытий было рассмотрено ранее.

При изучении структуры покрытий могут применяться такие же методы, как и для металлов, полученных металлургическим путём. Исследованием макроструктуры покрытий можно выявить такие особенности строения как крупнозернистость, дендриты, поры, загрязненность покрытия инородными включениями.

Макроструктуру покрытия можно изучать на поперечных шлифах и на покрытой поверхности после полировки. Для выявления структуры используют травители, составы которых приведены в таблице 5.1.

При травлении необходимо учитывать электрохимическое взаимодействие покрытия и основного металла. Так, для катодного покрытия матерная подложки будет играть роль протектора. Например, вытравить химическим травителем структуру медного покрытия на стали (на поперечном шлифе) очень сложно.

Таблица 5.1-Травители для выявления микроструктуры

Материал покрытия	Состав травителя	Примечания
Никель	1) «царская водка»: 1ч. HNO <sub>3</sub> +3ч. HCl+1ч. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2) насыщенный раствор K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	
Медь	FeCl <sub>3</sub> -5г HCl-15мл Вода-50 мл	
Хром	5мл H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 100мл воды	Температура +80°C
	15 мл H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 1мл HF, 100мл воды	

## 5.2 Экспериментальная часть

Используя лупу или специальный микроскоп, необходимо исследовать макроструктуру поверхности с нанесенным покрытием и выявить с помощью макроанализа дефекты покрытия - поры, трещины, дендриты, губчатость, а также оценить шероховатость поверхности; зарисовать макроструктуру поверхности.

В зависимости от толщины материала покрытия, по заданию преподавателя. изготавливаются шлифы на покрытой плоской поверхности или поперечный шлиф (в этом случае обязательно использование струбины). После изготовления шлифа в соответствии с материалом покрытия подбирается травитель по таблице 5.1. Предварительно, на изготовленном шлифе необходимо оценить наличие пор, трещин, отслоений. На протравленных шлифах методами количественной металлографии нужно определить размер зерна (средний условный диаметр) и зарисовать микроструктуру.

Полученные данные сводятся в таблицу 5.2

Таблица 5.2 - Характеристики структуры гальванических покрытий

Материал покрытия	Режим осаждения	Размер кристаллитов, мкм	Форма кристаллитов	Дефекты покрытия

### **5.3 Содержание отчета**

1. Краткие теоретические сведения
2. Экспериментальная часть, содержащая цель работы, материалы и методику выполнения, результаты работы в виде таблиц и зарисовок макро -и микроструктуры.
3. Выводы.

### **5.4 Контрольные вопросы**

1. Перечислите факторы, влияющие на размер зерна металла гальванического покрытия.
2. Что сходного в процессах кристаллизации из жидкости и электрокристаллизации?
3. Каким образом можно выявить микроструктуру металлического покрытия?
4. В чем особенности выявления микроструктуры металлического покрытия методом химического травления?
5. Основываясь на данных таблицы 5.2, сформулируйте соответствие между микроструктурой и твердостью гальванических покрытий.

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: изучить свойства покрытий при повышенных температурах и при взаимодействии с коррозионными средами; ознакомиться с основными методами оценки защитных свойств покрытий

### 6.1 Краткие теоретические сведения

Покрытия применяются, главным образом, для защиты деталей от коррозии и износа. Реже нанесение покрытий преследует другие цели (изменение антифрикционных, электрических свойств, повышение или снижение коэффициента отражения и т. д.). Эти функции, как правило, должны сочетаться с высокой коррозионной стойкостью. Таким образом, вопросы исследования сопротивления покрытия химическому или электрохимическому воздействию среды являются основными при определении качества покрытия.

Жаростойкость металлических покрытий может быть оценена весовым методом при испытаниях покрытых образцов в окислительной атмосфере. Сопротивляемость окислению при этом оценивается по изменению массы образца, происходящему вследствие присоединения кислорода и образования окисла. Изменение массы, при этом, выражается удельным показателем  $Km^+$ , который рассчитывается по формуле 6.1:

$$Km^+ = \frac{\Delta m}{S\tau}$$

где  $\Delta m$  - изменение массы во время нагрева, г;  
 $S$  - площадь образца,  $m^2$ ;  
 $\tau$  - длительность опыта, ч.

Стойкость металлических покрытий к электрохимическому воздействию среды может быть оценена объемно-весовым методом при ускоренных испытаниях в слабых растворах кислот. Коррозионная стойкость при этом оценивается массовым удельным показателем  $Km^+$  и  $Kv$ , который рассчитывается по формуле:

$$Kv = \frac{V}{S\tau}$$

где  $V$  - объем выделившегося водорода,  $cm^3$

При проведении испытаний в агрессивных растворах необходимо учитывать взаимное влияние металлов с разными электродными потенциалами. В случае испытания анодного покрытия, корродировать будет преимущественно покрытие.

При испытаниях катодных покрытий высокими защитными свойствами будет обладать только плотное, бездефектное покрытие. При наличии пор и трещин будет интенсивно корродировать металл основы (в случае катодного покрытия). Анодное покрытие будет защищать изделие электрохимически даже при наличии пор, трещин и царапин. Особенно эффективна будет защита при образовании продуктов коррозии материала покрытия, удельный объем которых превышает удельный объем исходного материала. Ярким примером такого покрытия является цинк.

Оценить качественно коррозию металла подложки можно добавлением в реактив соответствующих индикаторов. Например, для ионов  $Fe^{2+}$  это красная кровяная соль.

Защитные свойства неметаллических неорганических покрытий и пленок (оксидных, фосфатных) определяют двумя методами: капельным и методом погружения.

Капельный метод основан на воздействии капли специального реактива с металлом основы. Этот метод работает только для катодных покрытий.

Низкие защитные свойства покрытия проявляются в виде появления соответствующей окраски реактива или поверхности образца в течение определенного времени. Составы некоторых реактивов и условия их применения приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1-Назначение и порядок использования реактивов для определения защитной способности неметаллических покрытий

Основное металл	Покрытие	Состав реактива	Оценочный признак
Алюминий	Оксидная пленка	25 мл HCl; 3 г $KCr_2O_3$ , 75 мл $H_2O$	Изменение цвета капли от оранжевого до зеленого в течение 3-15 мин
Сталь, чугун	Фосфатная пленка	8г $CuSO_4$ , 0,5 мл HCl, 3,5г NaCl, 100мл воды Капельный метод	Изменение цвета капли от голубого до красного в течение 1-5 мин (1 мин- низкая стойкость, 5 мин- высокая стойкость)

Метод погружения основан на взаимодействии металла подложки с соответствующим реактивом-индикатором или на появлении очагов коррозии основного металла.

Например, фосфатированные стальные образцы погружают в 3% водный раствор NaCl на 15 мин. Признаком низких защитных свойств является появление очагов коррозии о течение 1 ч.

## 6.2 Экспериментальная часть

Работа выполняется на пластинчатых образцах из углеродистой стали с нанесенными различными способами покрытиями из металлов Ni, Cr, Cu, а также неметаллическими покрытиями: фосфатными, оксидными.

Испытания на сопротивление газовой коррозии проводятся по методике изученной в курсе «Коррозия и защитные материалы». Образцы выдерживаются в воздушной атмосфере при температуре 500-700 °С в течение 30-40 мин. Стойкость покрытия оценивается по изменению образца и выражается в виде показателя  $K_{m+}$  рассчитываемого по формуле 6.1.

Определение защитной способности металлических покрытий в условиях электрохимической коррозии в кислой (щелочной) среде проводят по методике, описанной в методических указаниях к курсу «Коррозия и защита материалов».

Коррозионную стойкость оценивают по массовому и объемному показателям.

Результаты испытаний свести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 - Результаты испытаний металлических покрытий на стойкость к химической и электрохимической коррозии

Материал покрытия	Коррозионная среда	Показатели стойкости			Примечания
		$K_{m+}$ , г/(м <sup>2</sup> *ч)	$K_{m-}$ , г/(м <sup>2</sup> *ч)	$K_v$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> *ч)	

Определение защитной способности неметаллических неорганических покрытий определяют капельным методом или методом погружения в зависимости от назначения покрытия или по заданию преподавателя. Результаты испытаний заносятся в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Результаты определения защитной способности неметаллических неорганических покрытий

Материал покрытия	Метод испытания	Оценка защитной способности, мин	Примечания

## 6.3 Содержание отчета

1 Краткие теоретические сведения.

2. Экспериментальная часть, включающая цель работы, материал и методику, результаты в виде таблиц, графиков.

3. Выводы

#### **6.4 Контрольные вопросы**

1. Поясните, какую роль будут играть такие свойства как износостойкость и коррозионная стойкость для:

- а) оцинкованного стального листа;
- б) оловянированного стального листа.

2. Каким образом можно оценить защитные свойства металлического покрытия, если при взаимодействии с коррозионной средой образуются продукты коррозии? Для ответа на этот вопрос рекомендуется вспомнить курс «Коррозии и защиты материалов».

3. Объясните разницу в защитных свойствах двух анодных покрытий на стали: цинкового и хромового для двух условий:

- покрытие пористое;
- покрытие беспористое.

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ

### 7.1. Краткие теоретические сведения

Из всех применяемых в настоящее время гальванических износостойких покрытий наибольшей износостойкостью обладают покрытия хромом, а также покрытия химическим никелем. Электролитические покрытия железом уступают по износостойкости хромовым, но применяются для восстановления деталей машин. В течение последних лет разработаны процессы электроосаждения сплавов Fe-P, Fe-Cr, Co-Cr, Fe-V, Fe-Ti, которые в ряде случаев не уступают по износостойкости хромовым покрытиям.

Покрытия, применяемые для защиты от коррозии, в ряде случаев также должны обладать определенной износостойкостью. Например, крепежные детали (болты, гайки, шпильки, шайбы и т.п.), наиболее часто покрывают цинком. В этом случае цинковое покрытие (особенно для различных соединений) должно обладать повышенным сопротивлением износу и отслаиванию. Наиболее предпочтительны для подобных деталей блестящие цинковые покрытия или специальные покрытия, армированные дисперсными твердыми частицами.

В радиотехнике, электронике и приборостроении в качестве износостойких покрытий, обладающих низким переходным сопротивлением, для контактов применяют покрытия родием, палладием, реже рутением. Перспективны в качестве контактных покрытий сплавы родия, палладия и рутения с никелем, кобальтом и вольфрамом.

Наиболее часто износостойкость покрытий оценивается по убыли массы покрытия в процессе истирания или по уменьшению размеров образца с нанесением на него покрытием. Весовой метод более точен. Иногда износ оценивают по изменению состояния поверхности, или изменению микрошероховатости, которую определяют с помощью соответствующих приборов.

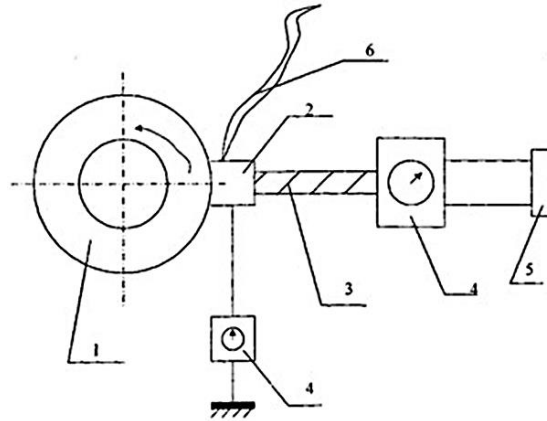
Износостойкость гальванических покрытий, применяемых для поверхностного упрочнения деталей машин в машиностроении, определяют на машине трения МИ-1М (рис.7.1). Обычно испытываемые образцы представляют собой ролики с нанесенными на них покрытиями. Износостойкость оценивается по потере в массе образцов через заданное количество метров пути ролика. Одновременно на машине МИ измеряют температуру и коэффициент трения - величину, существенно сказывающуюся на износостойкости. Испытания проводят при условии сухого трения, при трении в абразивной среде, при граничной подаче смазки и различных удельных давлениях.

Измерения износа представляют собой относительные величины. Поэтому при испытаниях используют эталонные образцы. Наиболее широко о качестве эталонов сравнения используют образцы из стали 45, закаленные токами высокой частоты.

Износостойкость покрытий изменяется при повышении температуры. Поэтому проводят также испытания теплостойкости покрытий. Покрытия



железом характеризуются низкой теплостойкостью, их износостойкость резко уменьшается в области температур 500...600°C. Теплостойкость хромовых покрытий выше, однако они уступают теплостойкости сплавам никель-фосфор, хром-кобальт, железо-титан и железо-хром, прошедшим термообработку.



- 1- ролик с покрытием;
- 2- контр-тело (колодка из стали 45);
- 3- пружина;
- 4-динамометр;
- 5-прижимной винт;
- 6- термопара

Рисунок 7.1 - Принципиальная схема машины трения МИ-1М для испытания износостойкости покрытий

Существуют и другие конструкции установок для испытания покрытий на износ. В лаборатории кафедры ФМ износостойкость в условиях абразивного износа может быть определена на установке ДЛ-1М.

## 7.2. Экспериментальная часть

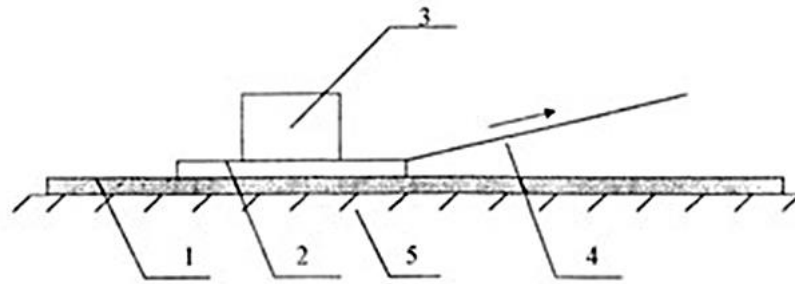
Для испытания покрытий на износостойкость используются пластинчатые образцы с испытуемой площадью не менее 4-5 см<sup>2</sup> с нанесенным гальваническим или горячим способом хромом, никелем, цинком. Образцы должны иметь равную поверхность и одинаковую площадь для соблюдения условия равенства одинакового удельного давления:

$$P_{уд} = P/S$$

где P - сила, с которой образец воздействует на контр-тело, Н

Несоблюдение этих условий может привести к значительным погрешностям эксперимента.

Испытания проводятся в условиях абразивного износа по схеме показанной на рисунке 7.2



1-наждачная бумага:

2- образец;

3- груз;

4-нить.

5-опорный стол

Рисунок 7 2 - Схема испытаний на абразивный износ

Образец прикрепляется к нити 4, с помощью которой, перемещается по поверхности износа. На образец помещается нагрузка массой 50-100 гр. В качестве контр-тела используется наждачная бумага зернистостью 10-20 мкм.

Износостойкость оценивается по потере массы, отнесённой к площади трущейся поверхности. Исходная и конечные массы определяются на аналитических весах с точностью до 0,0001гр. Результаты испытаний заносятся в таблицу 7.1

Таблица 7.1 - Результаты испытания покрытий на износ

Материал покрытия	Площадь поверхности износа, м <sup>2</sup>	Удельное давление P/s; Н/мм <sup>2</sup>	Путь износа, м	m <sub>0</sub> , г	m <sub>к</sub> , г	Δm, г	И, г/(м <sup>2</sup> *м)

В качестве критерия износостойкости служит величина И - удельное изменение массы, которое рассчитывается по формуле:

$$И = \Delta m / (S * l)$$

где Δm - изменение массы, г, .

S-площадь износа, м<sup>2</sup>;

l - длина пути износа, м

### **7.3/ Содержание отчета**

1. Краткие теоретические сведения.
2. Экспериментальная часть, содержания цель работы, методику выполнения и результаты в виде таблиц с необходимыми пояснениями
3. Выводы с объяснением полученных результатов

### **7.4/ Контрольные вопросы.**

1. Объясните, как влияет твердость покрытия на его износостойкость?
2. Будет ли влиять на износостойкость покрытия твердость материала подложки? Если да, то укажите в каких случаях.
3. Какую роль играет шероховатость поверхности покрытия? Охарактеризуйте, как будет меняться шероховатость в процессе износа
4. В каком соотношении находятся износостойкость и прочность сцепления покрытия с подложкой?
5. Какое влияние на износостойкость будет оказывать разогрев покрытия в процессе трения?
6. В каком соотношении находятся износостойкость покрытия и коэффициент трения?
7. Какие величины могут использоваться для характеристики износостойкости покрытий?

## Приложение А

Вредные производственные факторы, возникающие при различных технологических операциях по нанесению покрытий, и мероприятия по обеспечению безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.3.008.-75

Технологическая операция	Вредные факторы	Мероприятия по обеспечению безопасности труда
1	2	3
1. Подготовка поверхности: шлифовка и полировка абразивными материалами, дробе- и пеккоструйная обработка, галтовка, обезжиривание, химическое и электрохимическое травление и полирование, ультразвуковая очистка.	- запыленность металлической и абразивной пылью -горячие, мыльные, щелочные растворы -пары кислот, щелочей, органических растворителей -повышенные вибрации и шум -повышенный уровень ультра-звука, электромагнитных излучений	Применение общей вентиляции и местных отсосов, использование защитных экранов и средств акустической защиты, соблюдение правил электробезопасности. Использование средств индивидуальной защиты: хлопчатобумажной спецодежды, защитных рукавиц или резиновых перчаток, костюмов с кислотостойкой пропиткой, защитных очков, респираторов, противогазов.
2. Приготовление растворов и электролитов	Пары кислот, щелочей, пыль измельчаемых кусковых материалов и т.д.	То же
3. Нанесение покрытий: химическое и электрохимическое -горячим методом (окувание в растворы)  -с применение ВИЭ	Пары кислот, щелочей, цианидов, соединений Sn,Pb,Cu,Zn, аммиака, брызги электролитов, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , синильная кислота (золочение) Пары аммиака оксидов Sn,Pb,Zn; брызги горячего металла, металлическая пыль. Металлическая пыль, рентгеновское, световое, электромагнитное излучение.	То же  Применение теплостойких костюмов, защитных очков, шлемов, защитных экранов  Автоматизация процессов, вывод персонала из опасной зоны

## Приложение Б

Условные обозначения покрытий в чертежной документации в соответствии  
с ГОСТ 9.306-85

### Обозначение способов обработки основного металла

Способ обработки основного металла	Обозначение
Крацевание	крц
Штампование	шtm
Штрихование	штр
Вибронакатывание	вбр
Алмазная обработка	алм
Матирование	мт
Механическое полирование	мп
Химическое полирование	хп
Электрохимическое полирование	эп
«Снежное» травление	снж
Обработка «под жемчуг»	ж
Нанесение дугообразных линий	дл
Нанесение волосяных линий	вл
Пассивирование	Хим.Пас

### Обозначение способов получения покрытия

Катодное восстановление	-
Анодное восстановление	Ан
Химический	Хим
Горячий	Гор
Диффузионный	Диф
Термическое напыление	Пс ГОСТ 9.304-84
Конденсационный (вакуумный)	Кон
Контактный	Кт
Контактно-механический	Км
Катодное распыление	Кр
Вжигание	Вж
Эмалирование	Эм
Плакирование	Пк

### Обозначение материала покрытия, состоящего из металла и сплавов

Наименование материала покрытия	Обозначение
Алюминий	А
Висмут	Ви
Вольфрам	В
Железо	Ж
Золото	Зл
Индий	Ин
Иридий	Ир
Кадмий	Кд
Кобальт	Ко
Медь	М
Никель	Н

Олово	О
Палладий	Пд
Платина	Пл
Рений	Ре
Родий	Рд
Рутений	Ру
Свинец	С
Серебро	Ср
Сурьма	Су
Титан	Ти
Хром	Х
Цинк	Ц
Алюминий-цинк	А-Ц
Золото-серебро	Зл-Ср
Золото-серебро-медь	Зл-Ср-М
Золото-сурьма	Зл-Су
Золото-никель	Зл-Н
Золото-цинк-никель	Зл-Ц-Н
Золото-медь	Зл-М
Золото-медь-кадмий	Зл-М-Кд
Золото-кобальт	Зл-Ко
Золото-никель-кобальт	Зл-Н-Ко
Золото-платина	Зл-Пл
Золото-индий	Зл-Ин
Медь-олово (бронза)	М-О
Медь-олово-цинк (латунь)	М-О-Ц
Медь-цинк (латунь)	М-Ц
Медь-свинец-олово (бронза)	М-С-О
Никель-бор	Н-Б
Никель-вольфрам	Н-В
Никель-железо	Н-Ж
Никель-кадмий	Н-Кд
Никель-кобальт	Н-Ко
Никель-фосфор	Н-Ф
Никель-кобальт-вольфрам	Н-Ко-В
Никель-кобальт-фосфор	Н-Ко-Ф
Никель-хром-железо	Н-Х-Ж
Олово-висмут	О-Ви
Олово-кадмий	О-Кд
Олово-кобальт	О-Ко
Олово-никель	О-Н
Олово-свинец	О-С
Олово-цинк	О-Ц
Палладий-никель	Пд-Н
Серебро-медь	Ср-М
Серебро-сурьма	Ср-Су
Серебро-палладий	Ср-Пд
Кобальт-вольфрам	Ко-В
Кобальт-вольфрам-ванадий	Ко-В-Ва
Кобальт-марганец	Ко-Мц

Цинк-никель	Ц-Н
Цинк-титан	Ц-Ти
Кадмий-титан	Кд-Ти
Хром-ванадий	Х-Ва

**Обозначение неметаллических неорганических покрытий**

Наименование неметаллического неорганического покрытия	
Окисное	Окс
Фосфатное	Фос

**Обозначение функциональных свойств покрытий**

Наименование функциональных свойств покрытий	
Твердое	ТВ
Электроизоляционное	ЭИЗ
Электропроводное	Э

**Декоративные свойства покрытий**

Наименование свойства декоративного покрытия	Декоративный признак	Обозначение
Блеск	Зеркальное	зк
	Блестящее	б
	Полублестящее	пб
	Матовое	м
Шероховатость	Гладкое	гл
	Слегка шероховатое	сш
	Шероховатое	ш
	Весьма шероховатое	вш
Текстура	Кристаллическое	кр
	Слоистое	сл
Рисунчатость	рисунчатое	рсч
цвет	---	Наименование цвета

**Обозначение дополнительной обработки покрытия**

Наименование дополнительной обработки покрытия	Обозначение
Гидрофобизирование	гфж
Наполнение в воде	нв
Наполнение в растворе хроматов	нхр
Нанесение лакокрасочного покрытия	лкп
Оксидирование	окс
Оплавление	опл
Пропитка (лаком, клеем, эмульсией и др.)	прп
Пропитка маслом	прм
термообработка	т
Тонирование	тн
Фосфатирование	фос
Химическое окрашивание, в том числе	Наименование цвета

наполнение в растворе красителя	
Хроматирование	хр
Электрохимическое окрашивание	эл.Наименование цвета

### Обозначение никелевых и хромовых покрытий

Наименование покрытия	обозначение	
	Сокращ.	Полное
Никелевое, получаемое блестящим из электролита с блескообразующими добавками, содержащее более 0,04% серы		Нб
Никелевое матовое или полублестящее, содержащее менее 0,05% серы; относительное удлинение при испытании на растяжение не менее 8%		Нпб
Никелевое, содержащее 0,12-0,20% серы		Нс
Никелевое двухслойное (дуплекс)		Нпб.Нб
Никелевое трехслойное (триплекс)		Нпб.Нс.Нб
Никелевое двухслойное композиционное-никель-сил		Нб.Нз
Никелевое двухслойное композиционное		Нпб.Нз
Никелевое трехслойное композиционное		Нпб.Нс.Нз
Хромовое обычное		Х
Хромовое пористое		Хп
Хромовое микротрещинное		Хмт
Хромовое микропористое		Хмп
Хромовое «молочное»		Хмол
Хромовое двухслойное		Хмол.Х.тв

### Обозначение электролитов для получения покрытий

Основной металл	Покрытие	Основные компоненты	Обозначение
Алюминий и его сплавы	окисное	Хромовый ангидрид	хром
		Щавелевая кислота, соли титана	эмт
		Борная кислота, хромовый ангидрид	эмт
Магний и его сплавы	окисное	Бифторид аммония, фтористый калий	Фтор
		Бифторид аммония, двуххромовокислый калий или хромовый ангидрид	Фтор.хром
		Бифторид аммония, двуххромовокислый натрий, ортофосфорная кислота	Фтор.хром.фос



## Приложение В

Некоторые характеристики металлов, используемых для получения покрытий

Элемент		Валентность	С, г/А*ч	Плотность, г/см <sup>3</sup>	η, %
Ni		2	1,095	8,8	90-100
Cr		6	0,323	6,5	13-15
Zn	Из кислого электролита	2	1,22	7,0	90-100
	Из цианистого электролита				75-95
	Из цинкатного электролита				85-100
Pb		2	3,86	11,4	90-100
H		1	0,0376	0,09	-
Fe		3	0,694	7,8	-
Au		3	2,452	19,5	90
Au		1	7,357	19,5	90
In		3	1,429	7,31	-
O		2	0,298	1,43	-
Co		2	0,733	8,5	-
Cu	Из цианистого электролита	2	1,186	8,9	40-75
	Из кислого электролита				95-100
Cu		1	2,372	8,9	-
Sn		4	1,107	7,3	70-95
Sn		2	2,214	7,3	-
Ag		1	4,025	10,5	95-100
бронза					95-100
латунь					60-85

Примечания : 1) С-электрохимический эквивалент. 2) η- выход металла по току

**Приложение Г**  
Составы электролитов для осаждения некоторых металлов

Металл	Состав электролита, г/л	Режим осаждения
Ni	NiSO <sub>4</sub> 200-220 NaCl 8-10 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 25 - 30	I 1,4 T 50 - 60
Cr	CrO <sub>3</sub> 150 Серная к-та < 1.5	i 45- 100 T 55 - 65
Zn	ZnSO <sub>4</sub> 450 Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 20-50 ЛВ 45-84 1.5-2	i 1 - 3 T 18-20
Cu	CuHSO <sub>4</sub> 40-55 Натрий пирофосфорнокислый 200-240 KNO <sub>3</sub> - 10-15	i 0.5-1,5 T 50-60
Sn	Сульфат олова 25-30 Серная к-та 50-100 Фенол 4-8 Клей мездровый 2-3	i 1-2 T 15-25
Pb	Свинец борфтористоводородный 125-200 К-та борфтористоводородная 40-60 Клей мездровый 0.5-1.0	i 0,5-2,0 T 15-25
Fe	Железо хлористое 200-250 к-та соляная 2-3	i до 40 T 60-70

Примечание: плотность тока указана в А/дм<sup>2</sup>, температура электролита в °С

## Приложение Д

Состав растворов для определения пористости по методу наложения  
фильтровальной бумаги

№ раствора	Компоненты раствора	Концентрация, г/л	Вид покрытия	Время выдержки раствора, мин	Признак пористости	Основной металл, металл подслоя
1	Калий железосинеродистый Аммоний хлористый Натрий хлористый	10	Хромовое однослойное и многослойное (Ni-Cr, Cu-Ni-Cr)	10	Синие точки-поры до стали Красно-бурые точки-поры до меди Желтые точки-поры до никеля	Сталь, медь, никель
		30				Медь и её сплавы, никель
		60	Хромовое однослойное и многослойное (Ni-Cr)			
2	Калий железосинеродистый Натрий хлористый	10	Никелевое однослойное	5	Синие точки	Сталь
		20		10	Красно-бурые точки	Медь и её сплавы
			10	Никелевое многослойное (Cu-Ni, Ni-Cu-Ni)	Синие точки-поры до стали Красно-бурые точки-поры до меди Желтые точки-поры до никеля	Сталь, медь, никель
			20	Медное	Синие точки	Сталь
3	Калий железосинеродистый	10	оловянное	60	Синие точки	сталь
	Натрий хлористый	5				

## Приложение Е

Твердость металлических покрытий, нанесенных гальваническим методом

Металл	Твердость гальванических покрытий, Н/мм <sup>2</sup>	Твердость отожженного металла (НВ), Н/мм <sup>2</sup>
Цинк	500-600	<500
Кадмий	350-500	<300
Медь из кислых электролитов	600-800	<600
Медь из цианистых электролитов	600-1200	-
Олово	120-200	<160
Свинец	80-120	
Блестящий хром	7500-11000	2000-3500
Молочный хром	4500-6000	
Хром из тетрахроматного электролита	3500-4000	-
Никель	2000-5000	1000-3000
Химический никель	3200-6000	-
Химический никель после термообработки	6500-9000	-
Железо	4500-7000	<2000
Серебро	400-800	25*
Золото	400-600	18,5*
Палладий	2500-4000	400
Родий	7500-9000	1100
Рутений	8000-9000	2400
платина	2000-6000	400

\*-твердость по Бринеллю кгс/мм<sup>2</sup>

## Приложение 3

### Варианты заданий

#### Задание №1

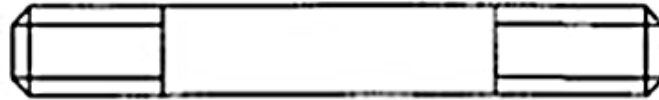
Привести чертеж вала, вращающегося в подшипниках скольжения. Для увеличения стойкости цапфы вала хромируют на длине 70мм.

Толщина слоя хрома 15 мкм.

Предварительная обработка поверхности - вибронакатывание.

#### Задание №2

Шпилька с двухсторонней резьбой цементуется. При этом, резьба для предохранения защищается слоем меди, наносимым гальваническим способом. Нарисовать эскиз шпильки с обозначением покрытия.



#### Задание №3

Гайку М24, работающую в условиях морского климата, защищают от коррозии путем нанесения кадмиевого покрытия. Привести чертеж гайки с необходимыми обозначениями.

Толщина покрытия 15 мкм.

#### Задание №4

Шайбу, предназначенную для работы в условиях умеренного климата, для защиты от коррозии подвергают цинкованию. Привести чертеж шайбы с необходимыми обозначениями.

Предварительная обработка основного металла-химического полирование.

Толщина слоя цинка 20мкм.

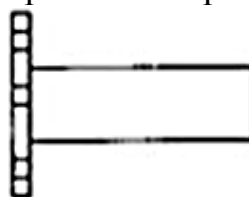
Дополнительная обработка цинка - хроматирование.

#### Задание №5

Контактная поверхность фланца трубопровода защищается от износа и коррозии путем нанесения покрытия из гальванического хрома. Привести чертеж фланца с необходимыми обозначениями.

Толщина слоя хрома 5мкм.

Предварительная обработка поверхности - крацевание.



#### Задание №6

Гайка М6 из латуни применяется для сборки электрических цепей. Для повышения служебных характеристик она подвергается оловянированию по всей поверхности. Привести чертеж гайки с необходимыми обозначениями.

Толщина покрытия 15 мкм.

#### Задание №7

Вентиль для водопроводного крана подвергается никелированию.

Привести чертеж вентилля с необходимыми обозначениями.

Толщина покрытия 15 мкм.

Предварительная обработка поверхности - химическая полировка.

#### Задание №8

Трубка сливного крана сосуда, который содержит серную кислоту с концентрацией 10%, защищена с внутренней поверхности свинцовым покрытием.

Привести чертеж с необходимыми обозначениями.

Толщина покрытия 500 мкм.

#### Задание №9

Внутренняя поверхность пресс-формы для изготовления резиновых уплотнительных втулок покрыта электролитическим хромом. Привести чертеж пресс-формы с необходимыми обозначениями.

Толщина покрытия 9 мкм.

Предварительная обработка поверхности штампа- электрохимическое полирование.

#### Задание №10

Деталь кузова автомобиля - алюминиевая крыша, с наружной стороны перед покраской подвергается фосфатированию. Привести чертеж с необходимыми обозначениями.