

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

**Кафедра ТФ и КМ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к практическим занятиям по дисциплине**

**ЗАЩИТНЫЕ И ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ**

<b>Направление подготовки</b>	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
<b>Квалификация(степень) выпуска</b>	бакалавр
<b>Форма обучения</b>	очная

Составитель  
Д.т.н., профессор Христофоров А.И

Владимир 2019 г.

Данные методические указания включают рекомендации по содержанию и выполнению практических работ по дисциплине «Защитные и декоративные покрытия» для студентов направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ВлГУ, рабочей программы дисциплины «Коррозия и защита материалов» Составитель д.т.н., профессор Христофоров А.И. - Владимир : 2019., 22 с.

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
22.03.01 «Материаловедение и  
технологии материалов»  
Протокол № 8 от 7.05.2019 г.

**Рукописный фонд кафедры  
ТФиКМ ВлГУ**

## Практические занятия

Практические занятия являются формой групповой аудиторной работы в небольших группах для освоения теоретических навыков с целью формирования основных общекультурных и профессиональных компетенций, необходимых для освоения основной образовательной программы (ПК- 4,5,11).

### Перечень тем практических занятий

Наименование лабораторной работы	Стр
Практическое занятие №1 Диффузионное насыщение	
Задание 1 Изучить процесс цементации низкоуглеродистой стали 2 ч	4
Задание 2 Изучить процесс нитроцементации низкоуглеродистой стали 2 ч	
Практическое занятие №2 Газотермическое покрытие 2 ч	10
Практическое занятие №3 Гальванические покрытия 2 ч	15
Практическое занятие №4 Коррозионностойкие покрытия пленкообразующими растворами 2 ч	18
Библиографический список	21

### Порядок оформления отчета по практическим занятиям

1. Титульный лист
2. Текст теоретической и исследовательской частей
3. Односторонняя печать, формат А4, шрифт 14 пт, расстояние между строками 1 интервал

## **Практическое занятие №1 Диффузионное насыщение**

**Цель выполнения практической работы:** изучить диффузионное насыщение поверхности защищаемых от коррозии металлов

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить теоретическую часть практического занятия.
2. Нарисовать схемы и рисунки влияния различных факторов на свойства изделия.
3. Рассказать принцип работы

### **Варианты индивидуальных или групповых заданий**

Практическое занятие оформляется и защищается каждым студентом индивидуально в полном объеме.

### **Содержание отчета по практической работе**

Оформить отчет 3-5 страниц текста формата А4, набранных через полуторный интервал кеглем 12. В отчете отразить: титульный лист, теоретическую часть, все схемы и рисунки

### ***Теоретическая часть***

Диффузионные покрытия образуются в результате химико-термической обработки металлов и сплавов. Химико-термическая обработка (ХТО) сочетает термическое и химическое воздействие на материал с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностных слоев. Диффузионные покрытия на поверхности изделия могут образовываться в результате насыщения материала различными элементами: неметаллами (С, N, В, Si, Р), металлами (Al, Cr, Zn, W и др.), а также совместным насыщением (С и Cr, В и Al, С и N, Cr и Al, Al и Si и др.). Выбор того или иного способа насыщения осуществляется в соответствии с видом производства, габаритами изделия, требуемой толщиной и т. д.

К основным технологическим методам получения диффузионных покрытий относятся:

1. Насыщение из порошковых смесей (порошковый метод).

Применяется в мелкосерийном и серийном производстве для цементации, алитирования, хромирования и т. д. Отличается простотой технологического процесса.

2. Прямоточный и циркуляционный методы диффузионного насыщения из газовых сред. Прямоточный метод применяется в крупносерийном и серийном производстве для цементации, нитроцементации и азотирования. Обеспечивает высокое качество диффузионного покрытия. Циркуляционный метод находит все большее применение при насыщении металлами и кремнием.

3. Диффузионное насыщение из расплавов металлов или солей, содержащих диффундирующий элемент. Жидкий метод позволяет сократить длительность

технологического процесса, однако не всегда обеспечивает качество поверхности и стабильность толщины диффузионного слоя. Применяется в серийном производстве.

4. Насыщение из паст и суспензий (шликерный способ). Эти методы не нашли широкого распространения, т. к. не всегда обеспечивают получение равномерной толщины покрытия и высокого качества диффузионного слоя. В основном они используются для местного упрочнения поверхности и при обработке крупногабаритных деталей.

5. Диффузионное насыщение с использованием вакуума. Это перспективный метод ХТО. Насыщение осуществляется путем испарения диффундирующего элемента при высоких температурах из сублимированной фазы. Обрабатываемые изделия находятся либо в контакте с порошковой смесью, содержащей диффундирующий элемент, либо на расстоянии от нее.

#### Процесс образования диффузионного покрытия включает четыре основные стадии

1. Реакции в насыщающей среде (образование активных атомов в насыщающей среде и их диффузия к поверхности обрабатываемого металла).

2. Транспортировка активных атомов к насыщаемой поверхности.

3. Реакция взаимодействия активных атомов с поверхностью, которая протекает в две стадии: а) адсорбция и б) хемсорбция.

4. Диффузия – перемещение адсорбированных атомов внутри металла. Процесс возможен только при растворимости диффундирующего элемента в обрабатываемом металле и достаточно высокой температуре, обеспечивающей необходимую энергию атомам. При этом приток активных атомов к поверхности насыщения должен превышать число атомов, отводимых от поверхности в глубь в результате диффузии.

Движущей силой диффузионного процесса является перепад концентраций или химических потенциалов в растущих фазах. В тех случаях, когда процесс протекает многостадийно, суммарная скорость определяется наиболее медленной стадией (лимитирующей). При ХТО в большинстве случаев скорость лимитируется диффузией в обрабатываемом материале. Все факторы, ускоряющие диффузию (температура, градиент концентраций, структурные дефекты и т. д.), сокращают длительность технологического процесса.

Развитие процесса диффузии приводит к возникновению на поверхности диффузионной зоны. Концентрация диффундирующего элемента уменьшается от поверхности в глубь изделия до значений исходного содержания в материале. Материал изделия под диффузионной зоной называют сердцевиной. Диффузионная зона может отличаться от сердцевины химическим, фазовым составами и структурой. Кратчайшее расстояние от поверхности диффузионной зоны до сердцевины называют **общей толщиной диффузионной зоны** (рисунке 1). Чаще пользуются **эффективной толщиной диффузионной зоны**. За эффективную толщину диффузионной зоны принимают расстояние от поверхности до участка, характеризуемого

некоторым значением **базового параметра**. Под базовым параметром диффузионного слоя понимают параметр материала, служащий в данном испытании критерием изменения качества в зависимости от расстояния от поверхности насыщения.

В качестве базового параметра принимают или концентрацию диффундирующего элемента, или свойство (твердость и др.), или структурный признак.

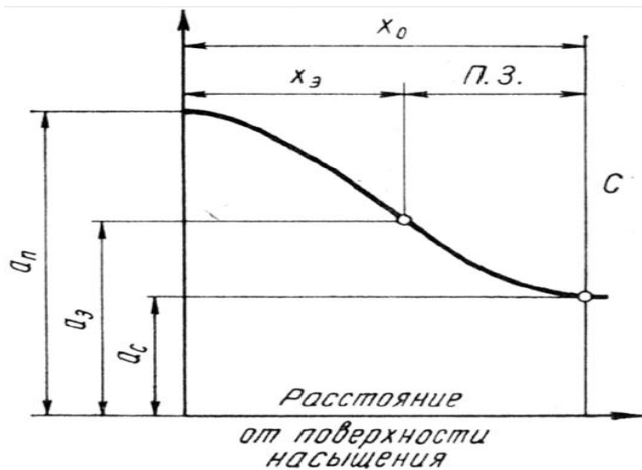


Рисунок 1. Схема диффузионного слоя:  
 ПЗ – переходная зона; С – сердцевина;  $X_0$  – общая толщина;  $X_э$  – эффективная толщина;  $a_n$  – значение базового параметра у поверхности;  $a_э$  – предельное значение базового параметра, установленного для  $X_э$ ;  $a_c$  – значение базового параметра для сердцевины

Прилегающая к сердцевине зона, протяженность которой равна разности общей и эффективной толщин, называется **переходной зоной диффузионной зоны**. Диффузионная зона может состоять из одного или нескольких диффузионных слоев. Под диффузионным слоем понимают область диффузионной зоны, которая отличается от смежных областей химическим, фазовым составами и структурой. Диффузионный слой характеризуется своей протяженностью и свойствами (твердостью, хрупкостью и т. п.).

### **Задание 1 Изучить процесс цементации низкоуглеродистой стали**

Цементация, осуществляемая в различных средах и исключительно под воздействием высоких температур, является очень распространенным методом химико-термической обработки металла, успешно применяемым уже не один десяток лет. Добиться желаемого эффекта после такого воздействия на металл можно лишь в том случае, если обработке подвергают низкоуглеродистые стали, в составе которых углерода содержится не более 0,2%. Для того чтобы выполнить цементацию, изделие нагревают до температуры 850–950 градусов Цельсия. В результате удается значительно упрочнить поверхностный слой детали, придать ему характеристики, сходные со свойствами [закаленной стали](#).

Процесс насыщения поверхностного слоя стали углеродом проходит очень медленно (0,1 мм за 60 минут). Наиболее распространенными являются газообразные и твердые карбюризаторы.

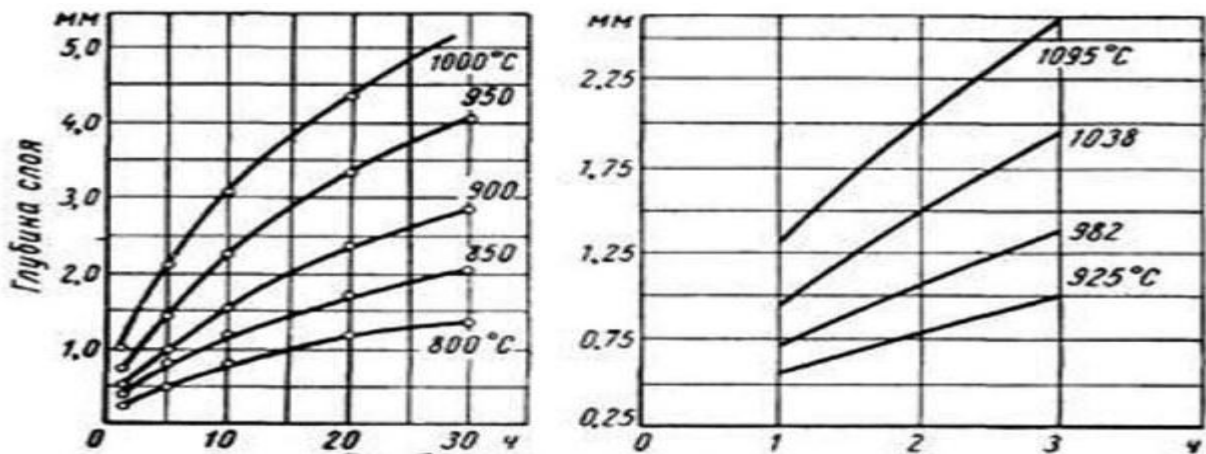
### **Проведение цементации стали в твердой среде**

Чаще всего для выполнения цементации металла в твердой среде используется смесь, состоящая из углекислого натрия, бария или кальция и березового или дубового древесного угля (70–90%). Перед этим все компоненты такой смеси измельчаются до фракции 3–10 мм и просеиваются, что необходимо для удаления слишком мелких частиц и пыли.

После того, как компоненты смеси для химико-термической обработки металла подготовлены, их можно смешать несколькими способами.

- Компоненты смеси (соль и уголь) тщательно перемешиваются в сухом состоянии. Если пренебречь этим требованием, то после окончания процесса цементации на поверхности изделия могут образоваться пятна.
- Соль растворяют в воде и полученным раствором поливают древесный уголь, после чего его просушивают до достижения влажности не более 7%.

Следует отметить, что второй способ предпочтительнее, так как позволяет получить смесь с более равномерным составом.

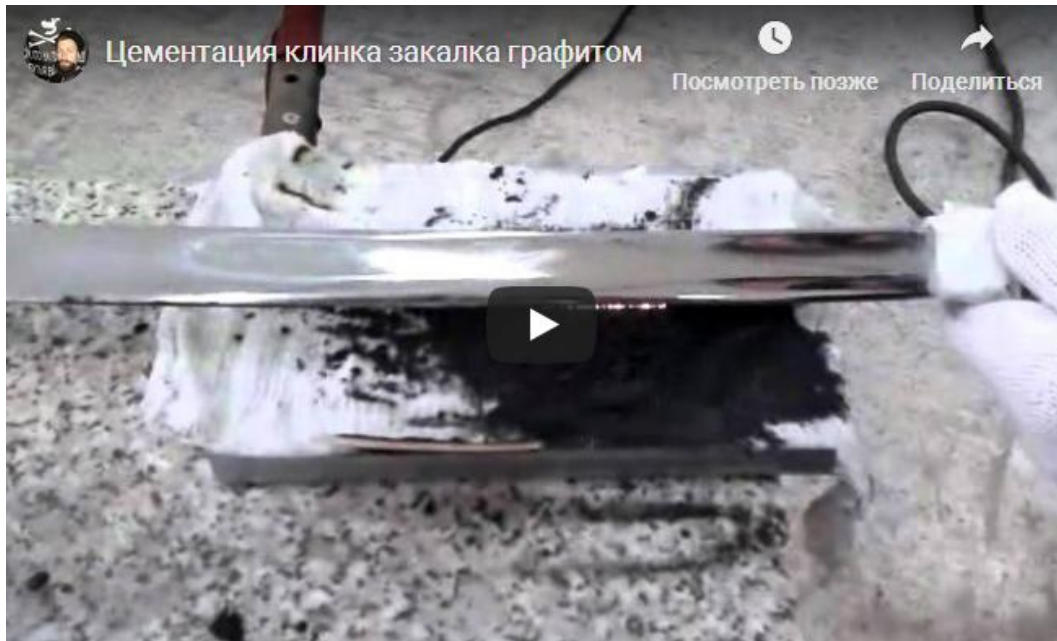


Зависимость толщины цементованного слоя от времени и температуры обработки

Как в производственных, так и в домашних условиях цементация изделий из стали выполняется в ящиках, в которые засыпан карбюризатор. Технологический процесс цементации изделий из металла выглядит следующим образом:

- Подготовленные для обработки детали укладывают в ящики, пересыпая слоями карбюризатора.
- Наполненные ящики, обмазанные огнеупорной глиной, помещают в предварительно прогретую печь.
- Выполняют так называемый сквозной прогрев ящиков с деталями, при котором они нагреваются до температуры 700–800 градусов Цельсия. О том, что ящики хорошо прогрелись, судят по цвету подовой плиты: на ней не должно быть темных пятен в местах соприкосновения с тарой.
- Температуру в печи поднимают до 900–950 градусов Цельсия. Именно при таких значениях проводят цементацию стали.

Высокая температура и специальная среда, в которой находится металл, способствуют тому, что происходит диффузия атомов активного углерода в кристаллическую решетку стали..



## ***Задание 2 Изучить процесс нитроцементации низкоуглеродистой стали***

По сравнению с цементацией, нитроцементация имеет ряд существенных преимуществ. При легировании аустенита азотом снижается температура  $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращения, что позволяет вести процесс насыщения при более низких температурах. Одновременно в присутствии азота резко возрастает диффузионная подвижность углерода в аустените (табл. 1). С повышением температуры эффект ускорения уменьшается (табл. 1).

**Таблица 1.** Коэффициенты диффузии C и N при нитроцементации (Б. Прженосил)

Температура, °C	Нитроцементация		Цементация	
	$\underline{D}_N \cdot 10^{-11}, \underline{m}^2/\underline{c}$	$\underline{D}_C \cdot 10^{-11}, \underline{m}^2/\underline{c}$	$\underline{D}_C \cdot 10^{-11}, \underline{m}^2/\underline{c}$	$\frac{\underline{D}_C \text{ нитроцементации}}{\underline{D}_C \text{ цементации}}$
850	0,3	0,38	0,17	2,24
900	0,6	0,75	0,38	1,97
950	1,08	1,17	0,87	1,38

Несмотря на значительно более низкую температуру насыщения, скорость роста диффузионного слоя при цементации (930—950 °C) и нитроцементации (840—860 °C) на толщину 0,5—0,8 мм практически одинакова. Производственный цикл при нитроцементации, по сравнению с цементацией, сокращается на 50—60 %.



Понижение температуры насыщения, без увеличения длительности процесса, позволяет снизить деформацию обрабатываемых деталей, повысить стойкость печного оборудования и уменьшить время на подстуживание перед закалкой.

Процесс нитроцементации получил широкое распространение в машиностроении для деталей, по условиям работы которых достаточна толщина упрочнённого слоя 0,2—1,0 мм. На ВАЗе 94,5 % деталей, упрочняемых химико-термической обработкой, подвергается нитроцементации. Например, нитроцементация широко применяется для упрочнения зубчатых колёс. В этом случае эффективная толщина слоя (до HV 600) для шестерён с модулем 1,5—3,5 мм принимается  $0,3 \pm 0,1$ , а при модуле 4,0—5,5 мм —  $0,4 \pm 0,1$ .

### **Оборудование**

Для газовой цементации и нитроцементации применяют практически одинаковое оборудование — шахтные, камерные или проходные печи.

### **Структура и свойства нитроцементированного слоя**

При оптимальных условиях насыщения структура нитроцементированного слоя должна состоять из мартенсита, небольшого количества карбонитридов и некоторого количества остаточного аустенита, структура сердцевины из троостосорбита, бейнита или малоуглеродистого мартенсита. В нитроцементированном слое нередко допускается повышенное количество остаточного аустенита, который обеспечивает хорошую прирабатываемость нешлифуемых автомобильных шестерён, что обеспечивает их бесшумную работу.

Чаще твёрдость слоя составляет 58—64 HRC.

### **Контрольные вопросы**

1. Диффузионные покрытия
2. Химические элементы, используемые для диффузионного покрытия
3. Требования к окружающей среде для получения диффузионных покрытий
4. Определение состава рациональной среды
5. Основные технологические методы получения диффузионных покрытий
6. Стадии процесса образования диффузионного покрытия
7. Схема диффузионного слоя:
8. Движущая сила диффузионного процесса
9. Развитие процесса диффузии
10. Перечень основных видов реакций при диффузионном насыщении

Практическое занятие № 2 Газотермическое покрытие

**Цель выполнения практического занятия:** изучить технологию газотермического

покрытия

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить теоретическую часть практического занятия
2. Нарисовать схемы и рисунки влияния различных факторов на свойства изделия.
3. Рассказать принцип работы

### **Варианты индивидуальных или групповых заданий**

Практическое занятие оформляется и защищается каждым студентом индивидуально в полном объеме.

### **Содержание отчета по работе**

Оформить отчет 3-5 страниц текста формата А4, набранных через полуторный интервал кеглем 12. В отчете отразить: титульный лист, теоретическую часть, все схемы и рисунки

### ***Теоретическая часть***

Сущность процессов газотермического нанесения покрытий заключается в образовании направленного потока дисперсных частиц напыляемого материала, обеспечивающего перенос их на поверхность обрабатываемого изделия и формирование слоя покрытия. Покрытие создается за счет адгезии, возникающей при соударении частиц на поверхности основания. Напыляемые частицы могут представлять собой порошок или могут быть получены расплавлением и газовым дроблением исходного материала – проволоки, стержней, пластифицированной массы и т. д. Для разгона частиц применяют различные высокотемпературные газовые среды. Нагрев напыляемого материала проводят для повышения пластичности и адгезионной способности частиц.

Газотермические покрытия применяются для многих целей, в том числе для защиты от коррозии

Основные технологии газотермического напыления покрытий : газопламенное напыление  
При газопламенном способе нанесения покрытий используется тепло, выделяющееся при сгорании горючих газов (ацетилена, пропан бутана, водорода, метана, природного газа и др.) в смеси с кислородом или сжатым воздухом (рисунке 1 ). Температура продуктов сгорания горючих газов достигает 2000 - □3000 °С. Наивысшим удельным тепловым потоком обладает ацетилено-кислородное пламя, поэтому оно наиболее распространено. Угол раскрытия струи 25° Порошок подают, как правило, вдоль оси факела пламени, вовнутрь его. Температура при использовании в качестве горючего газа ацетилена достигает 3200 °С, а скорость истечения 150 -□160 м/с. Попадая в струю, частицы порошка расплавляются или становятся

высокопластичными и приобретают скорость 20–80 м/с.

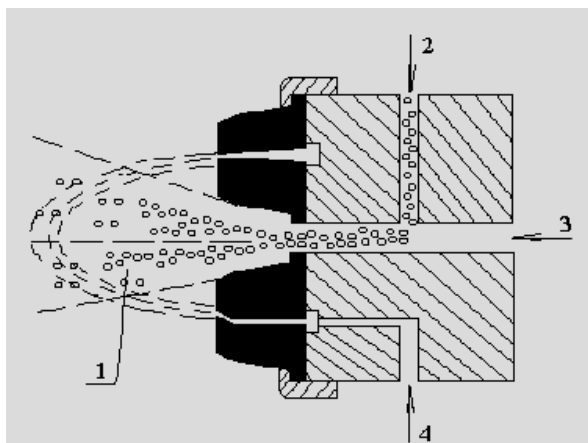


Рисунок 1. Схема процесса газопламенного нанесения покрытий из порошковых материалов: 1 – газовое пламя; 2 – подача порошка; 3 – подача сжатого воздуха; 4 – подвод горячей смеси газов

#### Преимущества:

- 1) возможность получения покрытий из большинства материалов, плавящихся при температуре до 3000 °С без разложения;
- 2) достаточно высокая производительность процесса (до 8–10 кг/ч порошков самофлюсующихся сплавов) при высоком коэффициенте использования материала (более 95 %);
- 3) относительно низкий уровень шума и световых излучений, позволяющий работать оператору без дополнительных средств защиты
- 4) легкость и простота обслуживания, невысокие стоимость и мобильность оборудования, что позволяет производить напыление на месте, без демонтажа изделий.

#### Недостатки:

- 1) ограничение напыляемых материалов по температуре плавления (не более 3000 °С);
- 2) недостаточная прочность сцепления покрытий с основой;
- 3) высокая пористость покрытий, препятствующая их применению в коррозионных средах без дополнительной обработки;
- 4) невысокий коэффициент использования энергии газопламенной струи на нагрев порошкового материала (2–12 %).

### **Плазменное напыление**

Плазменный способ является наиболее универсальным и технологичным процессом газотермического напыления. Нанесение покрытий заключается в формировании на поверхности детали (изделия, конструкции) слоя из частиц, обладающих определенным запасом тепловой и кинетической энергии, полученной в результате взаимодействия с плазменной струей. Температура плазменной струи достигает 5000–5500 °С, а скорость истечения 1000–1500 м/с. В плазменной струе частицы приобретают скорость 50–200 м/с. Скорость полета частиц зависит от их размера, плотности материала, силы тока дуги, природы и расхода плазмообразующего газа. Плазменные струи получают в специальных устройствах

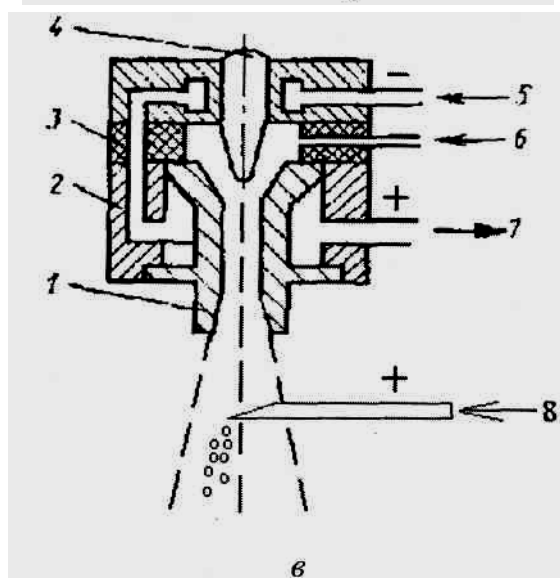
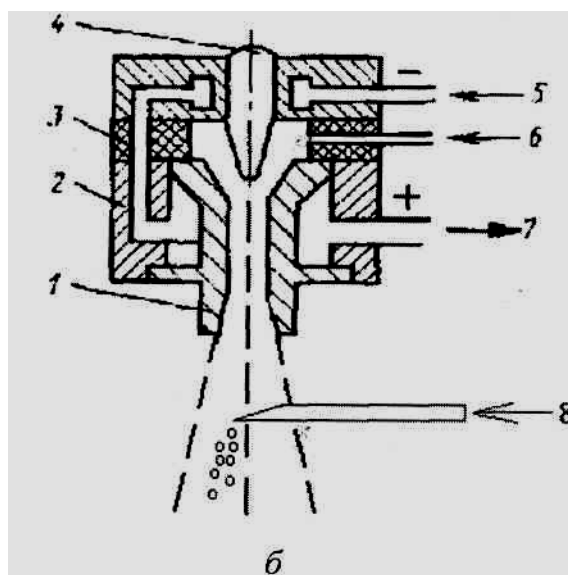
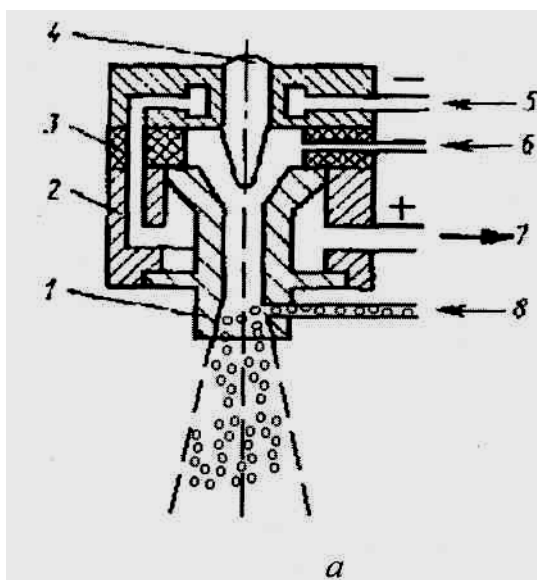


Рисунок 2. Схема плазменного напыления порошковых материалов (а); проволоки и прутков (б, в):

1 · водоохлаждаемое сопло (анод); 2 · корпус; 3 · изолятор; 4 · электрод (катод); 5, 7 · подвод и отвод воды; 6 · подвод плазмообразующего газа; 8 ·

Преимуществами способа являются:

1) возможность получения покрытий из большинства материалов, плавящихся без разложения, без ограничения по температуре плавления;

2) возможность использования для образования струи дуговой плазмы газов различного рода: инертных (аргона, гелия), восстановительных (водорода) и окислительных (воздуха, азота), также аммиака, природного газа, водяного пара, что в сочетании с применением камер с защитной средой (вакуумом) или защитных насадок позволяет регулировать свойства среды, в которой нагреваются и движутся частицы порошка;

3) возможность гибкого регулирования электрического и газового режимов работы плазматрона, в том числе в процессе нанесения покрытия, что позволяет управлять энергетическими характеристиками напыляемых частиц и условиями формирования покрытия;

4) достаточно высокая производительность процесса: 3□ - 20 кг/ч; для плазматронов с электрической мощностью 30 - □40 кВт и 50 - □80 кг/ч для плазматронов мощностью 150□ - 200 кВт;

5) довольно высокий коэффициент использования порошка (50...70 %), зависящий в основном от вида напыляемого материала.

Недостатками плазменно-дугового способа нанесения покрытий в открытой атмосфере являются:

- 1) низкая для ряда условий эксплуатации прочность сцепления покрытий с подложкой;
- 2) высокая пористость получаемых покрытий, препятствующая их применению в коррозионных средах без дополнительной обработки;
- 3) невысокий коэффициент полезного использования энергии плазменной струи на нагрев порошка (2...8 %);
- 4) высокий уровень шума (110 - ...130 дБ) и излучения;
- 5) относительно высокая стоимость оборудования и его стационарность.

**Задание 1. Изучить промышленное нанесение коррозионностойких покрытий на металлоконструкции.**

Сущность процесса состоит в нанесении высокоэффективных коррозионностойких алюминиевых, цинковых, алюминиево-цинковых покрытий с использованием малогабаритных горелок (пистолетов, плазмотронов), обеспечивающих создание направленных высокоскоростных и высокотемпературных газовых потоков, в которые подаются порошковые или проволочные исходные материалы. Осаждаемые на поверхности стальных металлоизделий покрытия формируются из расплавленных и затвердевших частиц напыляемого материала.

Цель процесса Изготовление металлоизделий, находящихся в различных условиях эксплуатации: воздушной, промышленной, морской атмосферах; морской, технологической холодной или горячей воде; минеральном масле; грунтовых водах при повышенной температуре; нефтепродуктах, содержащих сернистые соединения; растворах уксусной, винной, лимонной кислот и др. органических продуктах и т.д., с коррозионностойким покрытием, гарантирующим защиту от коррозии в течение 30-50 лет.

**Оборудование для напыления** Различные установки для газопламенного, электродугового и плазменного напыления, адаптированные к условиям нанесения алюминиевых, цинковых и алюминиево-цинковых порошковых или проволочных материалов. Минимальная производительность оборудования, например, при напылении алюминиевого порошка - 5 кг/час, что при оптимальной толщине покрытия 0,15 мм соответствует примерно 20 м<sup>2</sup>/час обработанной площади.



Рисунок 3. Установка газопламенного напыления Plakart FS-

**Технологический процесс** Проводится при атмосферном давлении (в закрытом помещении или на монтаже) и состоит из операций предварительной очистки (любым известным методом), абразивно-струйной обработки и непосредственно - нанесения покрытия путём взаимного перемещения ручной или механизированной горелки (пистолета, плазмотрона) относительно изделия. В качестве вспомогательного материала для формирования высокотемпературных струй используется сжатый воздух, ацетилен, кислород, пропан-бутан, природный газ.

### **Контрольные вопросы**

1. Сущность процессов покрытий
2. Схема процесса газопламенного нанесения покрытий из порошковых материалов (преимущества, недостатки).
3. Схема плазменного напыления порошковых материалов (*a*); проволоки и прутков (*б, в*) (преимущества, недостатки).
4. Промышленное нанесение коррозионностойких покрытий на металлоконструкции: сущность процесса (металлы), цель процесса
5. Оборудование для напыления
6. Технологический процесс

**Цель выполнения работы:** изучить технологию гальванических покрытий

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить теоретическую часть практического занятия
2. Нарисовать схемы и рисунки влияния различных факторов на свойства изделия.
3. Рассказать принцип работы

### **Варианты индивидуальных или групповых заданий**

Практическое занятие оформляется и защищается каждым студентом индивидуально в полном объеме.

### **Содержание отчета по работе**

Оформить отчет 3-5 страниц текста формата А4, набранных через полуторный интервал кеглем 12. В отчете отразить: титульный лист, теоретическую часть, все схемы и рисунки

### ***Теоретическая часть***

Среди большого разнообразия методов нанесения покрытий одним из самых распространенных является электрохимический (электролитический или гальванический) способ осаждения металлов и сплавов. Широкое использование гальванического способа нанесения покрытий на практике обусловлено:

- сравнительной простотой процесса электроосаждения;
- низкой себестоимостью;
- доступностью контроля и автоматизации;
- практически неограниченными возможностями варьирования свойств покрытий, толщины и состава осаждаемого сплава;
- возможностью удаления и реставрации покрытий;
- возможностью точечного или местного нанесения и наращивания слоя определенной толщины, осаждения покрытий на детали различной конфигурации, а также получением композиционных, аморфных, нанокристаллических покрытий.

Электрохимическим способом можно получить покрытия сплавами, которые нельзя получить другими способами (металлургическим или термическим путем). При нанесении покрытий из металлов с высокой температурой плавления (W, Cr, Mo и др.), а также сплавов (вольфрам-железо, вольфрам-никель, вольфрам-кобальт, вольфрам-хром) гальванический метод находится вне конкуренции. Одной из наиболее важных задач в области электроосаждения металлов является разработка условий получения износостойких, жаропрочных, коррозионно-стойких покрытий и широкое использование этих свойств при изготовлении различного рода деталей машин. Физико-механические свойства электролитических осадков

являются важнейшей характеристикой качества покрытий и определяют их применимость в той или иной области техники

Свойства электролитических осадков определяются не только природой осаждаемого металла, но и наличием в них разнообразных включений чужеродных частиц, а также степенью необратимости электродного процесса (величиной перенапряжения) при восстановлении ионов металлов. Большие возможности открываются при совместном разряде ионов различных металлов: получение покрытий с такими свойствами, которые нельзя создать другими способами. При электролитическом осаждении удается получить сплавы, которые методами кристаллизации из расплавленного состояния не образуются. Сплавы, полученные электролитическим путем, являются неравновесными и резко отличаются по своему строению от сплавов, полученных термическим способом. Поэтому равновесную диаграмму состояния нельзя механически переносить на сплавы, полученные электролизом, так как в зависимости от условий получения (плотности тока, температуры, состава электролита и других) сплавы различаются как по структуре, так и по свойствам.

Особые физико-механические свойства осадкам придают различные металлические и неметаллические включения в покрытие: карбиды, оксиды, гидроксиды, вода, галогены, водород, поверхностно-активные вещества и другие. Изменяя параметры процесса электролиза можно получить покрытия самых разнообразных свойств и структуры: двухслойные, трехслойные и даже семислойные (рисунок 1).

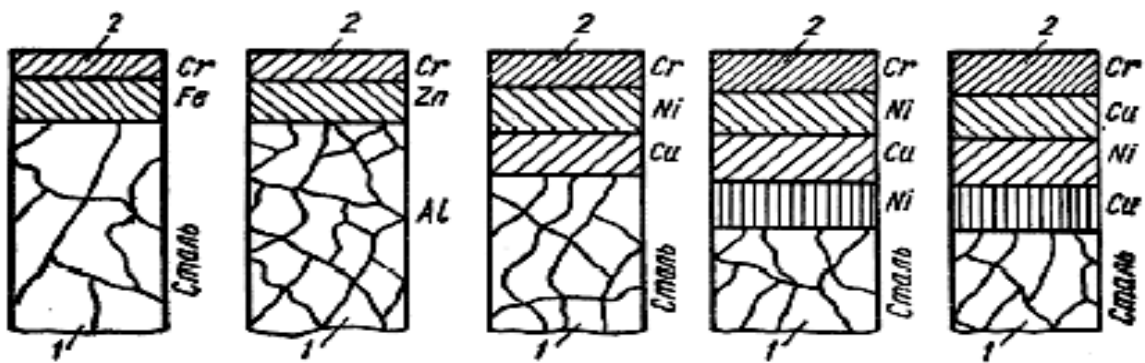


Рис. 4.1. Некоторые примеры использования полиметаллических слоистых комбинированных электролитических покрытий:

1 – основной металл; 2 – комбинированное электролитическое покрытие

Коррозионно-стойкие покрытия – медь, хром, свинец, никель, серебро и другие являются более электроположительными в ряду напряжений по отношению к стали. При наличии сквозных пор в покрытии возникает ток такого направления, при котором усиливается коррозия основного металла (стали). При определенных обстоятельствах это приводит к от-

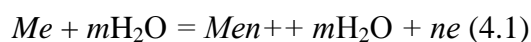


слаиванию покрытия. Чрезвычайно важно, чтобы в коррозионно-стойких покрытиях было минимальное число пор или поры отсутствовали. Протекторные покрытия (цинковые, кадмиевые, в некоторых случаях алюминиевые, оловянные и др.) на стали защищают металл от коррозии и при наличии пор в покрытии.

Электродные потенциалы. При погружении металлического электрода в раствор, содержащий ионы металла, возможны процессы перехода ионов металла с поверхности металла в раствор и обратный процесс  $\square$  переход ионов металла, находящихся в растворе, на поверхность электрода. Таким образом, на границе раздела «металл  $\square$  раствор» протекают электрохимические реакции, в результате которых поверхность электрода приобретает заряд. Потенциал, соответствующий этому состоянию, называется *равновесным*.

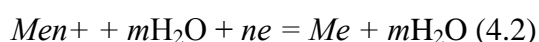
Если при взаимодействии металла с электролитом (водным или другим раствором) фазовую границу пересекают только ионы металла, то протекают два сопряженных процесса:

1) переход этих ионов из металла в раствор с образованием сольватированных (в водных растворах  $\square$  гидратированных) ионов (окислительный или анодный процесс):

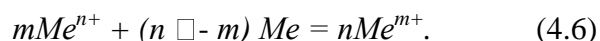


Скорость этого процесса, измеряемая числом ионов, переходящих из фазы в фазу через единицу поверхности в единицу времени, может быть выражена через соответствующую плотность тока  $i_1$ ;

2) разряд этих ионов из раствора с выделением их на поверхности металла в виде нейтральных атомов, входящих в состав кристаллической решетки металла (восстановительный или катодный процесс):



В расплавленных солях в отличие от водных и неводных растворов, помимо равновесного обмена ионами, наблюдается также равновесие в результате восстановления металлом ионов высшей валентности  $Me^{n+}$  до низшей валентности  $Me^{m+}$  (растворение металлов в расплавах своих солей):



## Контрольные вопросы

1. Функциональное назначение гальванических покрытий.
2. Покрытия сплавами
3. Разработка условий получения покрытий со специальными свойствами.
4. Свойства электролитических осадков.

5. Особые физико-механические свойства покрытий
6. Особенности коррозионно-стойких покрытия – меди, хрома, свинца, никеля, серебра.
7. Электродные потенциалы.
8. Процессы взаимодействия металла с электролитом.

Практическое занятие № 4 Коррозионностойкие покрытия пленкообразующими растворами

**Цель выполнения работы:** изучить технологию нанесения и составы коррозионно-стойких покрытий пленкообразующими растворами

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить теоретическую часть практического занятия .
2. Нарисовать схемы и рисунки влияния различных факторов на свойства изделия.
3. Рассказать принцип работы

#### **Варианты индивидуальных или групповых заданий**

Практическое занятие оформляется и защищается каждым студентом индивидуально в полном объеме.

#### **Содержание отчета по лабораторной работе**

Оформить отчет 3-5 страниц текста формата А4, набранных через полуторный интервал кеглем 12. В отчете отразить: титульный лист, теоретическую часть, все схемы и рисунки

#### ***Теоретическая часть***

Эффективным методом защиты от воздействия окружающей среды деталей, изделий, конструкций являются пленки из полимерных смол: перхлорвинил, полиизобутилен, полистирол, фторопласты, эпоксидные смолы, резиной (гуммирование) и др. Их наносят из расплава или суспензии кистью, окутанием или газопламенным напылением. Эти покрытия химически стойки к соляной, плавиковой, уксусной кислотам любой концентрации до 65 °С, к 50%-й серной кислоте, 75%-й фосфорной, растворам щелочей, солей. Концентрированные кислоты (азотная, серная), перекиси разрушают резину и эбонит. Гуммированию могут быть подвергнуты различная химическая аппаратура, цистерны, центрифуги, детали (вентили, трубы, колена и др.).

Эмалевые покрытия. Для защиты металлов и сплавов от высокотемпературной корро-

зии в агрессивных средах (горячие газы, расплавы). используются как металлы, так и неметаллы (кремний, бор), оксиды, композиции на основе оксидов, силикаты, эмали, ситаллы, керметы (керамико-металлические композиции). Наиболее распространены эмалевые покрытия, применяемые для защиты черных металлов, алюминия и его сплавов. Это обусловлено простотой их получения, высокой химической стойкостью и относительно невысокой стоимостью.

#### Лакокрасочные покрытия

Из неметаллических покрытий наибольшее применение находят лакокрасочные. Ассортимент лаков и красок в настоящее время насчитывает более 1000 наименований. К лакокрасочным материалам относятся олифы, краски, эмали, грунты, шпаклевки. Для получения химически стойких лакокрасочных покрытий применяют эпоксидные, полихлорвиниловые, фенолформальдегидные, фуриловые и другие смолы. Для защиты металлических поверхностей от воздействия кислот, щелочей при температуре до 100 °С используются эпоксидные эмали. Лакокрасочные покрытия на основе фуриловых смол устойчивы в растворах кислот, щелочей, во многих органических растворителях (ацетон, толуол и др.) и обладают повышенной теплостойкостью. В качестве термостойких применяют лакокрасочные покрытия на основе кремнийорганических смол, которые выдерживают нагрев до 250–300 °С.

Процесс нанесения покрытий состоит из нескольких стадий:

- 1) подготовка поверхности к покрытию;
- 2) нанесение грунта, который необходим для создания прочного сцепления с основой и придания покрытию антикоррозионных свойств;
- 3) нанесение промежуточного слоя с целью выравнивания поверхности;
- 4) нанесение лакокрасочного покрытия (одного слоя или нескольких).

Современные методы нанесения лакокрасочных покрытий разнообразны: с помощью кисти, вальцеванием, распылением, окунанием, электростатическими и электрофоретическими методами. В настоящее время широко применяют лакокрасочные покрытия и полимерные покрытия с внедренными в них металлическими частицами, при этом не только изолируется поверхность металла от агрессивной среды, но и реализуется электрохимический механизм защиты.

Холодное цинкование □ метод долговременной защиты стали от коррозии, заключающийся в использовании лакокрасочных композиций, содержащих в качестве пигмента высокодисперсный порошок цинка. Композиции наносят на поверхность изделий традиционным лакокрасочным методом, но в отличие от обычной краски покрытие с высоким (83–97 %) содержанием цинка осуществляет не только механическую защиту от агрессивной окружающей среды, но и эффективную протекторную (катодную) защиту стали от коррозии. В

отличие от гальванических цинковых покрытий, горячеоцинкованных и металлизированных при холодном цинковании образующиеся при эксплуатации продукты коррозии металлического порошка цинка создают дополнительную барьерную защиту, что увеличивает сроки службы цинкнаполненных покрытий.

В настоящее время этим способом защищают от коррозии автомобильные и железнодорожные мосты (композиция ЦВЭС), дорожные ограждения (система ЦИНОЛ + АЛПОЛ), опоры линий электропередач (покрытиями ЦВЭС и ЦИНОЛ)

### **Контрольные вопросы**

1. Полимерные покрытия
2. Эмалевые покрытия
3. Лакокрасочные покрытия
4. Процесс нанесения покрытий
5. Холодное цинкование

## Библиографический список

1. Защитные покрытия : учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с. ISBN 978-5-7996-1101-9
2. Покрытия различного назначения для металлических материалов: Учебное пособие / А.А.Ильин, Г.Б.Строганов, С.В.Скворцова - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 144 с: ил.; 60x90 1/16. - (Совр. технол.: Магистратура), (п) ISBN 978-5-98281-355-8, 522 экз.  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=539831>
3. Теория и технология формирования неорганических покрытий: Монография / Г.В. Бобров, А.А. Ильин, В.С. Спектор. – М.: Альфа-М, 2014. – 928 с: ил.; 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-98281-407-4, 500 экз.  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=508082>
4. Декоративная обработка поверхности металлов: анодные защитные и декоративные покрытия на поверхности легких конструкционных сплавов [Электронный ресурс] / А.Г. Ракоч, И.В. Бардин, В.Л. Ковалев - М. : МИСиС, 2012. -  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876235602.html>
5. Вакуумная ионно-плазменная обработка: Учебное пособие / А. А. Ильин, В.В. Плихунов, Л.М.: Негров и др. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 160 с: ил.; 60x90 1/16. - (Современные технологии: Магистратура), (п) ISBN 978-5-98281-366-4, 1000 экз.  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=508814>
6. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1 [Электронный ресурс, защитные и декоративные покрытия] / В.И. Ануриев - М.: Машиностроение, 2015. -  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785990608771.html>
7. Гамбург, Ю.Д. Теория и практика электроосаждения металлов [Электронный ресурс] /Ю.Д. Гамбург, Дж. Зангари ; пер. с англ.Эл. изд. Электрон, текстовые дан. (1 файл pdf :441 с).—М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.—Систем, требования: Adobe Reader XI : экран 10". - ISBN 978-5-9963-2901-  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=507257>
8. Коррозия и защита материалов: Учебное пособие / А.С. Неверов, ДА. Родченко, МИ Цырлин. -М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 224 с: 60x90 1/16. - (Высшее образование) (обложка) ISBN 978-5-91134-733-8  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=507257>
9. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: Учебное пособие / М.Г. Киселев и др. - М: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. - 389 с: ил.; 60x90 1/16. - (ВО: Магистратура). (п) ISBN 978-5-16-009430-4, 600 экз.

<http://znanium.com/bookread2.php?book=508814>

10. Березюк, В.Г. Специальные технологии художественной обработки материалов (по литейным материалам) [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / В. Г. Березюк [и др.]. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. - 168 с. - ISBN 978-5-7638-2928-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=511170>
11. ГОСТ 5272-68. ГСЗКС. Коррозия металлов. Термины.
12. Лабораторный практикум по коррозии и защите металлов. Под ред. Т.Е. Цупак. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2001. 172 с.
13. Балабан-Ирменин Ю.В.. Липовских В.М.. Рубашов А.М. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. М.: Энергоатомиздат. 244 с.
14. Фрейман Л.И.. Об оценке вероятности питтинговой коррозии нержавеющей сталей по данным электрохимических испытаний. Защита металлов. 1987. т. 23. № 2, С. 232-239.
15. Локальная коррозия металла теплоэнергетического оборудования. Под ред. В.П. Горбатовых. М.: Энергоатомиздат, 1992. 272 с.
16. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов (локальные коррозионные процессы). М.: Металлургия. 1970. 448 с.
17. Коррозия и защита химической аппаратуры. Под ред. А.М. Сухотина. Л.: Химия. 1970. т.