

ЛЕНИНГРАДСКИЙ  
ОРДЕНА ЛЕНИНА КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

---

КАФЕДРА ХИМИИ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ  
ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ  
ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ**

Методические указания  
к лабораторной работе

Ленинград  
1988

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

---

Кафедра химии

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ  
ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ

Методические указания  
к лабораторной работе

Ленинград  
1988

Методические указания содержат описание видов защитных покрытий на металлах, применяющихся в судостроении. Приведены способы подготовки поверхностей металлов и нанесения защитных покрытий. Даны указания к решению типовых задач, задачи и вопросы для самостоятельной работы. Предложены эксперименты для самостоятельного выполнения.

Указания предназначены для студентов вечернего факультета Ленинградского кораблестроительного института всех специальностей.

МЕЗЕНЦЕВА

Вера Игоревна

НИКАНДРОВА

Галина Арсеньевна

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ

Методические указания  
к лабораторной работе

© Изд. ЛКИ,  
1988

Ответственный редактор канд.хим.наук, доц. К.К.Висоцкис  
Литературный редактор Т.Б.Симоненко

Зак.Р-16, Тир.500. Уч.-изд.л.-1.0. 2.02.1988.  
Бесплатно. Тип.ЛКИ, Лощманская, 10.

Среди способов защиты от коррозии судов и судовых конструкций, наряду с электрохимическими методами, важное значение имеют защитные покрытия.

Для подводной части корпуса, района ватерлинии, надстройки или для трубопроводов питьевой, забортной, топливных систем в зависимости от назначения и условий эксплуатации выбирают оптимальный вариант защитного покрытия.

Необходимо иметь в виду, что любое, даже самое лучшее покрытие, обеспечивает защитные функции лишь при хорошем сцеплении с поверхностью металла. Поэтому важно также правильно выбрать и способ обработки поверхности, чтобы она перед нанесением покрытия имела необходимую степень чистоты и шероховатости.

Применительно к условиям отечественного судостроения и судоремонта ниже рассмотрены основные характеристики защитных покрытий различного типа: состав, принципы действия, способы нанесения, а также срок службы.

## I. СОСТАВ И СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

### I.1. Лакокрасочные покрытия

Из неметаллических покрытий наибольшее применение для защиты металлов от коррозии находят лакокрасочные покрытия (ЛКП). Ассортимент ЛКП включает в себя более двух тысяч наименований (лаки, краски, эмали и др.).

Наряду с защитой от коррозии ЛКП выполняют много других функций, например:

- используются для декоративной отделки;
- обеспечивают электроизоляцию или наоборот, электрическое соединение узлов конструкции;
- защищают от обрастания микроорганизмами;
- предохраняют от перегрева солнечными лучами;

- защищает от обледенения.

Основой любого ЛКП, независимо от его назначения, служат пленкообразующие вещества. Среди них наибольшее применение находят синтетические и природные смолы, растительные масла, эфиры, целлюлозы. Пленкообразующие вещества вводят в состав ЛКП в жидком виде.

Для растворения пленкообразующих веществ используют спирты, бензол, ацетон, кислоты и др. После испарения растворителя из ЛКП на поверхности защищаемого металла образуется пленка. Эластичность пленки достигается введением в состав ЛКП пластификаторов, например, касторового масла, дибутилфталата.

Для придания покрытию определенного цвета, а также повышения его механической прочности и термостойкости в состав ЛКП вводят пигменты. Пигменты - это тонкораздробленные (0,5-5 мкм) оксиды, соли или порошки металлов, например: Al (пудра),  $Cr_2O_3$ ,  $Pb_3O_4$  и др.

Ускорение процесса высыхания красок достигается использованием катализаторов - сиккативов.

Для снижения стоимости ЛКП, повышения его коррозионной стойкости в состав ЛКП вводят также наполнители: тальк, асбестовую пыль, слюду и др.

Состав ЛКП варьируется в зависимости от его назначения в основном за счет пленкообразующего вещества и пигмента. Так, в противообрастающих красках пигмент содержит соединения меди, ртути, мышьяка, которые токсичны по отношению к обрастателям.

Высокая твердая пленка ЛКП служит барьером, препятствующим доступу окислителя из коррозионной среды к поверхности металла. Поэтому хорошее покрытие должно быть сплошным. Этому требованию удовлетворяют только многослойные покрытия, так как при нанесении покрытия слоями происходит закупорка пор, отдельные непокрытые места перекрываются другими слоями, и покрытие в целом становится малопроницаемым.

Однако существует ряд ЛКП, сохраняющих свои защитные свойства и после повреждения целостности покрытия. Эти ЛКП содержат в своем составе пигменты - ингибиторы коррозии. Наиболее эффективными из них являются свинцовый сурик, хромат цинка. Эти ЛКП используются для создания первого слоя покрытия, или грунта. Грунт обеспечивает прочную адгезию (сцеп-

ление) металла с последующими слоями краски и, в значительной степени, - антикоррозионную защиту за счет пигментов - ингибиторов.

Процесс нанесения лакокрасочного покрытия включает в себя следующие операции (рис.1):

1) подготовка поверхности металла, т.е. механическая очистка от ржавчины, пыли, обезжиривание, травление;

2) нанесение первого слоя, или грунта (10-20 мкм);

3) нанесение промежуточного слоя с целью выравнивания поверхности;

4) нанесение последующих слоев ЛКП - третьего, четвертого и т.д.

Каждый наносимый слой покрытия подвергается сушке, длительность которой определяется маркой ЛКП и зависит от температуры и влажности воздуха.

ЛКП наносят с помощью кисти, валика, методом распыления, электрофореза, окунаем. Процесс нанесения ЛКП трудоемок, поэтому для окраски больших площадей (корпуса судна, палубы) используются различные механизированные устройства, например, распылитель типа "Факел".

Несмотря на широкое распространение, ЛКП имеет ряд существенных недостатков, которые создают известные трудности при их применении. Основными из них являются следующие:

1) небольшой срок службы (1,5-3 года). ЛКП корпуса судна приходится возобновлять каждые 1,5-2 года;

2) токсичность и огнеопасность из-за применения растворителей, поэтому при работе с ЛКП необходимо уделять внимание выполнению правил техники безопасности и охраны окружающей среды;

3) зависимость качества покрытия от метеорологических условий;

4) требование тщательной очистки поверхности не всегда выполнимо, особенно для узких и труднодоступных мест, замкнутых объемов (цистерн, танков, отсеков двойного дна).

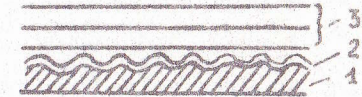


Рис.1. Схема строения ЛКП:  
1 - металл; 2 - слой грунта;  
3 - слой ЛКП

## 1.2. Металлические покрытия

### Классификация металлических покрытий по принципу защитного действия

Сущность защиты от коррозии с помощью металлических покрытий заключается в изоляции нестойкой металлической поверхности тонким слоем более стойкого к коррозии металла.

По способу защитного действия и электрохимическим свойствам металлические покрытия делятся на анодные и катодные.

**Анодное покрытие** — электродный потенциал металла анодного покрытия  $E_{a.п}$  в данной среде меньше потенциала защищаемого металла  $E_{me}$ :  $E_{a.п} < E_{me}$ . В качестве анодного покрытия для стали используют такие металлы, как цинк, кадмий и др. На рис.2 представлена схема растворения цинкового анодного покрытия на железе. При стандартных условиях ( $t = 25^\circ\text{C}$  и  $P = 101,3 \text{ кПа}$ )  $E_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}}^0 = -0,76 \text{ В}$ ;  $E_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}}^0 = -0,44 \text{ В}$ , т.е.  $E_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}}^0 < E_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}}^0$ .

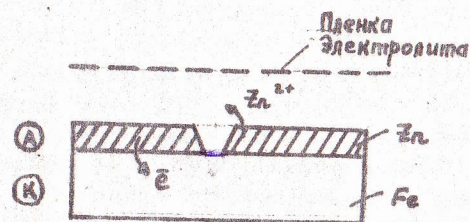
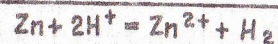
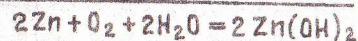
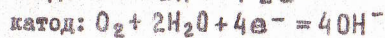


Рис.2. Коррозия железа при анодном покрытии

Если электролит, находящийся в порах и трещинах анодного покрытия, имеет кислую среду ( $\text{pH} < 7$ ), то в возникшем гальваническом элементе протекают следующие реакции:



Если  $\text{pH} \geq 7$  (например, морская вода), то окислителем является кислород и происходят следующие процессы:



Анодное покрытие защищает металл, главным образом, электрохимически, поэтому степень пористости анодного покрытия не играет существенной роли.

**Катодное покрытие** — электродный потенциал металла катодного покрытия  $E_{к.п}$  в данной среде больше потенциала защищаемого металла  $E_{me}$ :  $E_{к.п} > E_{me}$ .

Для стали катодными покрытиями являются медь, никель, серебро, золото. Рассмотрим процессы, протекающие при коррозии железа, покрытого слоем никеля (рис.3).

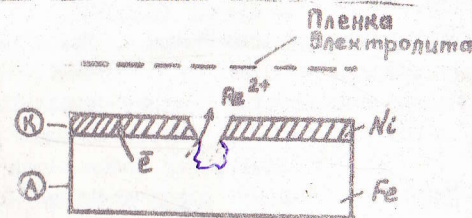
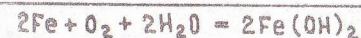
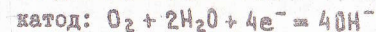
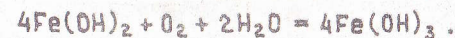


Рис.3. Коррозия железа при катодном покрытии

Для стандартных условий  $E_{\text{Ni}/\text{Ni}^{2+}}^0 = -0,25 \text{ В}$ ;  $E_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}}^0 = -0,44 \text{ В}$ . В возникшем гальваническом элементе при  $\text{pH} \geq 7$  протекают следующие реакции:



Под действием кислорода и воды далее протекает реакция



При катодном покрытии металл предохраняется от коррозии до тех пор, пока не нарушена сплошность покрытия, а при ее нарушении основной металл разрушается более интенсивно, чем без защиты, при этом создаются благоприятные условия для язвенной коррозии. На практике чаще применяются катодные покрытия, так как во многих агрессивных средах они имеют значительно меньшую скорость собственной коррозии, чем анодные покрытия.

### Способы нанесения металлических покрытий

Существуют различные способы нанесения металлических покрытий: электролитические (гальванические), химические, диффузионные, плакирование, горячее напыление и т.д.

Наибольшее распространение получили гальванические способы нанесения металлических покрытий.

**Гальванический способ.** Получение покрытий таким способом основано на пропускании постоянного электрического тока через растворы (электролиз), при этом положительно заряженные ионы металлов осаждаются на катоде (изделии). Схема установки для нанесения гальванического покрытия приведена на рис.4.

В качестве анодов используются в основном металлы покрытия (Zn, Sn, Cu, Ni, Ag и др.), при растворении которых электролит пополняется катионами, разряжающимися на катоде. Применяются также и нерастворимые аноды (свинец, графит, платина и др.).

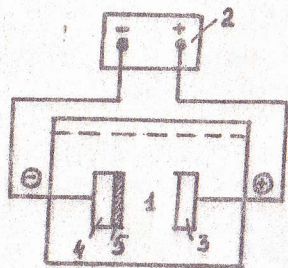


Рис.4. Схема установки для нанесения гальванических покрытий: 1 - ванна с электролитом; 2 - источник постоянного тока; 3 - анод; 4 - катод; 5 - слой защитного покрытия

2) для экономии наиболее дефицитного металла (например, для покрытия оловом толщиной 0,5-1,5 мкм наносится подслой никеля).

Главное преимущество гальванического покрытия - это его повышенная коррозионная стойкость, определяемая высокой чистотой металла, возможность нанесения покрытия на изделие любой формы.

К недостаткам гальванических покрытий следует отнести:  
- невозможность их использования для изделий сложной

конфигурации и крупногабаритных конструкций.

**Химический способ** нанесения покрытий заключается в том, что в электролит специального состава, разогретый до определенной температуры, загружают холодные детали или изделия. За счет передаваемого им тепла осуществляется реакция восстановления иона металла и его осаждения в виде тонкого покрытия. Таким образом, осаждение металла является результатом реакции



Основным преимуществом химических покрытий является возможность нанесения покрытий на изделия сложной конфигурации (с выступами и т.д.). В настоящее время применяются химические покрытия из Cu, Ni, Cr, Sn, Ag, Pd и других металлов.

При **горячем способе** изделие для нанесения покрытия погружают в расплавленный металл. Таким образом защищают сталь от коррозии, создавая покрытие из цинка, алюминия, олова. Например, горячее цинкование является основным способом получения оцинкованных труб для судовых систем.

**Металлизация** - распыление расплавленного металла с помощью сжатого воздуха или инертного газа. Для расплавления металла используют пламя газовой или плазменной горелки. Металлизацию распылением применяют для защиты от коррозии емкостей и аппаратуры больших габаритов, свай, трубопроводов морской воды, шлюзов, плотин и т.д.

**Диффузное насыщение**, например, алитирование или хромирование стали производится в порошке алюминия или хрома при повышенной температуре. При этом происходит насыщение поверхностного слоя металла алюминием или хромом. Такие покрытия не имеют резких границ с защищаемым металлом и обладают хорошей адгезией.

**Плакирование** - термомеханический способ получения защитного металлического слоя. Покрытие образуется в результате совместной прокатки, горячего прессования, нагрева под давлением двух металлов, один из которых играет роль защитного покрытия. Сцепление слоев очень хорошее, так как обеспечивается диффузией при одновременном действии температуры и давления. Этот способ используют для изготовления биметал-

### Металлические покрытия

1. Электродные потенциалы железа и цинка в морской воде соответственно равны  $-0,5$  и  $-0,8$  В. Какой из этих металлов может быть использован в качестве покрытия? Каков вид покрытия? Составить схему коррозионного элемента. Написать уравнения катодного и анодного процессов.

2. Составить схему коррозионного элемента и написать уравнения реакций, протекающих при наличии повреждений свинцовой оболочки стального кабеля подводной линии связи.

3. Для защиты контактов из серебра и других чувствительных к сероводороду материалов применяют гальваническое покрытие из золота. Какие процессы будут протекать на серебряных контактах плат при нарушении сплошности покрытия из золота во влажной атмосфере, содержащей сероводород?

4. Никель широко применяется для защиты от коррозии и для декоративной отделки. Какие процессы будут протекать на изделии из железа, покрытого никелем с подслоем меди, при появлении царапин в защитном никелевом слое при эксплуатации изделия в условиях влажного морского климата?

### Неметаллические неорганические покрытия

1. Какие покрытия на металлах относятся к неметаллическим неорганическим?

а) оксиды; б) ЛКП; в) фосфатные; г) эмалевидная пленка на алюминии.

2. Назовите способы получения оксидных пленок на металлах. В чем преимущества и недостатки каждого способа?

3. Какие растворы используются для фосфатирования стали? В чем сущность этого процесса?

### Способы подготовки поверхности металла

1. Почему необходимо подготавливать поверхность судовых конструкций под окраску?

2. Какие существуют способы подготовки поверхности?

3. В чем достоинства и недостатки механического и струйно-эрозионного способов очистки поверхности металла?

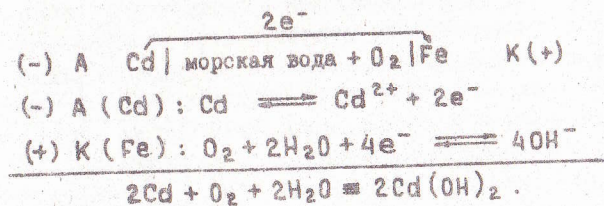
4. Когда можно применять химический способ очистки с использованием модификатора ржавчины?

### ЛИТЕРАТУРА

ХОНИКЕВИЧ А.А. Вода и коррозия в судостроении: Учеб. пособие.  
Л.: Изд. ДКИ, 1984.

будут протекать на кадмированной стальной детали, погруженной в морскую воду, при нарушении сплошности защитного покрытия?

Решение. В морской воде  $E_{Cd/Cd^{2+}} = -0,49$  В;  $E_{Fe/Fe^{2+}} = -0,44$  В. Так как  $E_{Cd/Cd^{2+}} < E_{Fe/Fe^{2+}}$ , кадмий является анодным покрытием. Схема гальванического элемента, возникающего при нарушении сплошности покрытия, записывается так:



Задача 2. Деталь из стали, покрытая слоем меди, внешним повреждением, эксплуатируется в атмосфере промышленного района. Какой металл будет корродировать? Составить схему коррозионного элемента и написать уравнения катодного и анодного процессов.

Решение. По отношению к железу медь катодное покрытие, так как в пленке влаги  $E_{Fe/Fe^{2+}} < E_{Cu/Cu^{2+}}$ . В пленке влаги, конденсирующейся на поверхности металла в атмосфере промышленного района, содержатся, кроме  $O_2$ , также и газы  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ , являющиеся продуктами сгорания топлива. При растворении этих газов образуются кислоты, диссоциация которых обеспечивает  $pH < 7$ :

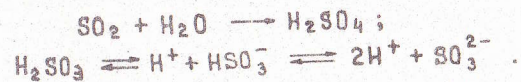
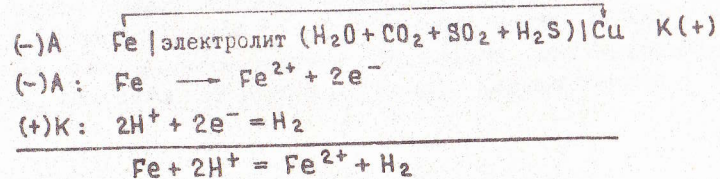


Схема возникающего гальванического элемента:



Затем протекает реакция



Таким образом, в результате коррозии образуется смесь гидроксидов и солей:  $Fe(OH)_2$ ,  $FeCO_3$ ,  $FeSO_4$ ,  $FeS$ , а также продукты их гидролиза.

Задача 3. Какие процессы протекают на поверхности стальных изделий при обработке их раствором "Макоф"?

Решение. Обычно процесс фосфатирования проводят при повышенной температуре ( $96-98^\circ C$ ). В горячей воде кислые соли марганца и железа гидролизуются с образованием фосфорной кислоты:



Этому процессу сопутствует электрохимическое окисление железа на анодных участках и выделение водорода на катодных участках:



Ионы железа, переходящие в раствор по реакции (3), связывают фосфорную кислоту с образованием труднорастворимых фосфатов.

## 5. ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Лакокрасочные покрытия

1. В чем заключаются достоинства ЛКП на металлах в судостроении?

а) декоративность; б) универсальность; в) длительный срок защиты; г) сочетаемость с другими способами защиты.

2. Укажите недостатки применения ЛКП в судостроении:

а) недолговечность; б) необходимость тщательной подготовки поверхности металла; в) токсичность растворителей; г) низкая адгезия к поверхности металла.

3. С какими средствами и способами защиты металлов могут сочетаться ЛКП?

а) протекторная защита; б) катодная защита; в) металлические покрытия; г) ингибиторная защита.



## 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

## 3.1. Защитное действие анодных и катодных металлических покрытий

В две пробирки налить 0,001 н. раствора серной кислоты и несколько капель раствора  $K_3[Fe(CN)_6]$ . Взять полоску луженого и оцинкованного железа и нанести на них царапины, нарушив целостность защитного покрытия. В одну пробирку опустить полоску луженого железа, в другую – оцинкованного. В какой пробирке наблюдается интенсивное синее окрашивание на поврежденных участках защитного покрытия, свидетельствующее о наличии ионов  $Fe^{2+}$ ? Какое из покрытий является катодным, какое – анодным? Напишите уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде.

## 3.2. Фосфатирование стали

Четыре стальных образца (1–4) тщательно зачистить наждачной бумагой, обезжирить растворителем. Два образца (1 и 2) поместить в раствор для фосфатирования, содержащий препарат "Макеф" и проводить фосфатирование при 96–98°C в течение 25–30 мин. Затем образцы промыть в проточной воде и высушить. На фосфатированный образец 1 и нефосфатированный 3 нанести по две капли 0,1 н. раствора  $CuSO_4$ . Сравнить время изменения цвета раствора.

Фосфатированный образец 2 и нефосфатированный 4 использовать для измерения электродного потенциала. В качестве коррозионной среды взять 3%-ный раствор  $NaCl$ . Результаты опыта оформить в виде таблицы.

Номер образца	Значение электродного потенциала образца		Оценка защитных свойств фосфатной пленки методом капельной пробы	
	нефосфатированного	фосфатированного	нефосфатированный образец	фосфатированный образец
1				
2				
3				
4				

## 3.3. Анодирование алюминия (рис.5)

Три образца алюминия (1–3) обезжирить, закрепить в анодной клемме и опустить в стакан с 20%-ным раствором серной кислоты. Оксидирование проводить при напряжении 12 В и температуре 23–25°C в течение 10 мин (образец 1), 20 мин (образец 2), 30 мин (образец 3). Затем образцы вынуть, промыть холодной водой и поместить на 15 мин в стакан с нагретой до 98°C дистиллированной водой для уплотнения пленки. Образцы высушить.

Для оценки защитных свойств оксидной пленки на алюминии нанести на поверхность образцов по две капли раствора индикатора ( $K_2Cr_2O_7 + HCl$ ) и определить время изменения окраски индикатора. Результаты опыта оформить в виде таблицы.

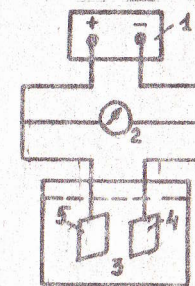


Рис.5. Схема установки для анодирования алюминия: 1 – источник постоянного тока; 2 – вольтметр; 3 – стакан с электролитом; 4 – катод (свинцовая пластинка); 5 – образец алюминия

Номер образца	Продолжительность анодирования, мин.	Оценка защитных свойств оксидной пленки по времени капельной пробы, мин.
1		
2		
3		

На основании полученных данных построить график зависимости защитных свойств пленки  $Al_2O_3$  от времени оксидирования. На оси абсцисс отложить время анодирования, на оси ординат – время изменения окраски индикатора при капельной пробе.

## 4. УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Задача 1. Покрытие из кадмия используют для защиты изделий, эксплуатирующихся в условиях морского климата, так как кадмий устойчив в растворах хлоридов. Какие процессы

## 2.1. Механическая очистка

Механическая очистка судовых поверхностей может осуществляться ручным или механизированным инструментом. При ручной механической очистке применяются щетки, шарошки или звездочки различных конструкций. Из механизированных средств очистки наиболее широкое распространение получили бортовые автоматы БА-4 – машины для очистки бортов судна. Использование механизированной очистки увеличивает производительность труда в 20–25 раз по сравнению с ручной очисткой.

## 2.2. Струйно-эрозионная очистка

Сущность струйно-эрозионных способов очистки состоит в том, что поверхность обрабатывается струей сжатого воздуха (или воды), содержащего зерна абразива. Зерна, ударяясь о поверхность металла, откалывают небольшие кусочки металла вместе с окисной, ржавчиной и другими загрязнениями. Струйно-эрозионные способы очистки обеспечивают высокое качество очистки поверхностей практически от всех загрязнений и одновременно придают поверхности равномерную шероховатость, способствующую повышению адгезии покрытий.

Гидродинамическая очистка производится с помощью высоконапорной водяной струи давлением 17–55 МПа. Этот метод используется для очистки подводной части корпусов судов, трюмов, якорных цепей, гребных винтов и теплообменных аппаратов.

Гидропескоструйный метод применяется при необходимости более тщательной очистки. Для этого в высоконапорную водяную струю вводят абразивные материалы (например, песок). Использование сухого песка на судоремонтных заводах запрещено из-за вредного влияния на здоровье рабочих.

К недостаткам способа очистки, ограничивающим его применение при судоремонте, относятся:

- возможность выполнения очистки только в теплое время года и в непромокаемой одежде;
- существенное загрязнение территории;
- необходимость введения в воду ингибиторов ( $K_2Cr_2O_7$ ,  $CrO_3$ ,  $NaNO_2$ ) для предохранения очищаемой поверхности от коррозии.

При дробеструйной, или дробеметной очистке в качестве

абразива применяют стальную или чугунную дробь. Преимущество способа заключается в обеспечении высокой степени очистки поверхности при любом неравномерном разрушении поверхности корпуса судна. При использовании этого способа получается необходимая шероховатость поверхности, обеспечивающая лучшую адгезию ЛКП. К недостаткам способа относятся следующие:

- не обеспечивается очистка криволинейных поверхностей;
- при обработке мокрых поверхностей дробь слипается, образуя комки;
- требуется предварительная очистка обрабатываемой поверхности от обрастания;
- образуется большой налет, что не позволяет в дальнейшем производить фосфатирование поверхности;
- обработанные поверхности требуют быстрой защиты от коррозии.

В силу указанных причин эти методы не получили широкого распространения. Поэтому основными методами очистки поверхностей корпусов судов перед нанесением покрытий служат механические и гидродинамические.

## 2.3. Подготовка поверхностей с применением модификаторов ржавчины

При подготовке поверхностей труднодоступных участков судовых конструкций невозможно полностью удалить продукты коррозии. В этом случае целесообразно применять модификаторы ржавчины (МР) – соединения, нейтрализующие остатки ржавчины толщиной не более 50–100 мкм. Одним из основных компонентов МР является ортофосфорная кислота, превращающая рыхлую отслаивающуюся ржавчину в плотную пленку, обладающую хорошей адгезией к металлической поверхности. При этом протекает реакция типа



и образуется пленка, состоящая из солей и оксидов железа.

лических листов, ленты, проволоки и т.д. К недостаткам способа следует отнести трудности, связанные со сваркой биметаллических листов.

### 1.3. Неметаллические неорганические покрытия

Неметаллические неорганические покрытия получают химическим и электрохимическим способом в водных растворах электролитов. Сущность защитного действия этих покрытий заключается в переводе поверхности защитного металла в окисленное состояние с формированием оксидных или солевых пленок, являющихся барьером на пути окислительных агентов коррозионных сред.

Химическое оксидирование. Оксидные покрытия можно получить химическим способом в щелочных растворах, содержащих окислительные компоненты. Так, процесс оксидирования железа в щелочных растворах описывается суммарной реакцией

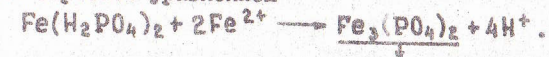


Таким образом, формируется пленка, состоящая из оксида  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Толщина пленки 0,6–3 мкм. Процесс называется воронением, так как образующаяся пленка имеет черный или темно-серый цвет, близкий к окраске крыла ворона.

Электрохимическое оксидирование (анодирование) осуществляется путем анодной поляризации стали в щелочных, а алюминия и тантала – в кислых растворах. При электрохимическом оксидировании изделие из металла в гальванической ванне является анодом. Анодные оксидные пленки отличаются от химических оксидных пленок большей механической прочностью и твердостью. Известно, что коррозионная стойкость алюминия определяется защитными свойствами оксидной пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Толщина пленки на алюминии, полученной за счет окисления металла в атмосферных условиях, составляет всего около 0,02 мкм. Анодированием же можно получить пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной до 200 мкм.

Фосфатирование – это процесс получения на поверхности стали пленки нерастворимых фосфорнокислых солей железа и марганца. Исходный препарат для фосфатирования, называемый "Мажеф" (сокращенно от марганец-железо-фосфор), представляет собой раствор кислых солей  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . образо-

вание труднорастворимых средних фосфатов на поверхности металла можно выразить уравнением



Нерастворимые фосфаты в виде мелких кристаллов прочно связаны с поверхностью металла и образуют пористую пленку толщиной 1–4 мкм. Благодаря большой пористости пленка хорошо удерживает краску и служит хорошим грунтом для нанесения ЛКП, что широко используется в машино- и приборостроении. Таким способом можно обрабатывать сварные швы корпуса судна перед нанесением ЛКП.

Эмалирование – процесс получения электрохимическим способом непрозрачных эмалевых пленок на алюминии и его сплавах в электролитах, содержащих щавелевую, лимонную и борную кислоты, хромовый ангидрид, соли титана, циркония и тория, которые гидролизуются и, включаясь в состав оксидной пленки, делают ее непрозрачной. Эмаль-пленки применяются для предотвращения атмосферной коррозии и служат в основном для защитно-декоративной отделки изделий.

Азотирование – насыщение поверхностного слоя металлов азотом. Например, если железо при 600°C обработать аммиаком, то образуется пленка нитрида железа  $\text{Fe}_4\text{N}$ .

Карбонизация – насыщение поверхностного слоя углеродистых сталей атомами углерода, при этом образуется пленка, состоящая из цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

Борирование – насыщение поверхности металла атомами бора с образованием в поверхностном слое боридов типа  $\text{FeB}$ .

Силицирование – насыщение поверхностного слоя стали кремнием с образованием в поверхностном слое силицидов типа  $\text{FeSi}$ .

## 2. СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

Защитные свойства покрытий в значительной степени зависят от качества подготовки поверхности металла. Применяемые методы очистки поверхностей судовых конструкций можно разделить на механические, струйно-эрозионные и химические.