

ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО МЕТАЛЛУРГОВ  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

352  
90  
ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЗАОЧНЫЕ КУРСЫ  
ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

# ЭКОНОМИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Курс лекций*

*Лекция*

**39**

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ 1942



## ТОВАРИЩИ!

В дни великой Отечественной войны с германскими фашистами и их приспешниками, заливающими кровью нашу родную землю, творческая мысль рабочих и инженеров бьется с удесятенной энергией над улучшением и усовершенствованием производства продукции, необходимой для разгрома гитлеровских полчищ.

Ускорение и упрощение методов производства, замена дефицитных материалов недефицитными или более экономное их расходование прямо и непосредственно претворяются в дополнительное оружие для фронта, в дополнительные тонны металла, которые будут обрушены на головы врагов.

В эти грозные дни более чем когда-либо необходимо, чтобы достижения одного завода, цеха, отдельного работника быстро становились достижениями всего производственного фронта страны.

Центральные заочные курсы по существу своей работы помогают разрешению именно этой задачи. Чтобы выполнить ее добросовестно и исчерпывающе, необходимо, чтобы Вы не были пассивны в этой работе.

Сообщайте нам о Ваших достижениях, усовершенствованиях и изобретениях, проверенных на практике, для широкого распространения их через наших слушателей.

Как бы Вы ни были заняты, Вы должны найти время для передачи передового опыта другим предприятиям. Это Ваш долг перед родиной.

Помните, что творческая техническая инициатива — наше самое грозное оружие в борьбе за победу.

Помогите полностью использовать ее полезные результаты по всей стране для ускорения разгрома врага.

ДИРЕКЦИЯ КУРСОВ

ДИРЕКЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗАОЧНЫХ КУРСОВ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Директор: академик И. П. БАРДИН

Заместитель директора: инженер-экономист Г. Ф. РУДЕНКО

Заместитель директора по научно-педагогической части: доцент Я. С. ГАЛЛАЙ

Адрес курсов:

Свердловск, Втузгородок, Институт металлов, комната № 16

ВСНТО  
ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО МЕТАЛЛУРГОВ  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

359  
90  
ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЗАОЧНЫЕ КУРСЫ  
ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

РАЗДЕЛ V

МЕТАЛЛО- И ХИМПОКРЫТИЯ

ЛЕКЦИЯ 39

Инж. И. Л. ГОЛОВИН

АЛИТИРОВАНИЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ  
Свердловск 1942 Москва



## СОДЕРЖАНИЕ

Глава I. Свойства и область применения алитированных металлов . . . . .	3
1. Защитные свойства алитированного слоя . . . . .	—
2. Области применения алитирования . . . . .	4
3. Выбор глубины алитированного слоя . . . . .	5
Глава II. Процесс алитирования . . . . .	—
1. Состав смеси для алитирования . . . . .	—
2. Подготовка и упаковка деталей под алитирование . . . . .	6
3. Режим алитирования . . . . .	7
4. Калоризация . . . . .	9
5. Алюмитирование . . . . .	10
6. Сварка алитированного железа . . . . .	—
7. Контроль качества алитирования . . . . .	12
Вопросы для самопроверки . . . . .	—
Литература . . . . .	—

## ГЛАВА I

### СВОЙСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛИТИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОВ

#### § 1. Защитные свойства алитированного слоя

Ряд изделий, работающих при высоких температурах, экономически невыгодно изготовлять из жаростойкой стали. В этом случае выгоднее прибегать к насыщению поверхности изделия алюминием и получению огнестойкого слоя на изделии, изготовленном из обычной стали.

Операции, при которых алюминий проникает в изделие с поверхности, в зависимости от внешней среды, за счет которой идет процесс обогащения поверхности алюминием, называются алитированием.

Разновидностями этого процесса являются калоризация и алюмитирование (см. главу II § 4 и 5).

Процесс алитирования имеет целью придать стальному или чугунному изделию жаростойкость путем создания на его поверхности слоя, обогащенного алюминием.

Известно, что стойкость металлов и сплавов против окисления их при высоких температурах является свойством не самих металлов, а тех окисных слоев, которые образуются при высокой температуре. В зависимости от жароупорности этих окислов, их плотности, прочности приставания к поверхности расположения их, зависит жаростойкость металлов.

Исходя из этого, влияние различных примесей на скорость окисления железа зависит прежде всего от того, как изменяется под их влиянием химический состав и непрерывность расположения окисного слоя при высоких температурах.

Алюминий является одним из таких элементов, при окислении которых образуются особенно жароупорные окислы (в данном случае, окись алюминия  $Al_2O_3$ ). В сплавах железа с алюминием образуется слой окиси алюминия, который защищает нижерасположенные слои железа от действия кислорода воздуха при высоких температурах. Характер и свойства окисной пленки зависят от содержания в ней алюминия. При 4% Al в стали окалина имеет такой вид, как и окалина на чистом железе. При 16% Al получается окалина беловато-желтого цвета, состоящая преимущественно из окиси алюминия.

По опытам О. Вер, В. Скорчеллетти и А. Шультина, алюминиевая сталь с 11—14% Al при 1100° более стойка, нежели высокохромовая сталь или высоколегированная хромоникелевая сталь. Таким образом, алюминий, при введении его в сталь в количестве 11% и более, придает стали высокую устойчивость против окисления в атмосфере печных газов при температурах до 1100°.

Защитные свойства алитированного слоя, независимо от его получения, определяются процентным содержанием алюминия в поверхностном слое и глубиной распространения алюминия. Содержание алюминия в слое по глубине приведено на рис. 1; что касается продолжительности службы алитированных изделий, то таковая ограничена непрерывным обеднением

43-2596

Ответственный редактор Я. С. Галлай

Подписано к печати 14/XII 1942 г.  
Печатных л. 0,75.  
Заказное.

Учетн.-авторских л. 1,0.

НС 52972.  
Тираж 2000.  
Заказ № 0665.

Филиал 1-й Образцовой типографии Огиза РСФСР треста «Полиграфкнига».  
Свердловск, ул. Ленина, 47.



2017071005





алюминием алитированного слоя, за счет увеличения глубины слоя и образования окалина.

В течение определенного промежутка времени на поверхности алитированного изделия имеет место образование сплошного защитного слоя окиси алюминия; по мере дальнейшего окисления металла на некоторых участках наступает полное обеднение алюминием и образование обычной окалины. В результате нарушения сплошности пленки окиси алюминия под действием кислорода воздуха происходит разрушение изделия.

## § 2. Области применения алитирования

Повышение стойкости изделий из стали и чугуна при температурах, достигающих 900°, явилось основной причиной распространения процесса алитирования.

Чугунные колосники, алитированные на глубину 0,2 мм, при работе на цепной решетке котла, в условиях переменного нагрева от 150 до 900°, проработали 5000 часов без выхода из строя. Топливники газогенератора машины ЗИС-21, алитированные на глубину 160 м, проработали 300 часов. Ящики для цементации, алитированные с внешней стороны, в условиях переменного нагрева 500—950° проработали около 180 часов, и пришли в негодность из-за разрушения сварных швов.

Алитированные коллекторы моторов воздушного охлаждения, изготовленные из стали марки 20, толщиной 1 мм, алитированные на глубину 40—50 м, проработали более 150 часов.

На рис. 2 представлен снимок микроструктуры образца стали марки 20, алитированного на глубину 55—75 м, подвергнувшегося нагреву в течение 170 часов при 800—900°. Эти примеры указывают на высокую жаростойкость алитированных изделий.

Процесс алитирования нашел применение в автомобильной, авиационной промышленности, в тяжелом машиностроении. В серийном производстве процесс алитирования машинных деталей освоен на ряде заводов. Внедрением алитирования в промышленности занимается ЦНИИТМАШ.

Стоимость алитированных изделий значительно ниже стоимости изделий, изготовленных из специальной стали.

По данным проф. Минкевича и Зудина, стоимость алитированных деталей на 40—50% меньше стоимости деталей, изготовленных из 30% хромовой стали.

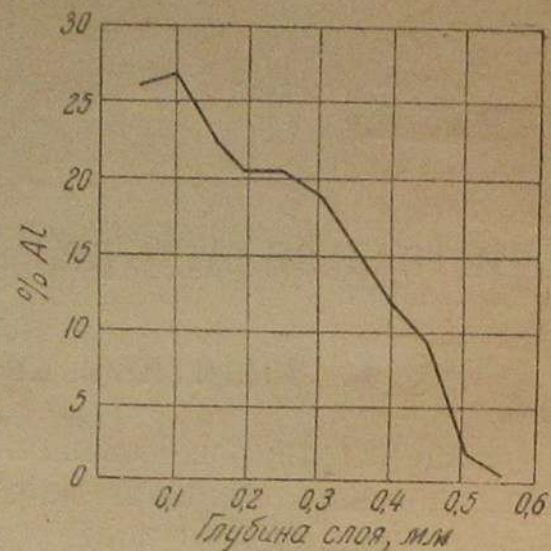


Рис. 1. Содержание алюминия в алитированном слое.

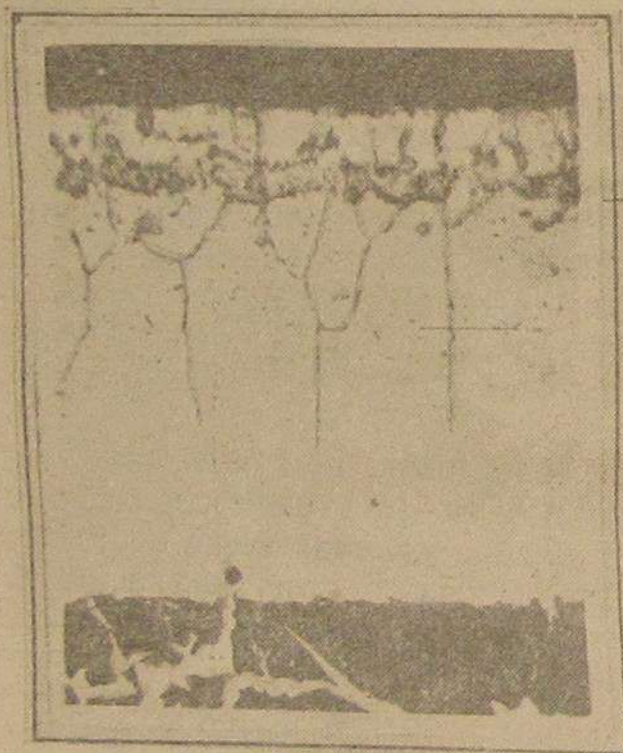


Рис. 2. Микроструктура алитированного слоя, подвергнувшегося нагреву до 800—900° 170 часов.  $\times 20$ .

Применение алитирования к деталям, работающим при повышенных температурах и изготовляемым в настоящее время из простой стали или чугуна, даст огромную экономию при эксплуатации агрегатов, снабженных алитированными деталями.

## § 3. Выбор глубины алитированного слоя

Для обеспечения жаростойкости стального изделия в течение длительного времени необходимо создать на поверхности детали обогащенный алюминием слой достаточной глубины. Данных, указывающих на жаростойкость изделий в зависимости от глубины алитированного слоя, имеется очень мало. Поэтому, при выборе глубины слоя необходимо руководствоваться практикой эксплуатации алитированных изделий. В табл. 1 приведены данные, собранные автором из различных источников.

Таблица 1  
Глубина алитирования по данным практики

Наименование изделия	Толщина изделия мм	Глубина алитированного слоя м	Средняя рабочая температура °С	Завод
Коллектор С20 . . . . .	1—1,2	35—75	800	им. Менжинского
Подогрев С20 . . . . .	0,8—1,0	40—50	700	НКАП
Колосники чугунные . . . . .	7—20	~ 200	950	ЦНИИТМАШ
Трубы обдувочные . . . . .	3	~ 300	—	»
Примусные горелки . . . . .	—	80—120	750	»
Детали керосинок . . . . .	—	120—450	—	»
Топливники . . . . .	—	600—700	900	»
Цементационные ящики Песочницы для печи Приспособления для за- калки . . . . . Колосники для котлов	—	75—300	900	им. Менжинского

При выборе глубины алитированного слоя необходимо учитывать толщину стенки изделия. Для изделий тонкостенных (до 2 мм), как например коллекторы моторов, подогревы и др., рекомендуется глубина слоя 40—80 м, для изделий толстостенных (толщина стенок больше 3 мм), как например колосники, топливники и др., рекомендуется глубина слоя 100—600 м. Наилучшая стойкость изделия в работе наблюдается в том случае, когда алитированный слой по всей поверхности изделия имеет одинаковую глубину, что практически получить очень трудно.

### ГЛАВА II

## ПРОЦЕСС АЛИТИРОВАНИЯ

### § 1. Состав смеси для алитирования

В настоящее время наибольшее распространение получил способ Мекера, при котором алитирование чугунных и стальных изделий производят в порошкообразной смеси из

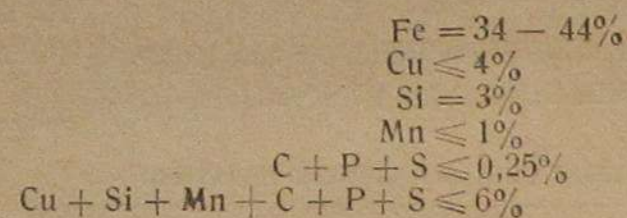
ферроалюминия . . . . . 98—99,5%;  
нашатыря . . . . . 2—0,5%.

Назначение нашатыря состоит в вытеснении воздуха из цементационного ящика с целью предотвращения окисления изделий при высокой температуре.



Применение добавок к порошку ферроалюминия, как например шамота, огнеупорной глины, каолина, — не рекомендуется, так как последние только засоряют порошок и тем самым ухудшают качество смеси. При лежании на воздухе такие смеси быстро окисляются, так как добавки притягивают влагу и смесь становится непригодной к повторному применению. Наоборот порошок ферроалюминия без добавок не окисляется на воздухе и остается достаточно активным и пригодным для осуществления, примерно, 20 операций без добавок свежего ферроалюминия.

Ферроалюминий изготавливается в виде порошка с крупностью зерна не более 2 мм. Ферроалюминий, согласно техническим условиям поставщика, должен иметь следующий химический состав:



Ферроалюминий в процессе использования обедняется алюминием. Для повышения содержания Al ферроалюминий подвергают нагреву в связи с алюминиевой или дуралюминиевой стружкой. Для этого в ящик засыпают смесь из мелкой алюминиевой или дуралюминиевой стружки с отработанным ферроалюминием. Затем ящик нагревают до 950—1050°, выдерживают при этой температуре в течение 18—20 час. и затем производят охлаждение ящика на воздухе, а лучше всего вместе с печью, после чего процесс обогащения отработанной смеси считается законченным.

В зависимости от количества стружки, приходящейся на единицу объема ферроалюминия, в последнем содержание алюминия увеличивается. На одном из заводов процесс обогащения смеси и алитирование деталей производят одновременно. Это дает большую экономию ферроалюминия и предоставляет возможность утилизации мелкой дуралюминиевой стружки, имеющейся в огромных количествах на многих заводах.

## § 2. Подготовка и упаковка деталей под алитирование

Поверхности стальных и чугунных деталей необходимо перед алитированием очищать с помощью пескоструйного аппарата.

Обданные песком изделия можно хранить на воздухе до их упаковки в ящики для алитирования не более 2 часов.

Очищенная песком поверхность изделия при длительном лежании на воздухе покрывается тонкой пленкой окислов, которая препятствует проникновению алюминия в поверхностный слой изделия. Следует также избегать прикосновения голыми руками к подготовленным к упаковке изделиям, так как при этом на поверхности образуются жировые пятна, дающие «пестрое» алитирование.

Упаковку изделий производят в цементационные ящики. От качества упаковки во многом зависит качество алитированного изделия.

На дно ящика равномерным слоем насыпают нашатырь 1 (рис. 3), в количестве 0,5—2% от веса порошка ферроалюминия, загружаемого в ящики. Сверху нашатыря насыпают порошок ферроалюминия 2 слоем 30—40 мм. Полые детали, перед укладкой в ящик набивают ферроалюминием, бывшим в употреблении. Набивка производится при легком постукивании по изделию деревянным молоточком.

Изделия 3 укладывают в ящик с таким расчетом, чтобы расстояние между ними было 10—20 мм.

При упаковке в ящик полых или трубчатых деталей, их следует укладывать таким образом, чтобы газы, образующиеся в смеси в процессе нагрева, имели свободный выход из полости изделия.

Вместе с деталями в ящик закладывают образцы-свидетели 4 для контроля глубины алитированного слоя.

Количество образцов обычно не менее трех: два по краям и один по середине ящика. Изделия и образцы засыпают ферроалюминием, бывшим в употреблении, с легкой утрамбовкой последнего. Толщина порошка ферроалюминия сверху деталей должна быть 30—40 мм. Для избежания окисления ящик закрывают железным листом 5, поверх которого насыпают предохраняющий слой чугунной стружки, отработанного ферроалюминия или прокаленного речного песка 6. Толщину предохраняющего слоя следует брать 30—40 мм; практически поверхность листа насыпают порошок до верхней кромки ящика, после чего его закрывают крышкой. Промазка крышки для уплотнения ее разными составами не обязательна.

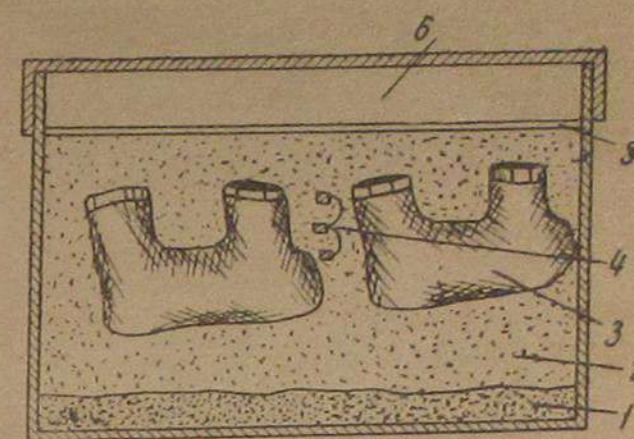


Рис. 3. Схема упаковки патрубков коллектора в ящик для алитирования: 1—нашатырь, 2—ферроалюминий, 3—алитируемая деталь, 4—образец-свидетель, 5—лист асбеста или железа, 6—сухой речной песок 40—50 мм.

## § 3. Режим алитирования

Алитирование в порошке ферроалюминия ведут двояким способом:

а) Печь предварительно разогревают до температуры алитирования, затем выключают ее и производят посадку ящиков с деталями.

б) Посадку ящиков с деталями производят в холодную печь, после чего начинают поднимать температуру в печи.

В практике алитирования пользуются различными по составу смесями и температурными режимами. Ниже приводим описание нескольких существующих в заводской практике процессов алитирования.

1) Инж. В. Пропастин и Л. Карева разработали и осуществили режим алитирования в нефтяной печи, длиной 6 м, вмещающей одновременно 6—7 ящиков с деталями.

Перед загрузкой печь нагревают до 850—900°, затем топку выключают и производят посадку ящиков с деталями.

Для обеспечения равномерного и быстрого нагрева садки ящики устанавливают на поду на расстоянии друг от друга не менее одной трети высоты ящика.

За время загрузки температура печи понижается до 600—650°. Затем подъем температуры в печи до 800° производят со скоростью 100—150° в час. При 800° дают выдержку около часа для выравнивания температуры внутри ящиков. Затем температуру поднимают до 860 (+10°) в течение одного часа, и при алитировании на глубину 40—75 м дают выдержку 10—12 часов. По окончании выдержки всю садку вынимают из печи для охлаждения на воздухе. Продолжительность охлаждения садки до 150—200° в спокойном воздухе составляет 16—20 часов, после чего производят распаковку ящиков.

На рис. 4 представлена структура алитированного слоя глубиной 75 м, полученного по указанному режиму алитирования на стали марки 20.

Для алитирования толстостенных деталей на глубину 80—300 м тем-



температуру алитирования повышают до 950—1000°, время выдержки 18—20 часов.

Скорость нагрева и продолжительность выравнивания температуры садки сохраняются такими же, как и для тонкостенных деталей.

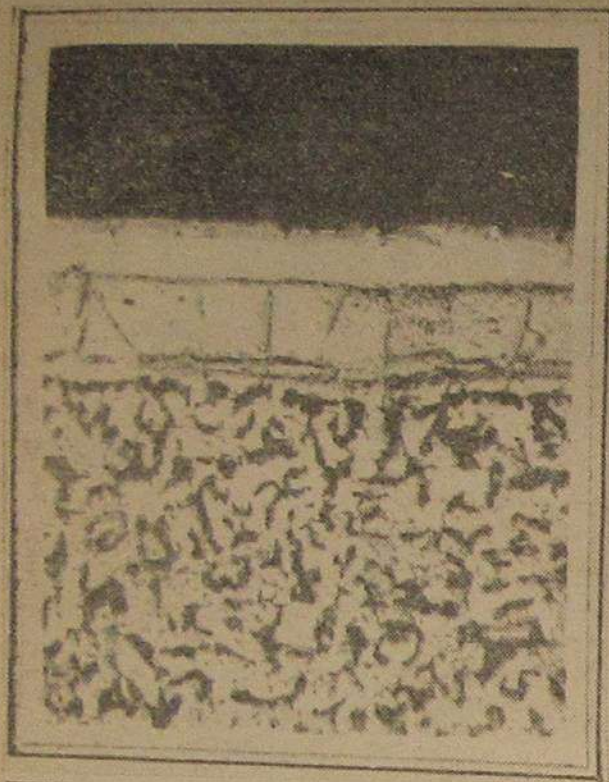


Рис. 4. Микроструктура алитированного слоя стали марки 20, глубина 75 м.  $\times 200$ .

Изменяя температуру алитирования в пределах 850—1050° или продолжительность операции, для каждого изделия можно подобрать наиболее экономичный режим алитирования.

Алитированное изделие, изготовленное из обычной малоуглеродистой стали, для повышения качества слоя и для контроля качества алитированного металла подвергают нормализации при 870—900° (см. ниже § 7).

2) На заводе ЗИС алитированные топливники для генераторов автомашин, отливаемых из углеродистой стали, производят в порошке ферроалюминия.

В порошок добавляют 3% нашатыря, смесь тщательно перемешивают. После повторного использования, последнюю обновляют добавками в количестве 30% по весу.

Ящики загружают в печь, подогретую до 150—200°, и выдерживают при этой температуре в течение 1½—2 часов для просушки. Подъем температуры в печи производят с нормальной скоростью, иногда ведут ступенчатый нагрев.

По достижении 980° (+25°) дают выдержку 8—10 часов, после чего прекращают топку печи и садку охлаждают вместе с печью до 400°, затем ящики разгружают и распаковывают.

Для устранения хрупкости алитированного слоя топливники вместе с контрольными образцами подвергают отжигу при 1050° (+25°) в течение 5—6 часов.

3) Проф. Н. А. Минкевич и инж. И. Ф. Зудин рекомендуют производить загрузку ящиков в холодную печь. При 150—180° производят выдержку около ½ часа для просушки и удаления влаги. Затем печь разогревают настолько, чтобы температура внутри ящиков достигала 950—1050°. По окончании выдержки топку выключают и садку охлаждают вместе с печью до 300—400°.

Получаемая глубина жаростойкого слоя на малоуглеродистой стали при алитировании в порошке ферроалюминия в течение 6 часов при различных температурах приведена на рис. 5.

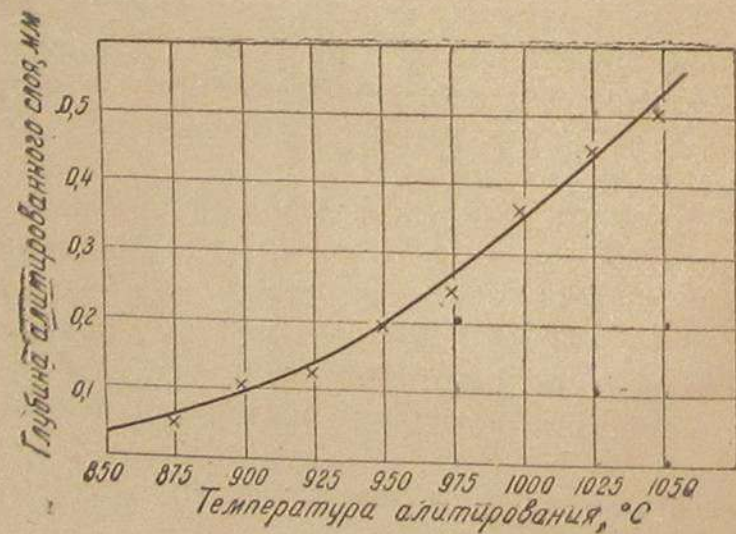


Рис. 5. Влияние температуры на глубину жаростойкого слоя при алитировании малоуглеродистой стали в порошке ферроалюминия.

После алитирования изделие подвергают отжигу при 950—1050° с выдержкой в течение 3—8 часов.

4) О. Вер и Н. Агеев рекомендуют производить алитирование в смеси, содержащей 49% порошка ферроалюминия или алюминия, 49% прокаленной окиси алюминия и 2% нашатыря.

Ящики с изделиями помещают в холодную печь, причем нагрев до 500—600° рекомендуется вести относительно медленно во избежание сильного выделения газов. По достижении температуры 900—1000° дают выдержку, продолжительность которой зависит от требуемой глубины алитированного слоя (рис. 6).

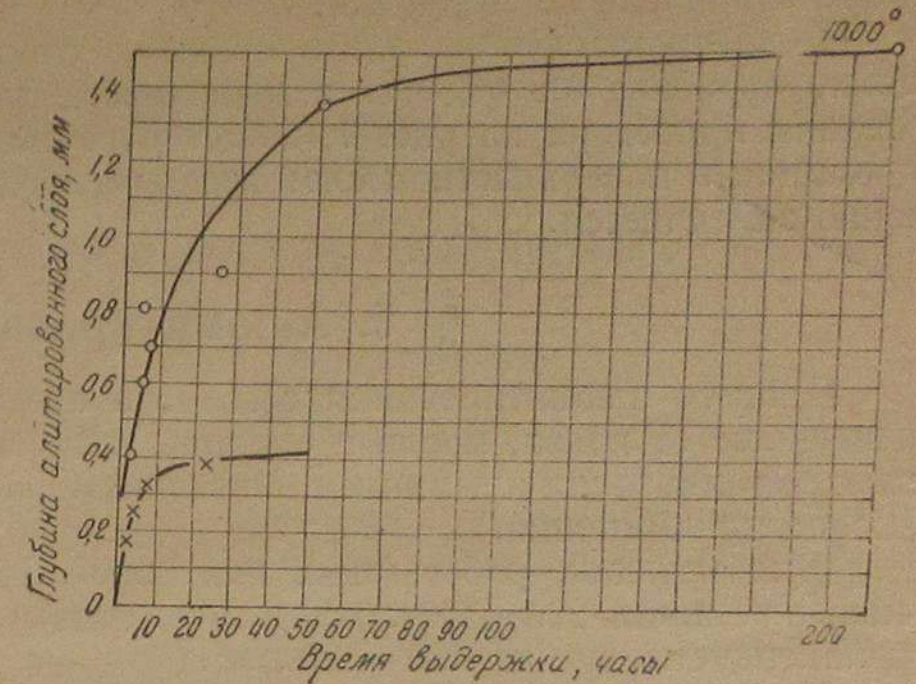


Рис. 6. Зависимость глубины жаростойкого слоя от продолжительности выдержки при алитировании в смеси: 49% FeAl + 49% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 2% NH<sub>4</sub>Cl.

#### § 4. Калоризация

В американской промышленности нашел распространение видоизмененный способ алитирования — калоризация. Процесс калоризации ведут в барабане, наполненном смесью состава: алюминий 49%, окись алюминия 49%, нашатырь — 2%. Операцию калоризации производят в атмосфере азота или водорода.

Загруженный барабан при медленном вращении нагревают до 900—950°, эту температуру поддерживают в течение 2—5 часов. При этом глубина алитированного слоя получается в пределах 100 м.

Особенность этого способа состоит в том, что изделие и смесь все время находятся в движении. Благодаря трению тончайшие слои окислов на поверхности изделия сдираются

порошком, в результате чего достигается более совершенный контакт и процесс поглощения алюминия поверхностным слоем металла облегчается.

Автор настоящей лекции совместно с инж. И. И. Барановым провели опыты алитирования во вращающемся барабане в лабораторных условиях. В качестве алитирующей смеси применяли порошок ферроалюминия с добавкой 0,5% нашатыря. Образец из стали марки 20, очищенный песком, закладывали в цилиндрический ящик, наполненный на 75% по объ-

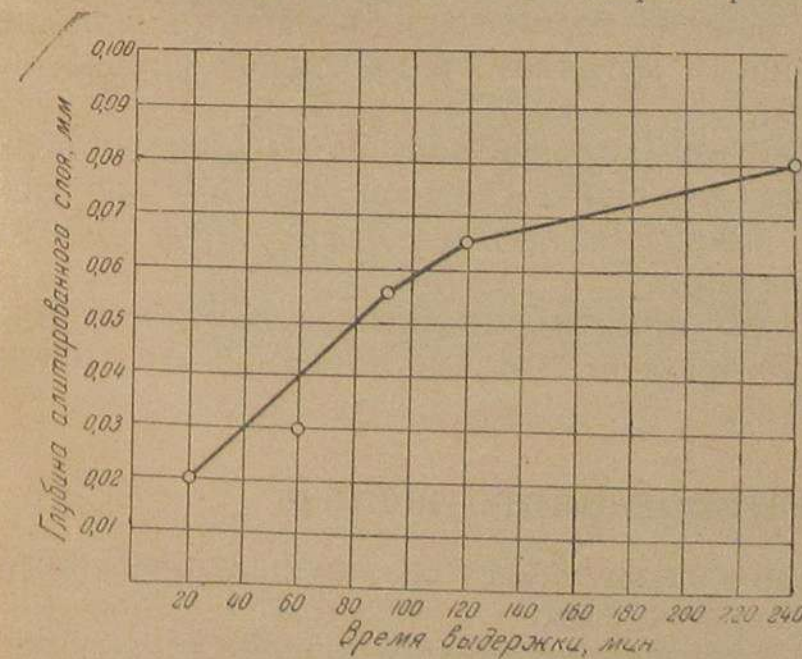


Рис. 7. Влияние продолжительности выдержки на глубину алитирования во вращающемся барабане. Сталь марки 20, толщина 1 мм, температура 860—880°.



ему порошком и подогретый до температуры 860°. Затем ящик помещали в нагретый барабан, которому давали вращение от мотора. Защитной атмосферы в барабан не создавали.

Полученная глубина алитированного слоя при 860—880° и при вращении барабана 4,5 об/мин. в зависимости от продолжительности алитирования приведена на рис. 7, из которого видно, что скорость диффузии алюминия в поверхностном слое изделия сначала возрастает, затем постепенно замедляется.

## § 5. Алюмитирование

Процесс алюмитирования состоит в следующем: изделие, тщательно очищенное от грязи, масла и окалины пескоструйным аппаратом, подвергают металлзации алюминием. Металлизацию можно проводить аппаратом Шоопа или Линника.

Для изделий, работающих при 1000°, Цеерледер рекомендует нанести алюминия 220—300 г/м<sup>2</sup>. Для изделий, работающих ниже 1000°, он рекомендует наносить 160—220 г/м<sup>2</sup>.

Греков рекомендует наносить на поверхность изделия два-три слоя алюминия с таким расчетом, чтобы общая толщина слоя была в пределах 0,3—0,5 мм.

На металлизированное изделие, пока оно еще находится в нагретом состоянии, наносят слой из 10—20% раствора хлористого алюминия или раствора другой хлористой соли, с последующим покрытием поверхности натриевым жидким стеклом, в которое добавляют небольшое количество ультрамарина для лучшего обнаруживания незакрытых жидким стеклом мест. После обмазки непокрытую поверхность посыпают мелким кварцевым песком. Затем изделие тщательно просушивают до полного высыхания жидкого стекла от влаги.

Подготовленное таким образом изделие помещают в печь, подогретую до 600—700°, затем температуру в печи повышают до 1200—1250°. Выдержку при такой температуре в зависимости от толщины стенок деталей дают от 15 до 40 минут, после чего температуру печи снижают до 600° и изделия вынимают из печи. Охлаждение изделий производят на спокойном воздухе.

При правильно проведенном режиме термической обработки алюминий почти весь поглощается основным металлом, в противном случае он осыпается в виде мелкого порошка.

Для сокращения времени операции термической обработки рекомендуется процесс вести в двух печах: одна с температурой 600—700°, другая 1200—1250°. Продолжительность выдержки при подогреве берут 15—30 минут, а при алитировании 15—45 минут.

В заключение надо отметить, что при выборе способа алитирования, надо сообразоваться с формой и величиной изделия, толщиной его стенок и экономичностью способа.

## § 6. Сварка алитированного железа

В литературе имеются указания на трудности сварки алитированного железа и плохую огнестойкость сварного шва.

Автор произвел опыты по газовой сварке алитированной стали марок 10 и 20, причем в качестве присадки применялся пруток из стали ЭЯ1Т (нержавеющая сталь).

Применение присадочной проволоки марок ЭЯ1Т и ЭХН25 (нихром) дает возможность получить жаростойкий сварной шов.

Детали, подлежащие сварке, с торцов зачищают напильником до полного удаления алитированного слоя и подгоняют друг к другу. Зазор между свариваемыми алитированными деталями в стык или при сварке открытого угла берут такой величины, чтобы сварной шов образовался в основном не за счет металла кромок деталей, а за счет введения присадочной проволоки.

При сварке алитированных заготовок из стали марок 10 или 20 толщиной 1—1,5 мм необходимо брать зазор, равный толщине металла или даже несколько больше.

Сварку ведут с применением флюса следующего состава:

Буры . . . . .	3	весовых	части
Борной кислоты . . . . .	3	»	»
Хлористого магния . . . . .	3	»	»

Нейтральным пламенем горелки слегка расплавляют кромки деталей и вводят для образования шва присадочный пруток в нужном количестве. Флюс при этом плавится и, растекаясь, покрывает ванночку расплавленного металла шва и тем предохраняет металл от окисления и образования тугоплавкой окиси алюминия, препятствующей сплавлению кромок заготовок. По химическому составу металл сварного шва отличается от присадочной проволоки по содержанию никеля и хрома уменьшенным по сравнению с содержанием их в основном присадочном металле. Это нужно иметь в виду при выборе состава для сварки.

Не меньший интерес представляет точечная сварка алитированного металла. Опыты автора по сварке точками показали, что алитированный металл сваривается лучше, чем неалитированный.

В процессе точечной сварки алитированный слой на поверхности точки сохраняется полностью, следовательно, жаростойкость сварной точки сохраняется такой же высокой, как и у остальной алитированной поверхности изделия.

На рис. 8 приведен снимок микроструктуры сварной точки стали марки 20.

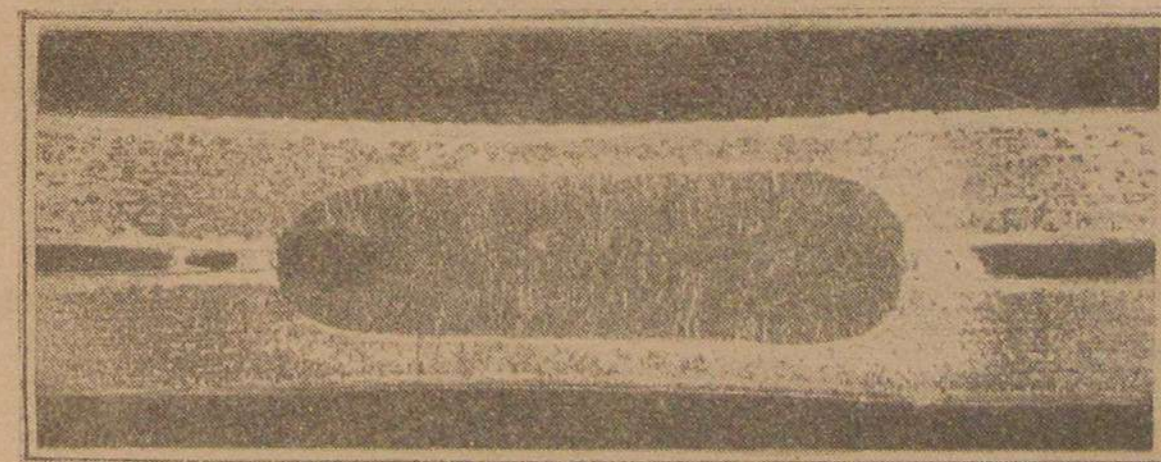


Рис. 8. Микроструктура сварной точки алитированной стали марки 20.  $\times 12,5$ .

При изготовлении изделий точечной сваркой заготовки перед алитированием должны быть хорошо пригнаны друг к другу и только после этого их можно направлять на алитирование.

В процессе сварки готовых заготовок нельзя производить припиливание или прирезку, так как это может привести к местному удалению алитированного слоя и, следовательно, к потере жаростойкости.

Способы точечной и роликовой сварки найдут широкое применение в промышленности при изготовлении изделий из алитированной заготовки.



## § 7. Контроль качества алитирования

Контроль качества алитированных деталей состоит в осмотре изделий, контроле глубины алитированного слоя и сплошности его на внешней и внутренней поверхностях изделия.

Алитированные изделия должны иметь матово-серый вид. На поверхности их не должно быть темных пятен с окалиной. Образцы, подвергшиеся алитированию вместе с изделиями, проходят отжиг или нормализацию, после чего из них изготавливают шлифы для замера глубины. Глубину алитированного слоя измеряют на металломикроскопе.

По глубине алитированный слой должен находиться в пределах допусков, предусмотренных техническими условиями на изделия.

Непрерывность алитированного слоя на поверхности изделия контролируют путем нагрева изделий до 860—900° с выдержкой в течение 5—15 минут. В местах отсутствия алитированного слоя образуется тонкий слой черной окалины, в местах же алитированных окалины не образуется.

Изделия с заниженным по глубине или прерывистым алитированным слоем подвергают пескоструйной очистке и повторному алитированию по установленному режиму. Для контроля алитирования в таких случаях применяют образцы (свидетели), подвергавшиеся алитированию с этими изделиями в первый раз. Тонкостенные изделия алитировать следует не более двух раз.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем разница между процессами алитирования, калоризации и алюминирования?
2. В чем состоит защитное действие алитированного слоя при высоких температурах?
3. Почему продолжительность службы алитированного изделия ограничена сравнительно коротким промежутком времени?
4. Чем нужно руководствоваться при выборе глубины алитированного слоя для изделия?
5. Какое назначение имеет прибавление нашатыря к смеси для алитирования?
6. Почему температуру алитирования принимают для тонкостенных деталей ниже, чем для толстостенных деталей?
7. В чем особенность газовой сварки алитированных заготовок?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Минкевич и И. Зудин. Применение алитирования в промышленности. НКСМ СССР, Центральный дом техники, Москва, 1940.
2. С. В. Греков. Алитирование, как средство предохранения стали от окисления при высокой температуре. ЦИТЭИН, Госплан СССР, № 32, Москва, 1940.
3. А. Годовко. Алитирование выхлопных патрубков и глушителей. НИИ ГВФ, (V сборник).
4. Zeerleder, Korrosion und Metallschutz, 1936, № 10.

## ПРОГРАММА ЛЕКЦИЙ

### ЗАОЧНЫХ КУРСОВ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Под общей редакцией акад. И. П. БАРДИНА

#### РАЗДЕЛ I. Вводный

Под редакцией акад. И. П. БАРДИНА

- Лекция 1.** Доц. А. К. Тимашев. Проблема экономии цветных металлов  
**Лекция 2.** Инж. Л. М. Камнионский. Организация экономии цветных металлов.  
**Лекция 3.** Инж. А. М. Касаткин. Экономия цветных металлов при конструировании.

#### 1-й ПОТОК

#### РАЗДЕЛ II. Антифрикционные и литейные сплавы и их заменители

Под редакцией проф. докт. М. П. СЛАВИНСКОГО

- Лекция 4.** Канд. техн. наук доц. Я. С. Галлай. Требования к антифрикционным материалам и методы испытаний.  
**Лекция 5.** Инж. А. И. Шпагин. Оловянистые баббиты и их заменители  
**Лекция 6.** Доц. А. С. Андреев, канд. техн. наук А. Е. Вол, канд. техн. наук доц. Я. С. Галлай, инж. И. К. Клан. Антифрикционные, литейные сплавы и их заменители.  
**Лекция 7.** Канд. техн. наук М. Е. Дриц и инж. С. В. Виноградов. Антифрикционные цветные сплавы на не медной основе.  
**Лекция 8.** Инж. П. Е. Лямин. Биметаллические втулки.  
**Лекция 9.** Канд. техн. наук Б. Е. Архангельский. Пластмассы — заменители цветных металлов в машиностроении.  
**Лекция 10.** Инж. В. А. Степанен и канд. техн. наук Б. Е. Архангельский. Текстолит как антифрикционный материал.  
**Лекция 11.** Доц. Я. С. Галлай. Антифрикционные древесные пластмассы.  
**Лекция 12.** Доц. Н. И. Фейгин. Антифрикционный серый чугун.  
**Лекция 13.** Инж. Н. П. Шумилов. Ковкий антифрикционный чугун.  
**Лекция 14.** Инж. К. П. Бунин и инж. П. Ф. Фесечко. Металлокерамические антифрикционные сплавы. Стальные подшипники.  
**Лекция 15.** Доц. С. А. Кушакевич. Биметалл.  
**Лекция 16.** Инж. А. И. Шпагин. Экономия цветных металлов в пайке и техническом лужении.

#### РАЗДЕЛ III. Современные методы обработки цветных металлов и использование их отходов

Под редакцией проф. Н. Н. МУРАЧА

- Лекция 17.** Доц. А. Вол и др. Литые сплавы цветных металлов.  
**Лекция 18.** Инж. Осокин. Современные печи для плавки цветных металлов.  
**Лекция 19.** Инж. Г. Г. Пузыкин, инж. П. Е. Лямин и инж. В. М. Пляцкий. Новые методы литья.



4228

**ЗАКАЗНОЕ**

- Лекция 20. Инж. С. М. Миллер. Сбор и подготовка отходов цветных металлов.
- Лекция 21. Инж. С. С. Крашенников. Переработка вторичных металлов и сплавов.
- Лекция 22. Доц. Раевский. Сварка цветных металлов.
- Лекция 23. Инж. Землянских и др. Восстановление изношенных и бракованных изделий из цветных металлов.

2-й ПОТОК

РАЗДЕЛ IV. Химически-стойкие материалы—заменители цветных металлов

Под редакцией проф.-докт. В. О. КРЕНИГА и проф. К. А. ПОЛЯКОВА

- Лекция 24. Проф. докт. В. О. Крениг и проф. К. А. Поляков. Коррозия металлов и сплавов и химическое сопротивление материалов.
- Лекция 25. Инж. Ф. Б. Сломьянская и инж. Л. Н. Сергеев. Коррозия и методы защиты от нее цветных и легких сплавов.
- Лекция 26. Инж. Ф. Ф. Химушин. Химически-стойкие стали и чугуны.
- Лекция 27. Проф. К. А. Поляков. Естественные кислотоупоры и каменное литье.
- Лекция 28. Инж. И. Д. Финкельштейн и инж. В. З. Островский. Керамика, фарфор и эмаль.
- Лекция 29. Проф. К. А. Поляков и инж. Г. А. Балалаев. Кислотоупорные цемент и бетон.
- Лекция 30. Проф. К. А. Поляков и инж. В. А. Притулла. Органические химически-стойкие материалы на основе каучука и битумно-дегтевые.
- Лекция 31. Инж. Б. И. Аненков и доц. И. Я. Клинов. Химически-стойкие материалы на основе фенол-альдегидных и др. смол и непластические.

РАЗДЕЛ V. Металло- и химпокрытия

Под редакцией проф. Ю. В. БАЙМАКОВА  
и проф. В. И. ЛАЙНЕРА

- Лекция 32. Инж. Н. Н. Птичкин. Теоретические основы гальваностегии.
- Лекция 33. Инж. А. И. Левин. Подготовка поверхности к покрытию.
- Лекция 34. Инж. Б. Д. Лаговский. Лужение.
- Лекция 35—36. Д. А. Попов. Меднение и никелирование.
- Лекция 37. Инж. Ю. Б. Федоров и инж. В. И. Архаров. Хромирование.
- Лекция 38. Инж. Р. Б. Красильщиков. Цинкование и кадмирование.
- Лекция 39. Инж. И. Л. Головин. Алитирование.
- Лекция 40. Канд. техн. наук П. П. Беляев. Свинцование.
- Лекция 41. Инж. Ф. Б. Сломьянская и инж. Г. Ф. Юрьев. Фосфатирование и нитрирование.
- Лекция 42. Инж. А. М. Ямпольский. Оксидирование черных и цветных металлов для защиты от коррозии.
- Лекция 43. Инж. Е. Ф. Беленький. Лакокрасочные покрытия.
- Лекция 44. Справочник по экономии цветных металлов.

9352  
190

ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЗАОЧНЫЕ КУРСЫ  
ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

ЭКОНОМИЯ ЦВЕТНЫХ  
МЕТАЛЛОВ

Курс лекций

Лекция

40





## ТОВАРИЩИ!

В дни великой Отечественной войны с германскими фашистами и их приспешниками, заливающими кровью нашу родную землю, творческая мысль рабочих и инженеров бьется с удвоенной энергией над улучшением и усовершенствованием производства продукции, необходимой для разгрома гитлеровских полчищ.

Ускорение и упрощение методов производства, замена дефицитных материалов недефицитными или более экономное их расходование прямо и непосредственно претворяются в дополнительное оружие для фронта, в дополнительные тонны металла, которые будут обрушены на головы врагов.

В эти грозные дни более чем когда-либо необходимо, чтобы достижения одного завода, цеха, отдельного работника быстро становились достижениями всего производственного фронта страны.

Центральные заочные курсы по существу своей работы помогают разрешению именно этой задачи. Чтобы выполнить ее добросовестно и исчерпывающе, необходимо чтобы Вы не были пассивны в этой работе.

Сообщайте нам о Ваших достижениях, усовершенствованиях и изобретениях, проверенных на практике для широкого распространения их через наших слушателей.

Как бы Вы ни были заняты, Вы должны найти время для передачи передового опыта другим предприятиям. Это Ваш долг перед родиной.

Помните, что творческая техническая инициатива — наше самое грозное оружие в борьбе за победу.

Помогите полностью использовать ее полезные результаты по всей стране для ускорения разгрома врага.

ДИРЕКЦИЯ КУРСОВ

ДИРЕКЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗАОЧНЫХ КУРСОВ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Директор: академик И. П. БАРДИН

Заместитель директора: инженер-экономист Г. Ф. РУДЕНКО

Заместитель директора по научно-педагогической части: доцент Я. С. ГАЛЛАЙ

Адрес курсов:

Свердловск. Втузгородок, Институт металлов, комн та № 16

## ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЗАОЧНЫЕ КУРСЫ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Я 352  
Л 90

РАЗДЕЛ V

МЕТАЛЛО- И ХИМПОКРЫТИЯ

ЛЕКЦИЯ 40

Канд. хим. наук П. П. БЕЛЯЕВ

## СВИНЦЕВАНИЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ  
Свердловск 1943 Москва



## ГЛАВА I

### СВИНЦЕВАНИЕ

#### § 1. Области применения свинцевания

В связи с широким развитием химической и оборонной промышленности свинцевание как метод повышения коррозионной стойкости изделий при одновременной экономии свинца получило промышленное применение в практике заграничных производств и в советской промышленности.

Свинцом можно покрывать автоклавы, вакуум аппараты, вентиляционные камеры, кислотоотстойники, кристаллизаторы, фильтры, газопроводы, холодильники, подогреватели и другие виды аппаратуры в производстве целлюлозы, аммиака, серной, плавиковой, фосфорной кислоты и их солей. Следует отметить, что номенклатура подлежащей свинцеванию аппаратуры за последние годы резко уменьшилась за счет расширения применения неметаллических обкладок: фаолита, резины, неорганических футеровок. Все же для изделий, требующих высокой теплопроводности, свинцевание стальной основы аппаратов остается до настоящего времени одним из необходимых производственных мероприятий.

Свинцеванию подвергается не только химическая аппаратура. В электротехническом производстве покрывают свинцом броню кабелей, бергмановские трубки, подвесы высоковольтных изоляторов, контакты клемм, рубильники. В металлообрабатывающей промышленности свинцевание находит самое разнообразное применение. Свинцуют огнетушители, тару под бензин, части водопроводного и канализационного оборудования. В Германии одно время свинцевали фермы железнодорожных сооружений.

В американской литературе есть указания на применение свинцевания и для предметов вооружения: оболочки газовых баллонов, газовых гранат и газовых бомб.

За последние годы свинцеванием широко пользуются вместо лужения.

#### § 2. Химическая стойкость свинца

Свинец обладает малой химической активностью и слабо реагирует со многими газообразными и жидкими химическими веществами. В частности тонкая окисная пленка, образующаяся на поверхности, особенно во влажной атмосфере, предохраняет металл от дальнейшего окисления. В присутствии углекислоты на поверхности свинца получается пленка нерастворимого в воде углекислого свинца.

Свинец очень слабо растворяется в серной кислоте умеренной концентрации. Он стоек по отношению к действию сульфатов, хлоридов, фторидов,



43-2596



плавиковой кислоты, серной кислоты и разбавленной соляной кислоты, а также воды, особенно водопроводной, и, наконец, промышленных газов, содержащих сернистый ангидрид.

Свинец не противостоит действию разбавленной азотной и концентрированной соляной кислоты, особенно при нагревании. В заметном количестве свинец растворяется органическими кислотами. Это препятствует применению свинца для аппаратуры и тары, соприкасающейся с пищевыми продуктами.

Чем меньше свинец содержит примесей, тем пассивнее он к агрессивным средствам. Примеси меди, золота, серебра, платины и других металлов, создавая микроэлементы, содействуют быстрейшему разрушению свинца.

Особенно большой химической стойкостью обладает чистый (электролитический) свинец.

При рассмотрении защитной способности свинцового покрытия необходимо учитывать его электрохимические свойства. В электрическом ряду напряжения свинец электроположительнее железа и электроотрицательнее меди. Вследствие этого в кислых и нейтральных водных растворах он надежно защищает стальные изделия только при отсутствии пор в покрытии. В открытых участках прилегающий свинец не только не защищает основы стального изделия, но и ускоряет коррозионный процесс под действием дополнительной электродвижущей силы.

Наоборот, в щелочных (в том числе и в слабощелочных) растворах свинцовое покрытие защищает стальное изделие по типу анодных покрытий. В данном случае пористость свинцового слоя не имеет таких последствий, как при действии кислот.

### § 3. Сравнение методов свинцевания

Свинцевание можно производить несколькими способами: 1) холодным — электролитическим и 2) горячим — гомогенным, погружением изделия в расплавленный свинец и металлизацией.

В зависимости от выбранного способа стоимость и качество покрытия сильно изменяются.

Лучшее покрытие по коррозионной стойкости дает электролитический способ свинцевания. Он позволяет нанести непосредственно на сталь химически чистый свинец в виде плотного мелкозернистого, равномерного покрытия светлосерого цвета.

Электролитическое покрытие способно дать стальной основе эквивалентную по коррозионной стойкости защиту при толщине слоя, в два-три раза меньшей, чем при металлизации, и в полтора раза меньшей по сравнению с горячим способом погружения изделий в расплавленный свинец. Электролитическое покрытие в некоторых случаях способно заменить гомогенный способ и даже является единственным возможным способом свинцевания в толстых слоях покрытия, например при нанесении защитного слоя на внутреннюю поверхность труб. Электролитический способ свинцевания при тонких покрытиях стал применяться сравнительно недавно, до этого применялся только горячий способ погружения изделий в расплавленный металл.

Гомогенное свинцевание (наплавление свинца в атмосфере восстановительного газа) применяют в тех случаях, когда коррозионный процесс дополняется эрозийным действием. Толщина слоя в этом случае обычно превышает 1 мм. Изделие получается прочным по конструкции и высококоррозионностойким. Обнажившиеся в результате разъедания свинца участки металла-основы могут быть заделаны тем же способом.

Гомогенно освинцованная аппаратура служит в производстве дольше, чем свинцовая. Для лучшего сцепления свинца со сталью при гомогенном

свинцевании требуется наносить подслои олова или оловянного сплава. При толщинах покрытия выше 1 мм гомогенный способ является единственно целесообразным и наиболее экономичным из всех способов свинцевания. Когда требуется нанести слой свинца толщиной меньше чем в 0,5 мм, гомогенный способ не применим.

Свинцевание изделий погружением в расплавленный металл, хотя и дает довольно пористое покрытие, однако до последнего времени находит применение на практике, так как при этом заполняются все швы и таким образом совмещаются процессы покрытия и пайки. Кроме того, способ требует незначительной затраты времени и несложного оборудования. Вследствие невысокой коррозионной стойкости защитного слоя свинца, полученного горячим способом путем погружения изделия в расплавленный металл, производятся изыскания способов замены свинца или повышения защитной способности свинцового слоя.

Металлизация — покрытие распылением — дает рыхлый, пористый слой, содержащий большое количество окислов, вследствие чего сцепление покрытия со стальной основой изделия очень слабо. Способ пригоден для заделки местных пороков в тонких покрытиях.

## ГЛАВА II

### ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ СВИНЦЕВАНИЕ

#### § 1. Электролиты для свинцевания

Электролитическое свинцевание производится из водных растворов двухвалентных солей. Для гальванотехнических целей электролит должен быть составлен из соли хорошо растворимой и дающей стабильный раствор. Соль должна быть доступна по стоимости и не дефицитна по исходным материалам. Принятые в гальванотехнике меди, никеля и цинка сернокислые и хлористые соли не применимы для свинцевания в водных растворах вследствие малой их растворимости. По этой же причине непригодны и цианистые растворы (табл. 1).

Таблица

Растворимость свинцовых соединений в воде

Наименование	Формула	Растворимость в воде, г/л	Температура, °С
Окись свинца (глет)	PbO	0,017	20
Сернокислый свинец	PbSO <sub>4</sub>	0,004	20
Хлористый свинец	PbCl <sub>2</sub>	0,96	20
Фтористоводородный свинец	PbF <sub>2</sub>	0,064	18
Углекислый свинец	PbCO <sub>3</sub>	0,00017	20
Азотнокислый свинец	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	34,3	20
Уксуснокислый свинец	Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	38,8	15
Борфтористоводородный свинец	Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Легко растворим	Комнатная
Кремнефтористоводородный свинец	PbSiF <sub>6</sub>	То же	То же
Перхлорат свинца	Pb(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	То же	То же
Цианистый свинец	Pb(CN) <sub>2</sub>	Мало растворим	То же
Парафенолсульфонокислый свинец	Pb(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OHSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Легко растворим	То же
Метабензолдисульфокислый свинец	PbC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	То же	То же

Составы растворов, применяемых для электролитического осаждения свинца, можно разделить на две группы — кислые и щелочные растворы.



Нейтральных растворов в практике нет вследствие наличия гидролиза в этих растворах.

До последнего времени практическое применение для свинцевания имеют почти исключительно к и с л ы е электролиты. Из них наибольшее значение имеют: 1) растворы сложных фторидов, главным образом соли кремнефтористоводородной и борфтористоводородной кислот и 2) растворы сульфокислот.

Фтористоводородные кислоты (кремнефтористоводородная и борфтористоводородная) представляют группу электролитов, на основе которых практически осуществляется свинцевание производственных объектов.

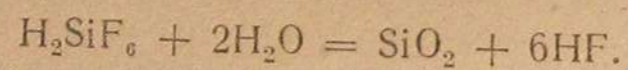
## § 2. Кремнефтористоводородный электролит

Кремнефтористоводородная кислота производится вблизи Москвы и на Урале. Она может быть легко получена как побочный продукт почти на каждом суперфосфатном заводе.

При работе с технической кислотой, полученной с завода, необходимо прежде всего убедиться в полноте связывания фтористоводородной кислоты. Если она присутствует в свободном состоянии, то первой операцией должно быть введение в жидкость (в избытке) силикагеля. Фтористый водород при этом связывается почти полностью. Тем не менее, для большей гарантии безопасности работы с электролитом и его хранения в кремнефтористоводородную кислоту вводят небольшое количество (до 0,5%) борной кислоты. В таком растворе фтор настолько связан, что хранение электролита в течение длительного времени возможно в стеклянной таре.

Примесью, от которой необходимо освободиться до приготовления свинцовой соли, является, как и при сульфокислотах, серная кислота. Она после аналитического определения удаляется рассчитанным количеством углекислого кальция.

Кремнефтористоводородный электролит работает только в присутствии свободной кислоты. В случае недостаточной кислотности наряду с выпадением основных солей начинается гидролиз кремнефтористоводородной кислоты по уравнению



Хотя эта реакция идет очень медленно, все же при работе с таким электролитом могут встретиться затруднения вследствие выпадения кремневой кислоты, что заметно повышает электросопротивление электролита и часто приводит к получению более хрупких катодных покрытий. Проверенным и дающим практически хорошие результаты является кремнефтористоводородный электролит, состав которого приведен в табл. 2.

Состав кремнефтористоводородного электролита Таблица 2

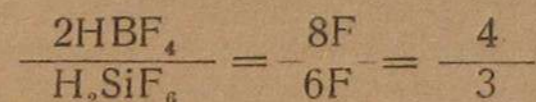
Наименование	Концентрация	
	Грамм-эквивалентов	г/л
Кремнефтористоводородный свинец	0,5	87,5
Свободная кремнефтористоводородная кислота	0,25	18
Борная кислота	—	5
Столярный клей	—	1

Температура электролита комнатная. Нагрев (не постоянный) допустим до 40—50°. Катодная плотность тока 1 а/дм<sup>2</sup>. Выход по току практически равен 100%.

Условия работы, отклонения в концентрации составных частей и способы корректировки электролита аналогичны сульфорастворам. Качество покрытия почти такое же, как из фенолсульфоэлектролита, с тем отличием, что из кремнефтористоводородных растворов получается иногда более слабое сцепление свинца со сталью.

## § 3. Борфтористоводородный электролит

Борфтористоводородные растворы ведут себя аналогично кремнефтористоводородным. Условия работы и способы корректировки идентичны описанным выше. Однако стабильность борфтористоводородного электролита значительно выше, чем кремнефтористоводородных растворов. Вследствие применения борной кислоты стоимость борфторидов должна быть выше, чем кремнефторидов. К этому добавляется большое содержание фторида при образовании борфтористоводородной кислоты в отношении, равном



Из других кислых электролитов хорошее качество покрытия свинцом дают перхлоратные растворы. Однако это продукт оборонной промышленности и на него ориентироваться не следует.

## § 4. Парафенолсульфоновый электролит

Сульфоновые электролиты представляют вторую группу растворов, применяемых для свинцевания.

Парафенолсульфокислота, являющаяся полупродуктом при производстве красителей, производится во всех основных химических районах, однако как самостоятельный продукт изготавливается только по заказу. Поэтому гальванотехникам иногда приходится самим производить сульфирование фенола. Это операция не сложная. Требуется лишь фенол и серная кислота в виде моногидрата. Изготовление производится в эмалированном котле с крышкой при подогреве до 120°. Парафенолсульфокислота получается в виде концентрированного (до 50%) водного раствора цвета чая. Она почти всегда, даже если получена по заказу с химического предприятия, содержит примесь серной кислоты. Последняя удаляется осаждением в виде сульфата при введении рассчитанного количества углекислого кальция.

Жидкость отфильтровывается или декантируется и идет на подготовку свинцовой соли или употребляется в качестве корректирующей добавки в действующий электролит.

Свинцовая соль готовится нейтрализацией (не полностью) парафенолсульфокислоты углекислым свинцом или глетом. В первом случае реакция

Состав рекомендуемого парафенолсульфонового электролита Таблица 3

Наименование	Концентрация	
	грамм-эквивалентов	г/л
Парафенолсульфокислый свинец	0,5	138
Свободная парафенолсульфокислота	0,25	43,5
Столярный клей	—	1



идет с бурным выделением углекислоты и при наличии чистых реактивов осадков не остается. Растворение глета протекает медленно и часто не полностью, так что для практического использования эта реакция не всегда удобна. Состав электролита, дающего практически хорошие результаты по качеству покрытий, приведен в табл. 3.

Температура электролита комнатная. Нагрев допустим до 40—50°. Катодная плотность тока 1 а/дм<sup>2</sup>. Выход по току практически равен 100%. За 1 час электролиза получается слой свинцового покрытия толщиной 0,03 мм. Желательно, чтобы анодная плотность тока была равна катодной. Покрытие получается с хорошим пластичным сцеплением. Концентрация составных частей электролита может отклоняться в ту и другую сторону до 50%. В соответствии с этим несколько меняется и допустимая плотность тока. Чрезмерно высокая катодная плотность тока вызывает появление дендритных наростов на выступающих участках катода и более темный внешний вид покрытия, причем пластичность его понижается.

Толщина покрытий из сульфоновых электролитов может быть без больших осложнений доведена до 1 мм. При меньших толщинах покрытия катодная плотность тока может быть повышена в два-три раза, особенно если применять перемешивание электролита воздухом. При покрытии внутренней поверхности изделий необходимо учитывать, что с повышением катодной плотности тока в значительно большей степени возрастает анодная плотность тока. Чрезмерная анодная плотность тока приводит к усиленному шламообразованию на аноде, загрязнению раствора и повышению рабочего напряжения ванны. При правильно выбранных условиях электролиза растворы могут работать годами.

Основной вид корректировки электролита заключается в добавлении время от времени свободной парафенолсульфокислоты, так как аноды часть времени находятся без наложения тока под действием электролита и кроме того часть кислоты расходуется на растворение шлама. При односменной работе электролита кислоту и столярный клей необходимо вводить раз в одну-две недели.

Наличие в электролите примесей солей железа, цинка, олова и сурьмы не мешает обычно ходу электролиза. Примесь меди легко переходит в шламы. Железо и цинк могут накапливаться в растворе, но так как электролит обновляется за счет выноса на деталях, то количество цинка и железа не доходит до своего предела. Вследствие этого количественный анализ свинцового электролита необходим лишь для определения свинца (что производится сульфатным методом осаждения) и свободной парафенолсульфокислоты (титрованием щелочей после осаждения свинца сульфатом натрия).

### § 5. Метабензолдисульфоновый электролит

Из других сульфорастворов для свинцевания имеет значение метабензолдисульфокислота. Она получается сульфированием бензола. По сравнению с парафенолсульфокислотой метабензолдисульфокислота имеет преимущества при свинцевании. Вследствие двойного сульфирования бензольного кольца, при одинаковом весовом количестве исходной кислоты, концентрация в грамм-эквивалентах метабензолдисульфокислоты будет выше в отношении, равном:

$$\frac{\text{вес парафенолсульфокислоты}}{\text{вес грамм-эквивалента метабензолдисульфокислоты}} = \frac{174}{238:2} = 1,55.$$

Возможность иметь более высокую концентрацию свинцовой соли в бензолдисульфорастворе позволяет применять и более высокие плотности тока, примерно в два раза по сравнению с парафенолсульфокислыми растворами. По другим показателям работа обоих электролитов вполне аналогич-

на. В практике свинцевания метабензолдисульфоновые электролиты пока не нашли должного применения из-за ненадежности производства метабензолдисульфокислоты.

Затруднения с широким внедрением электролитического свинцевания вызываются в первую очередь затруднениями с получением солей. Вследствие этого до последнего времени не оставлены попытки использования для этих целей недефицитных и широко применяемых в химической промышленности уксуснокислых солей свинца. Несмотря на то, что эти электролиты изучались неоднократно и почти во всех возможных комбинациях, практического значения они пока не получили. Основным препятствием к их использованию служит высокая упругость паров уксусной кислоты, склонность к дендритообразованию и плохое сцепление.

### § 6. Щелочные электролиты

Необходимо вкратце остановиться на работе щелочных растворов, которые по литературным данным находят применение в заграничных производствах. Эти растворы дают хорошие покрытия при работе в подогретом состоянии (не ниже 60°). Необходимость нагрева электролита затрудняет использование его в производстве, так как затраты на нагрев снижают все технологические преимущества таких электролитов. Несмотря на это, щелочные электролиты имеют большую перспективу промышленного использования по трем причинам:

- 1) щелочные электролиты используют менее дефицитные, чем у кислых растворов, материалы;
- 2) щелочные электролиты дают возможность производить покрытия более профилированных изделий и обеспечивают более равномерные по толщине покрытия, чем из кислых растворов;
- 3) щелочные электролиты не требуют такого тщательного обезжиривания, как это необходимо в кислых растворах.

Оптимальный проверенный рецепт свинцевания из щелочных электролитов непосредственно на сталь указан в табл. 4.

Таблица 4

Наименование	Концентрация	
	грамм-эквивалентов	г/л
Уксуснокислый свинец	0,34	75
Едкий натрий	5	200
Сегнетова соль	—	50
Канифоль	—	6

Электролиз ведется при катодной плотности тока. Анодная плотность тока 0,5—1 а/дм<sup>2</sup>. Выход по току ~100%. Прочность сцепления свинца со сталью не меньше, чем в покрытиях кислых электролитов. Ванны — стальные. Можно пользоваться футеровкой плитками на цементе при условии нагрева ванны изнутри. В щелочных электролитах свинец склонен давать губчатый осадок.

### § 7. Свинцовооловянное покрытие

Для повышения механической прочности свинцовых покрытий без понижения их коррозионной стойкости в практике применяют часто покрытия сплавами свинца с оловом. Введение олова в свинец повышает твердость,

№ 6-В К



электропроводность свинца и одновременно уменьшает окисляемость поверхности покрытия, что особенно важно в электротехнике. Покрытие свинцово-оловянными сплавами можно получить электролитическим способом из кислых электролитов. В щелочных растворах длительное совместное осаждение свинца с оловом осуществить очень трудно из-за реакции взаимного вытеснения.

Покрытие свинцовооловянным сплавом можно произвести, применяя парафенолсульфоэлектролиты, состав которых приведен в табл. 5.

Таблица 5

Состав парафенолсульфоэлектролита, употребляемого для свинцовооловянного покрытия		
Наименование	Концентрация	
	грамм-эквивалентов	г/л
Парафенолсульфокислый свинец	0,45	124,5
Свободная парафенолсульфокислота	0,25	43,5
Парафенолсульфокислое олово	0,1	46,5
Столярный клей	—	1

Олово может быть введено в свинцовый электролит анодным раствором или замещением меди в парафенолсульфосоли на олово при реакции взаимного вытеснения. Температура электролита комнатная. Катодная плотность тока  $0,5—1 \text{ а/дм}^2$ . Выход по току на катоде  $80—90\%$ . Аноды — сплав свинца с оловом с соотношением  $90:10$  или  $80:20 = \text{Pb:Sn}$ . Состав катодного покрытия при постоянной плотности тока соответствует составу анодного сплава. При покрытии изделий сложного профиля необходимо учитывать некоторое изменение состава сплава по поверхности в зависимости от рельефа. На выступающих участках возможно повышенное содержание олова в покрытии. В углублениях, наоборот, вероятно большое содержание свинца в сплаве.

## § 8. Ванны и аноды для свинцевания

При работе с кислыми свинцовыми электролитами в большинстве случаев необходимо пользоваться гальваническими ваннами обычного типа. В качестве основного конструктивного материала можно применить защищенную от соприкосновения с раствором углеродистую сталь. Удобнее всего применять стальные эмалированные или выложенные фаолитом ванны. Для сульфокислот можно применять и керамику. Однако последняя непригодна для кремнефтористоводородных и борфтористоводородных растворов.

При отсутствии стальных ванн можно применить и деревянные ванны, выложенные руберойдом и залитые сверх него тугоплавким битумом. В качестве анодов обычно применяются соответственного размера листы свинца. Покрываемый объект помещается на токопроводящей подвеске, закрепленной на катодной штанге ванны. Так как кислые электролиты обладают невысокой рассеивающей способностью, то для более равномерного распределения толщины покрытия на стальных деталях более крупного габарита контактирование тока осуществляется в нескольких местах изделия.

При покрытии листов, ленты, проволоки и мелких изделий аноды имеют плоскую форму. Если свинцуется большой цилиндрический аппарат, то аноды также имеют форму цилиндра. При покрытии изделий со сложным профилем (большие углубления) приходится применять дополнительный

анод. Внешнюю и внутреннюю стороны трубы можно покрыть одновременно, применив два анода: один внутри трубы, а другой вне ее.

Если покрываемое изделие имеет форму сосуда с днищем и покрыть нужно только внутреннюю сторону, то никакой особой ванны не делается. Покрываемый аппарат может быть сам использован в качестве резервуара для электролита. Стенки аппарата служат при этом и дном ванны и катодом. Аноды помещают внутрь аппарата. Схема электролитической установки с внутренним анодом показана на рис. 1.

Цилиндрические аппараты диаметром  $0,5—0,75 \text{ м}$  и высотой  $\sim 1,5 \text{ м}$  следует покрывать внутри, пользуясь, по крайней мере, тройным кольцевым внешним контактом (рис. 2).

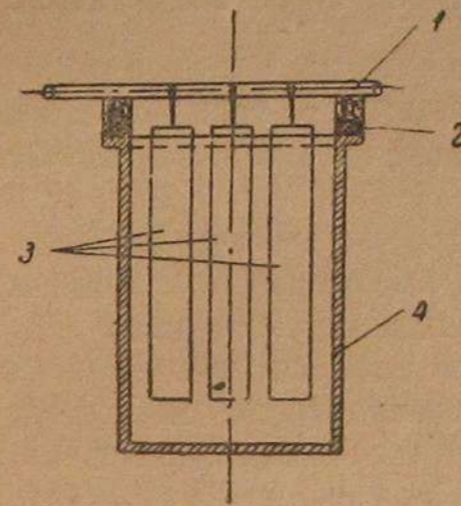


Рис. 1. Схема подвески анодов:

1 — медная штанга; 2 — резины; 3 — аноды; 4 — железный бак.

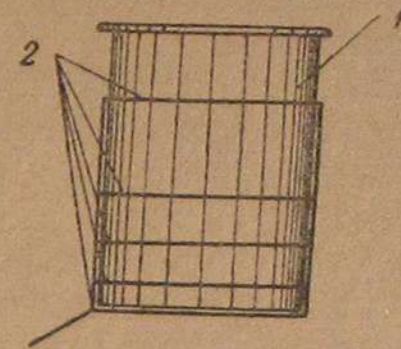


Рис. 2. Схема контактирования:

1 — железный бак; 2 — контактная проволока.

Выступающие далеко части штуцеров также целесообразно дополнительно контактировать с катодной штангой.

## § 9. Подготовка поверхности перед свинцеванием

Покрываемые свинцом изделия должны быть перед свинцеванием очищены от жировых загрязнений и от окалины. При этом, так как в твердой фазе между свинцом и железом отсутствуют процессы диффузии, то перед покрытием изделия должны быть подготовлены соответствующим образом (см. лекцию 33).

## § 10. Технологический процесс свинцевания

После подготовки поверхности к покрытию идут следующие операции.

1. Электролиз в кислых растворах. При катодной плотности тока  $1 \text{ а/дм}^2$  в 1 час отлагается слой свинца толщиной  $\sim 0,003 \text{ мм}$ . Покрываемое изделие подвешивают на штанги, заранее включенные в электрическую цепь. При появлении дендритных наростов их удаляют механически, поверхность выравнивают, и изделие поступает под новое покрытие. При перерывах электролиза изделие подвешивают вновь на штанги с выключенным в цепи током. Ток включают через  $0,25—0,5 \text{ мин}$ . после завески изделия.

2. Промывка водой в сборном бачке (быстро).

3. Промывка в проточной горячей воде ( $80—90^\circ$ ) до полного удаления остатков электролита. Операция длится обычно не дольше  $2—3 \text{ мин}$ .

4. Сушка обдувкой горячим воздухом или в печи при температуре  $100—110^\circ$ . Длительность  $2—5 \text{ мин}$ .



Покрyтие контролируют проверкой по внешнему виду — покpытие должно быть сплошным, равномерным, светлосерым, мелкозернистым, без дендритов—и проверкой в соответствии с техническими условиями на толщину слоя, пористость, сцепление и коррозионные свойства.

## ГЛАВА III

### ГОРЯЧИЙ СПОСОБ СВИНЦЕВАНИЯ

#### § 1. Преимущества и недостатки горячего способа

Серьезным конкурентом электролитическому свинцеванию является горячий способ покpытия изделий погружением в расплавленный металл. Этот способ до последнего времени применяется в производствах в довольно широких масштабах.

К преимуществам способа относятся простота оборудования, быстрота работы и возможность покpывать изделия, имеющие швы, причем операция покpытия совмещается по времени с операцией пайки шва.

Отрицательные стороны разбираемого способа заключаются: в необходимости вводить в свинец добавки остродефицитных металлов, например олово, сурьму, в получении менее коррозионностойких покpытий по сравнению с электролитическими и во вредности работы из-за наличия в воздухе около свинцевальной установки большого количества свинцовой пыли. При горячем свинцевании вследствие отсутствия между свинцом и железом заметного процесса диффузии в твердом состоянии и при соприкосновении стали с расплавленным свинцом необходимы легирующие добавки олова или сурьмы. Этим объясняется невозможность получения при горячем покpытии удовлетворительного сцепления чистого свинца со сталью.

#### § 2. Процесс горячего свинцевания

Горячим свинцеванием называют покpытие свинцовыми сплавами. Основные подготовительные операции при горячем свинцевании состоят, как и при электролитическом покpытии, в удалении жировых пленок и окислов. Кроме того, добавляется обработка изделия флюсом (раствором хлористого цинка). Поэтому травление изделий производят только в растворе соляной кислоты.

Последовательность операции при горячем свинцевании следующая:

- 1) обезжиривание (как перед электропокpытием);
- 2) промывка в холодной проточной воде;
- 3) травление в 10—20%-ном растворе соляной кислоты, нагретой до 50—60°;
- 4) флюсование — погружение изделия (или ополаскивание) в 10—20%-ном растворе хлористого цинка в воде;
- 5) покpытие — погружение на 0,25—0,5 мин. изделия в расплавленную нагретую до 320—400° массу, содержащую свинец с сурьмой, свинец с оловом или свинец с сурьмой и оловом; минимальное содержание олова в свинце при двойной смеси редко бывает ниже 10%, так как начинает резко возрастать вязкость расплава. По тем же причинам содержание сурьмы обычно составляет не меньше 3%. Часто применяемый тройной сплав содержит 83% Pb; 10% Sn и 7% Sb;
- 6) контроль покpытия по внешнему виду и соответственно техническим условиям на толщину слоя, пористость, сцепление и коррозионную стойкость.

## ГЛАВА IV

### ЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ

#### § 1. Требования к защитному слою

Ввиду большого разнообразия подвергаемых свинцеванию изделий, требования к защитному слою также разнообразны. Однако часть из них можно считать типовыми. Так, при покpытии аппаратуры толстым слоем свинца требуется, чтобы изделие выдерживало срок службы не меньший, чем свинцовое покpытие. Электролитические и гомогенные покpытия часто удовлетворяют этим требованиям, несмотря на значительно меньшую затрату свинца. Это объясняется тем, что стальная деталь, освинцованная слоем толщиной 0,5—0,75 мм, например змеевик или коммуникационная труба, значительно лучше противостоят усилиям деформации во время эксплуатации, чем такая же свинцовая деталь с толщиной стенки 5—10 мм, хотя характер коррозионного процесса не меняется. Поэтому применение свинцевания позволяет интенсифицировать процессы, происходящие в аппаратах, так как рабочее давление внутри аппарата или коммуникации удается сильно повысить.

Толстые покpытия свинцом не должны иметь видимых глазом изъянов. Они должны быть равномерными по зернистости и цвету покpытия.

Толщина слоя может быть установлена микрометром или ручным магнитным прибором после соответствующей регулировки.

Гальванопокpытия при нагреве до 100° не должны давать пузырей. Этим проверяется сцепление покpытия с основным металлом. Гомогенное свинцевание специальным нагревом не проверяют, так как возникновение вздутий в покpытии легко обнаруживается в процессе наплавания свинца.

Более тонкие покpытия, полученные электролитическим способом или погружением изделия в расплавленный металл, должны контролироваться прежде всего на пористость и коррозионную стойкость. В щелочных растворах свинец, как указывалось выше, защищает стальные изделия аналогично цинкованию, т. е. при возникновении гальванопары разрушается в первую очередь свинец, защищая тем самым основной металл.

По германским данным, пористость свинцовых покpытий, определяемая ферроцианидной пробой (реактивом Юкера), допускается в две-три поры на 1 см<sup>2</sup>. Практически пористость для длительного хранения перед эксплуатацией, если покpытие не подвергается дополнительной обработке, должна быть значительно ниже. Толщина свинцового покpытия для горячего способа обычно бывает 0,02—0,03 мм при службе изделий в атмосфере, содержащей пары кислот, и для электролитического способа в аналогичных условиях 0,01—0,02 мм. Для более жестких условий эксплуатации, например у контактных деталей аккумуляторов, толщина покpытия может достигать до 0,1 мм.

Сцепление покpытия со сталью можно получить в тонких покpытиях настолько высоким, что на изгибе разлом образца ленты происходит без отслоения свинца. Такое же сцепление удается получить и при электролитическом покpытии свинцом непосредственно стали. По внешнему виду свинцовое покpытие должно быть равномерным, сплошным, серого цвета, без видимых резких потеков и без пятен ржавчины. В коррозионной солевой камере изделия, предназначенные для службы в атмосферных условиях, должны выдерживать без появления видимых пятен ржавчины 50 час.



## § 2. Дополнительная обработка свинцового покрытия

Для повышения защитной способности свинца в тонких покрытиях необходимо дополнительно обрабатывать его, что не всегда делается на практике. Применяются следующие способы обработки:

1. Закрытие пор легкой полировкой. Так как свинец мягок, то даже под действием кругов из морской травы каналы пор или закрываются полностью или становятся настолько узкими, что проникновение жидкости сквозь них сильно затрудняется.

2. Пассивирование поверхности. Пассивировать в первую очередь необходимо открытые в порах места стали. Одновременно пассивируется и поверхность свинцового покрытия. Пассиваторы принимают обычные, например раствор двухромистого калия.

3. Освинцованная поверхность обрабатывается путем кратковременного погружения ее в нагретый раствор оловянной соли. При этом непокрытые участки стали затягиваются пленкой олова в результате реакции взаимного вытеснения.

4. Нанесение смазки. По аналогии с горячим лужением резкое повышение коррозионной стойкости получается от кратковременного погружения изделий в нагретое масло. Можно наносить и применяемые в практике межоперационные смазки.

5. Для более агрессивных средств целесообразно иметь свинцовое покрытие как грунт под лакокрасочные пленки, например под битумные или фенолформальдегидные. Толщина свинцового подслоя в данном случае может быть понижена в два-три раза против обычного. Одновременно уменьшается и количество слоев органической пленки.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. От каких агрессивных средств можно защищать стальные изделия свинцовыми покрытиями?
2. Почему при покрытии медных сплавов и меди не имеет большого значения пористость свинцового покрытия?
3. Дайте сравнительную характеристику качества свинцовых покрытий, полученных различным способом.
4. Почему в практике свинцевания не применяются сернокислые, хлористые и уксуснокислые растворы?
5. Назовите основные мероприятия при корректировке кислых свинцовых электролитов.
6. Как изменятся свойства покрытия, если вместо чистого свинца наносить свинцовые сплавы?
7. Каким должен быть свинец при покрытии изделий погружением их в расплавленный металл?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев П. П. и Бирман Я. Н., Электролитическое свинцевание химмашпартуры. Журнал Химстрой, 1935, стр. 426.
2. Беляев П. П. и Бирман Я. Н., Электролитическое покрытие свинцовооловянным сплавом в металлопромышленности. Журнал Вестник металлопромышленности, № 9, 1937, стр. 88.
3. Беляев П. П. и Гуревич Я. Б., Электролитическое свинцевание. Журнал Химической промышленности, 1936, стр. 602.
4. Mathers Frank and Schwarzkopf, Электропокрытие свинцом из уксуснокислых растворов, Metal Finishing, № 10, 1940, стр. 533.
5. Беляев П. П., Электролитическое свинцевание в щелочных растворах. Журнал «Коррозия и борьба с ней», № 2, 1940, стр. 15.

## СОДЕРЖАНИЕ

Глава I. Свинцевание . . . . .	3
§ 1. Области применения свинцевания . . . . .	—
§ 2. Химическая стойкость свинца . . . . .	5
§ 3. Сравнение методов свинцевания . . . . .	4
Глава II. Электролитическое свинцевание . . . . .	4
§ 1. Электролиты для свинцевания . . . . .	—
§ 2. Кремнефтористоводородный электролит . . . . .	6
§ 3. Борфтористоводородный электролит . . . . .	7
§ 4. Парафенолсульфоновый электролит . . . . .	8
§ 5. Метабензолдисульфоновый электролит . . . . .	9
§ 6. Щелочные электролиты . . . . .	—
§ 7. Свинцовооловянное покрытие . . . . .	10
§ 8. Ванны и аноды для свинцевания . . . . .	11
§ 9. Подготовка поверхности перед свинцеванием . . . . .	—
§ 10. Технологический процесс свинцевания . . . . .	—
Глава III. Горячий способ свинцевания . . . . .	12
§ 1. Преимущества и недостатки горячего способа . . . . .	—
§ 2. Процесс горячего свинцевания . . . . .	—
Глава IV. Защитный слой . . . . .	1
§ 1. Требования к защитному слою . . . . .	—
§ 2. Дополнительная обработка свинцового покрытия . . . . .	14
Вопросы для самопроверки . . . . .	—
Литература . . . . .	—

Ответственный редактор Я. С. Галлай

Подписано в печ. 12/V-43 г.  
Печ. л. 1.  
Тираж 2000.

НС 00927  
Уч.-авт. л. 1,3.  
Зак. 0666.

Филиал 1-й Образцовой типографии Огиза РСФСР треста «Полиграфкнига»  
Свердловск, ул. Ленина, 47.



## ЗАКАЗНОЕ

- Лекция 20. Инж. С. М. Миллер. Сбор и подготовка отходов цветных металлов.  
Лекция 21. Инж. С. С. Крашенинников. Переработка вторичных металлов и сплавов.  
Лекция 22. Доц. Раевский. Сварка цветных металлов.  
Лекция 23. Инж. Землянский и др. Восстановление изношенных и бракованных изделий из цветных металлов.

### 2-й ПОТОК

#### РАЗДЕЛ IV. Химически-стойкие материалы—заменители цветных металлов

Под редакцией проф. К. А. ПОЛЯКОВА

- Лекция 24. Проф. докт. В. О. Кренин и проф. К. А. Поляков. Коррозия металлов и сплавов и химическое сопротивление материалов.  
Лекция 25. Инж. А. Е. Гопиус и инж. Л. Н. Сергеев. Коррозия и методы защиты от нее цветных и легких сплавов.  
Лекция 26. Инж. Ф. Ф. Химушин. Химически-стойкие стали и чугуны.  
Лекция 27. Проф. К. А. Поляков. Естественные кислотоупоры и каменное литье.  
Лекция 28. Инж. И. Д. Финкельштейн и инж. В. З. Островский. Керамика, фарфор и эмаль.  
Лекция 29. Проф. К. А. Поляков и инж. Г. А. Балалаев. Кислотоупорные цемент и бетон.  
Лекция 30. Проф. К. А. Поляков и инж. В. А. Притулла. Органические химически-стойкие материалы на основе каучука и битумно-дегтевые.  
Лекция 31. Инж. Б. И. Аненков и доц. И. Я. Клинов. Химически-стойкие материалы на основе фенол-альдегидных и др. смол и непластические.

#### РАЗДЕЛ V. Металло-и химпокрытия

Под редакцией проф. Ю. Б. БАЙМАКОВА  
и проф. В. И. ЛАЙНЕРА

- Лекция 32. Инж. Н. Н. Птичкин. Теоретические основы гальваностегии.  
Лекция 33. Инж. А. М. Ямпольский. Подготовка поверхности к покрытию.  
Лекция 34. Инж. Б. Д. Лаговский. Лужение.  
Лекция 35—36. Д. А. Попов. Омеднение и никелирование.  
Лекция 37. Инж. Ю. Б. Федоров и инж. В. И. Архаров. Хромирование.  
Лекция 38. Инж. Р. Б. Красильщиков. Цинкование и кадмирование.  
Лекция 39. Инж. И. А. Головин. Алитирование.  
Лекция 40. Канд. техн. наук П. П. Беляев. Свинцование.  
Лекция 41. Инж. Ф. Б. Сломьянская и инж. Г. Ф. Юрьев. Фосфатирование и нитрирование.  
Лекция 42. Инж. А. М. Ямпольский. Оксидирование черных и цветных металлов для защиты от коррозии.  
Лекция 43. Инж. Е. Ф. Беленький. Лакокрасочные покрытия.  
Лекция 44. Справочник по экономии цветных металлов.

9 352  
90

## ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЗАОЧНЫЕ КУРСЫ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

# ЭКОНОМИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Курс лекций

Лекция

41



## ТОВАРИЩИ!

В дни великой Отечественной войны с германскими фашистами и их приспешниками, заливающими кровью нашу родную землю, творческая мысль рабочих и инженеров бьется с удвоенной энергией над улучшением и усовершенствованием производства продукции, необходимой для разгрома гитлеровских полчищ.

Ускорение и упрощение методов производства, замена дефицитных материалов недефицитными или более экономное их расходование прямо и непосредственно претворяются в дополнительное оружие для фронта, в дополнительные тонны металла, которые будут обрушены на головы врагов.

В эти грозные дни более чем когда-либо необходимо, чтобы достижения одного завода, цеха, отдельного работника быстро становились достижениями всего производственного фронта страны.

Центральные заочные курсы по существу своей работы помогают разрешению именно этой задачи. Чтобы выполнить ее добросовестно и исчерпывающе, необходимо чтобы Вы не были пассивны в этой работе.

Сообщайте нам о Ваших достижениях, усовершенствованиях и изобретениях, проверенных на практике для широкого распространения их через наших слушателей.

Как бы Вы ни были заняты, Вы должны найти время для передачи передового опыта другим предприятиям. Это Ваш долг перед родиной.

Помните, что творческая техническая инициатива — наше самое грозное оружие в борьбе за победу.

Помогите полностью использовать ее полезные результаты по всей стране для ускорения разгрома врага.

ДИРЕКЦИЯ КУРСОВ

ДИРЕКЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗАОЧНЫХ КУРСОВ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Директор: академик И. П. БАРДИН

Заместитель директора: инженер-экономист Г. Ф. РУДЕЙКО

Заместитель директора по научно-педагогической части: доцент Я. С. ГАЛЛАЙ

Адрес курсов:

Свердловск Втузгородок, Институт металлов, комната № 16

В С Н И Т О  
ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО МЕТАЛЛУРГОВ  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

## ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ЗАОЧНЫЕ КУРСЫ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

9 352  
90

РАЗДЕЛ V

МЕТАЛЛО-и ХИМПОКРЫТИЯ

ЛЕКЦИЯ 41

ЧАСТЬ I

Инж. Ф. Б. СЛОМЯНСКАЯ

ФОСФАТИРОВАНИЕ

ЧАСТЬ II

Канд. техн. наук С. Ф. ЮРЬЕВ

НИТРИРОВАНИЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Свердловск 1943 Москва



ЧАСТЬ ПЕРВАЯ  
ФОСФАТИРОВАНИЕ

Инж. Ф. Б. Сломьянская

ГЛАВА I  
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФАТИРОВАНИЯ

Введение

Фосфатирование, называемое также паркеризацией, является одним из методов защиты черных металлов от коррозии и может, в некоторых случаях, заменять защитные покрытия из дефицитных цветных металлов. Под действием фосфорной кислоты на железо, на поверхности его образуется пленка, предохраняющая металл от коррозии. Антикоррозионная стойкость этой пленки не очень высока, и поэтому фосфатирование применяется главным образом для изделий, работающих в атмосферных условиях, но не в активных средах (кислотах, щелочах). Коррозионная стойкость фосфатной пленки на поверхности черных металлов существенно повышается при последующей обработке поверхности маслами. Преимущества фосфатированных изделий выявляются наиболее полно в комбинации с лакокрасочным покрытием. Фосфатная пленка является прекрасным грунтом под смазку и особенно под окраску.

В последнее время разработан ряд методов ускоренного фосфатирования, из которых наиболее широкое применение нашел метод бондеризации. Образующийся при бондеризации слой значительно (в 6—8 раз) менее стоек, чем фосфатный, но является прекрасным грунтом под лакокрасочные покрытия. Поэтому бондеризация наравне с фосфатированием может быть рекомендована в качестве одного из наиболее рациональных способов повышения адгезионной (сцепляющей) способности пленок. Кроме того в случае механического повреждения лакокрасочной пленки на фосфатированной или бондеризованной поверхности металла, процесс ржавления в большинстве случаев локализуется и не распространяется дальше под пленку.

§ 1. Основные свойства фосфатированной поверхности

Твердость фосфатированной поверхности ниже, чем нефосфатированной (табл. 1).

Таблица 1  
Сравнение твердости ( $H_v$ ) фосфатированной и нефосфатированной поверхности

Материал	Нефосфатированная	Фосфатированная
Цементированная незакаленная сталь . . . . .	182	69
Цементированная закаленная сталь . . . . .	555	135



2596

43-



Для закаленной цементированной стали разница между твердостью фосфатированного и нефосфатированного образца значительна. Для нецементированных образцов незакаленных и закаленных разница эта между твердостью фосфатированной и нефосфатированной стали незначительна.

При фосфатировании магнитная проницаемость основного металла полностью сохраняется. Электрическое сопротивление фосфатного слоя очень велико и выдерживает пробивное напряжение в ряде случаев до 1000 в, вследствие чего на фосфатную пленку не удается нанести гальванические покрытия.

Само по себе фосфатное покрытие без пропитки устойчиво в маслах, бензоле, толуоле, горючих, во всех газах, кроме сероводорода, но оно не защищает от действия аммиака, воды, водяного пара и минеральных кислот; после дополнительной обработки маслом или покрытия лаком антикоррозионные свойства резко повышаются (табл. 2).

Таблица 2  
Коррозионная стойкость стали с различными покрытиями  
(Туманная камера с 3%-ным раствором NaCl)

Таблица 2

Характер обработки поверхности стали	Время до появления первых очагов, в часах
Необработанная сталь . . . . .	0,1
Никелирование . . . . .	10—13
Хромирование . . . . .	23—24
Фосфатирование с пропиткой маслом . . . . .	40—48
» » парафином . . . . .	60
Необработанная сталь с двумя слоями масляного лака горячей сушки <sup>1</sup> . . . . .	70
Фосфатирование с двумя слоями масляного лака горячей сушки . . . . .	более 500

<sup>1</sup> См. лекцию 43.

Фосфатный слой обладает довольно значительной теплостойкостью — 500—600° и при этом совершенно не смачивается расплавленным металлом. Последнее свойство фосфата используют в технике, если желательно, чтобы деталь или часть ее не покрывалась металлом: так, например, положительный эффект дало фосфатирование головок шатунов с целью устранения налипания баббита на незаливаемые им поверхности шатуна.

## § 2. Области применения фосфатирования

Фосфатирование применяется главным образом для нелегированной (углеродистой) стали и чугунов. Хотя специальная сталь хорошо фосфатируется, однако опыт показал, что стойкость фосфатированной легированной стали не превышает стойкости фосфатированной углеродистой стали.

Применение фосфатирования с последующей смазкой целесообразно только для изделий, работающих в атмосферных условиях. В случае же покрытия лаком, т. е. когда фосфатная или бондероидная пленка является грунтом, — применение их зависит от стойкости лаковых пленок.

Вследствие своей недостаточной прочности фосфатирование неприменимо для трущихся деталей, что не исключает широкого применения фосфатирования для болтов, гаек и т. п.

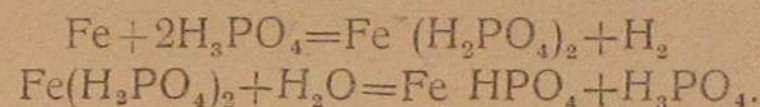
Фосфатирование применяется для крепежных деталей, скобяного товара, инструмента, деталей пишущих и счетных машин, деталей изделий точной индустрии и т. д., т. е. во всех случаях, когда изделия работают в атмосферных условиях и к их покрытиям, в первую очередь, предъявляются требования защитных свойств, не декоративный вид. Кроме того широкое применение фосфатирование нашло как грунт под лакируемые части авто-, вело-, сельскохозяйственных и других машин. Фосфатирование применяют также для различных деталей оружия, боеприпасов, амуниции, подъемных сооружений, деталей текстильных машин, насосов, баков для горячей воды и др.

## ГЛАВА II

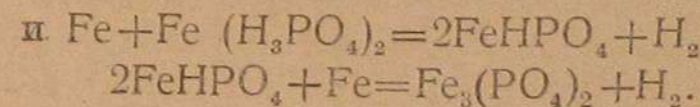
### ПРОЦЕСС ФОСФАТИРОВАНИЯ

#### § 1. Химизм процесса

При воздействии фосфорной кислоты на железо образуются растворимые и нерастворимые кислоты и основные фосфаты. Образование нерастворимых фосфатов не может иметь места до тех пор, пока определенное количество железа не перейдет в раствор в виде растворимых однозамещенных фосфатов:



Для практики фосфатирования имеет большое значение то, что в растворе, содержащем однозамещенный фосфат железа, не происходит дальнейшего растворения железа, а образуются благодаря обменной реакции нерастворимые фосфаты:



При этом не происходит потери веса обрабатываемых в фосфатной ванне изделий.

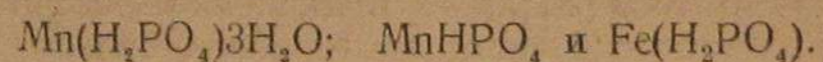
Как видно из приведенных формул, вначале происходит образование однозамещенных, затем двузамещенных и, наконец, трехзамещенных фосфатов железа. В холодном растворе имеет место образование кислых растворимых солей, а в горячем — реакция идет по схеме, указанной выше.

Поскольку поверхность металла никогда не бывает совершенно однородной (см. лекцию 24, главу II, § 6), а имеет анодные и катодные участки — процесс фосфатирования можно представить как электрохимический процесс, при котором на катоде выделяется водород в форме газа, а на аноде ионы металла образуют с ионами электролита нерастворимые соединения.

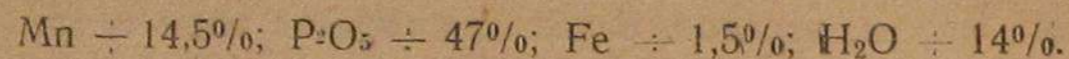
Осаждение на поверхности фосфатируемого изделия солей  $\text{FeHPO}_4$  и  $(\text{Fe}_3\text{PO}_4)_2$  является, повидимому, второй стадией процесса фосфатирования, причем при этом имеет место образование свободной фосфорной кислоты, что и обеспечивает непрерывность процесса фосфатирования. На участках, где образуется фосфатная пленка, фосфатирование прекращается и когда вся поверхность металла покрыта фосфатной пленкой и доступ раствора к металлу приостанавливается, фосфатирование заканчивается, что можно заметить по прекращению выделения пузырьков водорода.



Состав фосфатной пленки зависит как от ведения технологического процесса, так и от состава фосфатной ванны. Многочисленными опытами установлено, что наиболее коррозионно-стойкой является пленка, состоящая из солей марганца и железа. Выпускаемый марганцовый препарат для фосфатирования «Мажеф» состоит из



Состав препарата в весовых процентах следующий:



Наличие в фосфатирующем препарате закисного железа способствует не только образованию качественной пленки, но предохраняет также железные изделия от стравливания.

## § 2. Подготовка поверхности изделий под фосфатирование

Получение качественной коррозионно-стойкой фосфатной пленки в большей степени зависит от правильно проведенной подготовки изделий под фосфатирование. В настоящее время можно считать установленным, что обдувка песком дает идеальную очистку под фосфатирование. Только если по каким-либо причинам (отсутствие соответствующего оборудования, сложная конфигурация деталей и т. п.) проведение обдувки песком невозможно, ее приходится заменять механической или химической обработкой поверхности.

Подготовка поверхности под фосфатирование заключается в снятии с изделий жира и загрязнений и удалении окислов (подробнее — см. лекцию 33).

## § 3. Подготовка ванны и фосфатирование

Фосфатирование производят при концентрации препарата «Мажеф» в 27—32 г/л.

При изготовлении раствора необходимо учесть, что растворение препарата происходит с частичным его разложением и с выделением на дно ванны осадка, так называемого «шлама». Поэтому обычно отвешивают некоторый избыток препарата — 34—35 г/л. Это количество препарата смешивают с двойным количеством воды (или для работающей ванны с раствором из нее), которую подают в ванну, подогретую до 70—80°. Затем раствор кипятят несколько минут и снижают температуру на 1—2°. При этом шлам садится на дно и раствор осветляется.

Если ванна фосфатирования не была еще в работе, то при первой зарядке стенки ее начинают покрываться фосфатом и с поверхности их начинает выделяться водород. По окончании выделения водорода добавляют воды до первоначального объема, определяют концентрацию препарата в ванне (см. главу II, § 5) и добавляют необходимое количество его до нормальной рабочей концентрации. Затем раствор в ванне перемешивают, кипятят 5 минут, снижают температуру ванны как указывалось выше.

После осветления ванна готова к загрузке.

Крупные детали подвешивают на железных крюках, а мелкие загружают в решетчатые корзины. Фосфатирование производят при 97—99°. Продолжительность фосфатирования около часа, причем концом процесса является прекращение выделения пузырьков водорода с поверхности деталей. После прекращения выделения водорода оставляют изделия в ванне еще на 5, а рельефные детали — на 10 минут.

Промытые в горячей воде и высушенные фосфатированные детали поступают под смазку и окраску.

При применении технического вазелина или другой консистентной смазки рекомендуется смазывание проводить в расплавленной смазке.

## § 4. Бондеризация

Бондеризация является одним из ускоренных методов фосфатирования, и вследствие пониженной стойкости бондероидной пленки относительно фосфатной — бондеризации применяется только как грунт под лакокрасочные покрытия.

При бондеризации применяется тот же препарат «Мажеф», к которому прибавляют окись меди или углекислую медь и азотнокислый натр (окислитель)

При погружении железных изделий в фосфатирующую ванну, в которой присутствует ион электроположительного металла — меди, на поверхности железа осаждается медь.

Ускорение процесса обуславливается возрастанием катодных участков (меди) на фосфатируемом изделии и более высокой разностью потенциалов между катодными и анодными участками. Лучшие результаты получаются при содержании меди 0,08 г/л.

Окись меди прибавляют в количестве 1% от веса препарата «Мажеф» (при пользовании углекислой или фосфорнокислой медью — производят соответствующий пересчет). При этом образуются плотные покрытия коричневого цвета. При более высоком содержании меди в растворе получается темнубурый губчатый налет.

Фирма «Паркер» выпустила препарат для бондеризации, содержащий 70% препарата «Мажеф», 24,97%  $\text{NaNO}_2$  и 0,03%  $\text{CuCO}_3$ .

Технологический процесс бондеризации включает те же операции, что и при фосфатировании. Однако после обезжиривания деталей нет необходимости столь тщательно удалять следы окислов на металле.

Пескоструйная очистка под бондеризацию не дает такого эффекта как под фосфатирование, поскольку она не улучшает защитных свойств малостойкой (без последующей отделки) бондероидной пленки.

При бондеризации широко применяют травление деталей с последующей нейтрализацией их в содовом растворе и с обязательной последующей промывкой в горячей воде, так как при пользовании окисью меди остатки соды дают углекислую трудно растворимую соль меди, что удлиняет процесс.

При фосфатировании же остатки содового раствора периодически нейтрализуют избыток свободной кислоты.

При подготовке ванны под бондеризацию раствор рекомендуется кипятить не менее 30—40 минут для перевода в раствор соединений меди. Допускается проведение процесса бондеризации при кипении. Продолжительность процесса 5—8 минут

## § 5. Контроль и корректировка ванны

Концентрацию препарата в ванне фосфатирования принято выражать количеством «точек», что соответствует содержанию препарата в г/л в растворе. Определение концентрации препарата или так называемой общей кислотности раствора ванны производят следующим образом: 10 мл охлажденного до комнатной температуры осветленного раствора ванны титруют  $\frac{1}{10}\text{N}$  раствором едкого натра при индикаторе фенолфталеине. При этом каждый мл израсходованного при титровании раствора едкого натра соответствует одной точке, т. е. 1 г/л препарата.

При работе ванны, вследствие высокой температуры раствора, про-



исходит частичное разложение препарата с образованием свободной фосфорной кислоты. Накопление последней в ванне резко удлиняет процесс фосфатирования и ухудшает коррозионную стойкость фосфатных пленок. Определение свободной кислоты производят аналогично описанному выше, но при индикаторе метилоранже. Отношение общей кислотности раствора к свободной обычно выражают в виде дроби, числителем которой является общая, а знаменателем — свободная кислотность раствора ванны. Так, например, если при титровании с фенолфталеином пошло 30 мл  $\frac{1}{10} N$  раствора едкого натра, а при титровании метилоранжем 3 мл этого же раствора, то показатель раствора будет равен 10:1. При фосфатировании допускается отношение общей кислотности от 15:1 до 9:1; при бондеризации нижний предел 6:1.

Если количество точек при определении общей кислотности раствора ниже 27, т. е. если концентрация растворенного препарата ниже 27 г/л, то необходимо добавить препарата из расчета 1,2 г/л на каждую точку ниже 30, т. е. если, например, количество точек равно 25, то на каждый литр раствора следует добавить 6 г. Избыток препарата (1,2 г вместо 1 г/л) берется с учетом выпадения части его в шлам.

Нейтрализация избытка фосфатной кислоты в ванне производится окисью кальция или углекислой содой.

На фосфатирование 1 м<sup>2</sup> поверхности изделий расходуется 120—140 г препарата «Мажеф», на бондеризацию 50—60 г.

## § 6. Брак при фосфатировании

Причинами брака при фосфатировании могут быть:

а) Плохая подготовка поверхности. Если обезжиривание поверхности изделий проведено не полностью, поверхность фосфата имеет пятнистый вид, и даже отдельные участки поверхности могут остаться незафосфатированными. В случае неполного снятия окислов в местах, где они остались, фосфатная пленка утончена и недостаточно коррозионно-стойка. Наконец, если очистка поверхности производилась травлением и следы кислоты остались на поверхности изделия, то образуется грубокристаллическая фосфатная пленка с резко пониженной коррозионной стойкостью. Мелкокристаллические пленки значительно более коррозионно-стойки, чем крупнокристаллические вследствие повышенной пористости последних.

б) Неправильная подвеска деталей. В этом случае бракованные детали могут иметь или отдельные незафосфатированные участки с утонченным покрытием, из-за соприкосновения деталей между собой или со стенками ванн, т. е. когда доступ раствора к отдельным участкам поверхности затруднен. В ряде случаев, обычно при фосфатировании мелких деталей в корзинах, при котором имеет место так называемое «слеживание» деталей, т. е. когда детали соприкасаются между собой, детали имеют вид поцарапанных. При фосфатировании мелких изделий насыпью хорошие результаты дает применение в ваннах вращающихся перфорированных барабанов, при работе с которыми не происходит слеживания. Если фосфатирование производят в решетчатых корзинах, то время от времени следует их встряхивать. Периодическое встряхивание дает хорошие результаты и в случае фосфатирования рельефных деталей, с отдельных участков поверхности которых затруднено удаление водорода.

Кроме того брак при фосфатировании вследствие неправильного расположения деталей в ванне может иметь место, если детали подвешены слишком близко ко дну ванны. На дне ванны всегда имеется значительный осадок нерастворимых солей, полное удаление кото-

рого невозможно, так как этим самым нарушается равновесие в растворе и не будет происходить отложения нерастворимых солей на поверхности железа. При закипании раствора или при соприкосновении деталей со шламом или, наконец, если загрузка препарата производится во время процесса фосфатирования — происходит осаждение частиц шлама между кристаллами фосфатной пленки. При этом образуется порошкообразный светлосерый фосфатный слой. При дальнейшей промывке водой частицы шлама не вымываются из пленки и в местах вкрапления их при дальнейшей обработке не происходит адсорбции масла, за счет чего значительно понижается коррозионная стойкость покрытия.

в) При недостаточной концентрации препарата в растворе ванны или при повышенной кислотности раствора, как правило, образуется крупнокристаллическая некачественная пленка и продолжительность процесса фосфатирования удлиняется. Эти же явления отмечаются и при пониженной температуре раствора при фосфатировании.

г) В случае присутствия в ванне соединений мышьяка выше 0,05% изделия покрываются розовато-серым налетом, препятствующим дальнейшему образованию фосфатной пленки.

Маниз дает следующую таблицу брака при фосфатировании (табл. 3).

Таблица брака при фосфатировании, по Манизу

Внешний вид бракованного фосфатного покрытия	Причина брака	Методы устранения
1. Фосфатная пленка пятниста и обладает неодинаковой коррозионной стойкостью.	Недостаточное обезжиривание и очистка поверхности под фосфатирование.	Снятие фосфатного покрытия обдувкой песком или частичное удаление фосфатного покрытия.
2. Фосфатная пленка покрыта серовато-белым порошкообразным налетом.	Раствор закипал. Прибавление препарата во время фосфатирования.	Перед дальнейшей обработкой фосфатный слой очищают щетками.
3. Низкая коррозионная стойкость фосфатной пленки.	Неправильно определено отношение общей кислотности к свободной. Концентрация препарата в ванне занижена. Рабочая температура в ванне занижена.	Раствор корректировать с таким расчетом, чтобы на 10 мл раствора ванны уходило 30 мл $\frac{1}{10} N$ NaOH. Контроль температуры.

## § 7. Контроль качества фосфатной пленки

Качественная фосфатная пленка должна быть серого цвета, мелкокристаллической и без подтеков и пятен.

а) Цеховой контроль. Коррозионная стойкость фосфатной пленки зависит от ее структуры и толщины. Чем она более мелкокристаллическа, тем выше ее защитные свойства. Толщина качественной мелкокристаллической пленки около 7 м, крупнокристаллической до 45 м.

При осмотре фосфатированных деталей в цехе качественными считаются только те пленки, на которых невооруженным глазом почти не видно отдельных кристаллов. Для определения достаточной толщины пленки и отсутствия утоньшенных мест, изделия осматриваются под водой — при утоньшенных пленках металл просвечивает сквозь пленку, что не допускается.



Для выявления стойкости пленки часть деталей после фосфатирования промывают холодной водой и оставляют высыхать на воздухе. После высыхания на деталях не должно быть следов коррозии.

Кроме того, от каждой партии отбирают определенное количество фосфатированных деталей и оставляют в 3%-ном растворе хлористого натрия; после 4-часовой выдержки на деталях не должно быть признаков коррозии.

Бондеризованные детали принимают только по внешнему виду; бондерондная пленка должна быть плотной, красновато-коричневого цвета.

б) Лабораторный контроль. Самым распространенным методом лабораторного контроля является испытание фосфатного слоя во влажной и солевой камерах. В первом случае пульверизируют де-стиллированную воду—пленка должна выдержать 24-часовое испытание; во втором случае проводят пульверизацию 3—4%-ным раствором хлористого натрия—стойкость фосфатной пленки не менее 4 часов. Температура испытания комнатная.

Определение толщины фосфатной пленки производят под микроскопом.

Испытание пленки на старение производят в печи при 135°—пленка должна выдерживать не менее трех теплосмен—продолжительность нагрева в каждом случае 24 часа.

Испытание на изгиб производят сгибанием и разгибанием опытного образца на 180°.

### § 3. Оборудование цеха для фосфатирования

Обезжиривание и нейтрализацию производят в железных сварных ваннах, обогреваемых сухим паром. Змеевики применяют железные.

Для промывки применяют железные или, чаще, деревянные баки. В последнее время стали применять струйную (душевую) промывку.

Травление производят в железных либо деревянных ваннах, выложенных кислотоупорным материалом—керамические плитки на кислотоупорном связующем.

В случае сушки деталей таковую производят на электроплите—железной плите, снабженной снизу никелиновой или железной спиралью.

Фосфатирование производят в железных сварных ваннах. Змеевики для обогрева рекомендуется применять латунные, так как у железных змеевиков, вследствие осаждения на них шлама, понижается коэффициент теплопроводности. Во избежание взмучивания осадка в ванне змеевики располагают только по стенам ванны на расстоянии 250 мм от дна.

Ванны обезжиривания, травления и фосфатирования снабжают бортовой вентиляцией.

### ГЛАВА I

## СВОЙСТВА НИТРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОВ

### § 1. Назначение нитрирования

Нитрирование или азотирование, т. е. насыщение азотом поверхностного слоя стали или чугуна, резко повышает поверхностную твердость и износоустойчивость деталей, работающих на трение. Одновременно повышается коррозионная устойчивость, нагревостойкость (до 500—550°), сопротивление усталости и коррозионной усталости.

В настоящее время различают три промышленных процесса нитрирования:

1. Нитрирование изделий из углеродистой стали с целью получения коррозионно-стойкого слоя. Повышение твердости слоя на углеродистой стали является незначительным.

2. Нитрирование изделий из легированной стали с целью получения твердого износоупорного слоя. Этот слой имеет также повышенное сопротивление коррозии, но твердость и износоупорность его стоят на первом плане.

3. Низкотемпературное газовое цианирование. Этот процесс состоит в одновременном насыщении поверхности стали углеродом и азотом и применяется:

а) с целью получения твердого износоупорного слоя на инструментах из быстрорежущей стали, взамен жидкого цианирования;

б) с целью получения твердого износоупорного слоя на изделиях из углеродистой стали с повышенной устойчивостью против коррозии.

Первый процесс, рассмотрением которого мы займемся в настоящей лекции, имеет целью образование на поверхности железного, стального или чугунного изделия тонкой пленки сплошных нитридов. При осуществлении же нитрирования с целью получения твердого износоупорного слоя необходимо образовать полный нитрированный слой (подробнее—см. главу II, § 1).

### § 2. Антикоррозионные свойства нитрированной поверхности

Многолетние наблюдения показывают, что нитрированная поверхность обладает высоким сопротивлением коррозии в атмосфере, воде, влажном и сухом перегретом паре, в различных маслах и жирах, не содержащих минеральных кислот. Во всех кислотах, и особенно неорганических нитрированная поверхность обнаруживает крайне низкую коррозионную стойкость.



Результаты сравнительных испытаний мягкой нитрированной стали (рис. 1) свидетельствуют о колоссальном влиянии нитрирования на повышение устойчивости даже в такой активной среде, как морская вода.

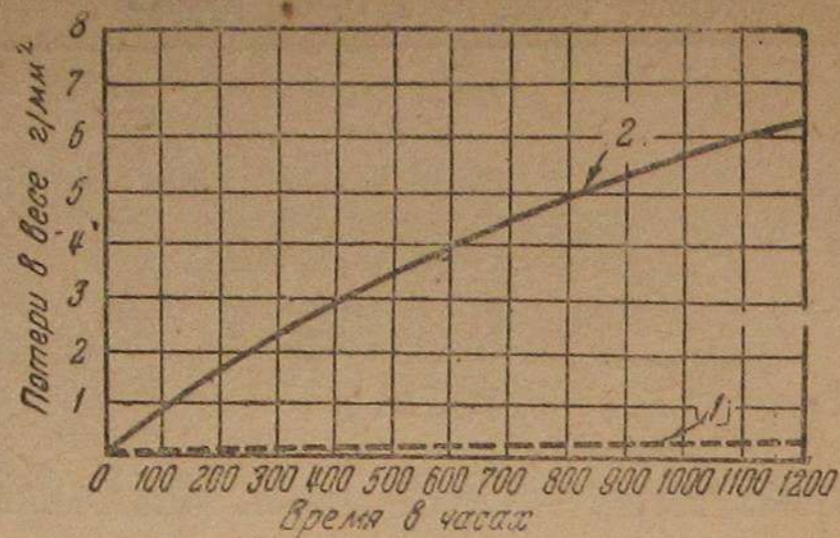


Рис. 1. Сравнительная стойкость против коррозии в морской воде: нитрированной — 1 и обычной мягкой стали — 2.

Специальные испытания показали (табл. 4), что нитрированная поверхность без шлифовки примерно в два раза устойчивее фосфатированной поверхности и более чем в 6 раз устойчивее необработанной стальной поверхности.

Таблица 4  
Коррозионные испытания Cr-Al-Mo стали в горячей (60–90°) проточной воде в течение 200 часов  
(С. Ф. Юрьев, Е. В. Тактуева, Л. С. Каценбоген)

Обработка поверхности	Потери в весе, г/м² час	Степень поражения коррозией после испытания
Нитрирование на глубину 0,55 мм при 500–560°	0,0183	Нет
Фосфатирование	0,0434	Весьма слабая, местная
Нитрирование и шлифовка на глубину 0,15 мм	0,0640	Слабая, точечная
Шлифовка	0,1165	Сильная, общая

Доказано, что поверхность, подвергнутая нитрированию, оказывается более устойчивой в воде и влажной атмосфере, чем никелированная, и не уступает оцинкованной поверхности (табл. 5).

Таблица 5  
Сравнительные коррозионные испытания углеродистой стали (0,08–0,12% С) в водопроводной воде  
(А. Н. Минкевич, Писарев и Солодихин)

Вид обработки	Начало коррозии через n суток
Без обработки	1
Оксидирование	3–5
Никелирование	3–5
Нитрирование	больше 150
Цинкование	больше 150

Высокоуглеродистые стали У8 и У10 после нитрирования перед закалкой и после легкой полировки не корродируют в воде в течение 200 часов; эти же стали после закалки, но без нитрирования, покрываются ржавчиной уже через 5–6 часов погружения в воду.

По данным В. И. Просвирина сталь ШХ15 благодаря нитрированию перед закалкой повысила коррозионную стойкость в воде настолько, что за 115 часов испытания не обнаружила никаких признаков коррозии, в то время как эта же сталь после простой закалки через 2 часа пребывания в воде покрылась коррозионными точками, а спустя 24 часа оказалась покрытой толстым слоем ржавчины.

А. Н. Минкевич приводит пример высокой устойчивости нитрированных механизмов из стали с 0,2% С в тяжелых атмосферных условиях. Если для нитрированных деталей первые признаки коррозии в этих условиях выявились уже через 3 часа, то на деталях, подвергшихся нитрированию, нельзя было обнаружить никаких следов коррозии даже через 300 часов их пребывания в тех же условиях.

Из приведенных примеров следует, что нитрирование резко повышает коррозионную устойчивость железа и стали при воздействии нормальной и влажной атмосферы, а также под действием воды. В кислотных средах и особенно в минеральных кислотах пленка нитридов оказывается абсолютно неустойчивой.

### § 3. Области применения нитрирования

Нитрирование с успехом заменило в ряде отраслей производства никелирование, оксидирование, цинкование и кадмирование металлических изделий, как процесс значительно более простой, дешевый и не требующий применения дефицитных цветных металлов. Оно может и должно быть применено ко всевозможным мерительным инструментам, шаблонам, деталям машин, приспособлениям, изделиям домашнего обихода и деталям снаряжения, как метод эффективного повышения сопротивления черных металлов коррозии в атмосферных условиях во влажной среде и в воде (подробнее — см. табл. 6).

Наибольшей стойкостью отличается нитридная пленка на шлифованных и полированных перед азотированием поверхностях, так как различные выступы и острые углы склонны к механическим повреждениям.

В связи с этим изделия с резьбой, насечкой, грубой механической обработкой и т. п. относительно меньше поддаются защите от коррозии, чем изделия с гладкими поверхностями.

Были проведены опыты по нитрированию колец Рашига очистительной системы газогенераторных авто-тракторных установок. Кольца Рашига изготовляли из кровельного, динамного и холоднокатаного железа.

Лабораторные испытания на коррозию производились в московской водопроводной воде и в продуктах пиролиза древесины. В результате 30-суточных испытаний было установлено, что нитрирование снижает коррозионную активность колец в 12–15 раз.

Испытание нитрированных колец Рашига в пробеге газогенераторных автомобилей в 1939 г. показало существенные преимущества обработанных аммиаком колец перед всеми другими видами металлических колец и в том числе перед оцинкованными.



Режим антикоррозионного нитрирования черных металлов и области их применения

№ п/п	Марка материала	Н и т р и р о в а н и е				Режим охлаждения	Толщина нитридного покрытия, $\mu$	Заводы, при-меняющие данный ре-жим	Область применения
		1-я ступень		2-я ступень					
		темпера-тура	время выдерж-ки, мин.	степень диссоци-ации, %	темпера-тура				
1.	Железные изделия, малопу-леродистая сталь и чугуны	600°	30—90	$\leq 40$	—	—	10—30	Автоген-ный завод	Сварочные горелки, резаки, вентиля
2.		620°	75—120	$\leq 40$	—	—	25—40	Спортин-генгарь. З-д детских ве-лосипедов	Строительно-скобяная фурнитура, чемаданные замки, петли, скобы, де-тали велосипедов, детали в сборе
3.	Высокоуглеро-дистая и средне-легированная сталь	650°	40	$\leq 50$	—	—	15—25	ХЭМЗ	Корпуса углов и др.
4.		700°	30	$\leq 70$	—	—	35—40	Разные заводы	Детали простой конфигу-рации, не склонные к ко-роблению
5.	Шестеренки, валики, вин-ты, поводки, шрифты из У7 и У10 (780°) и ШХ 15 (830°)	780° 830°	7	70—75	—	—	30—40	»	Шестеренки, валики, вин-ты, поводки, шрифты из У7 и У10 (780°) и ШХ 15 (830°)
6.		700°	5—20	$\leq 70$	780° 830°	6—5	$\geq 75$	50—100	»

## ПРОЦЕСС НИТРИРОВАНИЯ

## § 1. Теория процесса

Пленка нитридов образуется на поверхности металла за счет его химического взаимодействия с активным азотом, в момент выделения последнего из разлагающегося аммиака. При достаточной насыщенности азотом эта пленка в основном состоит из нитрида железа  $Fe_2N$ , содержащего до 12% N. Пленка нитрида неразрывно связа-на с основным металлом, причем между ними всегда имеется неко-торый переходной слой, в пределах которого концентрация азота в металле падает практически до нуля. Нитрид  $Fe_2N$  обладает почти вдвое меньшим коэффициентом теплового расширения, чем сталь; он отличается значительной хрупкостью; кроме того при его образовании наблюдается значительное увеличение удельного объема металла.

Вследствие этих обстоятельств нитридная пленка оказывается сла-бо связанной с основным металлом, особенно на острых кромках, уг-лах, заусенцах и т. п.

Для нитрирования с целью повышения твердости и износоустой-чивости обычно применяют хромоалюминиевые стали и чугуны, так как в них присутствуют алюминий и хром, которые образуют нитриды, обладающие высокой устойчивостью и малой упругостью диссоциации при температурах нитрирования, высокой дисперсностью их образова-ний в металле и т. п.; при отсутствии нитридов алюминия и хрома, нитрированный слой характеризуется твердостью и малой износо-упорностью.

Однако химическое взаимодействие активного азота с поверхностью стали и чугуна принципиально протекает по аналогичным реакциям и при отсутствии в стали алюминия, хрома, молибдена и др. Диффузия азота в металле, не содержащем элементов, образующих устойчивые нитриды, также протекает нормально и потому нитрирование черных металлов почти любого состава, кроме некоторых марок аустенитных сталей, приводит к образованию некоторого слоя металла, насыщен-ного азотом и имеющего на периферии сплошной слой нитридов.

Если с точки зрения твердости, износоупорности, нагревостойкости и других качеств, состав и строение этого слоя имеют значение, то для антикоррозионных свойств нитрированной поверхности они без-различны. Образующийся при нитрировании на самой поверхности слой нитридов во всех случаях состоит преимущественно из нитридов желе-за, сопротивление которых коррозии определяется степенью их насы-щенности азотом и целостностью образовавшейся пленки нитридов.

Поэтому для повышения коррозионной устойчивости железа, стали и чугуна любого состава нет необходимости в образовании полного нитрированного слоя, а достаточно получить только тонкую пленку сплошных нитридов на поверхности изделий; при этом желательно, чтобы эти нитриды представляли собой высшие соединения азота с металлом и были предельно насыщены азотом.

При соприкосновении продуктов диссоциации аммиака с поверх-ностью металла в первый период времени протекают активные реак-ции образования нитридов. Эта фаза процесса сравнительно непро-должительна и заканчивается формированием пленки насыщенных ни-тридов, после чего начинают уже в полной мере развиваться диффу-зионные явления.

Вторая (диффузионная) стадия нитрирования характеризуется до-стижением химического равновесия на поверхности металла и с точки

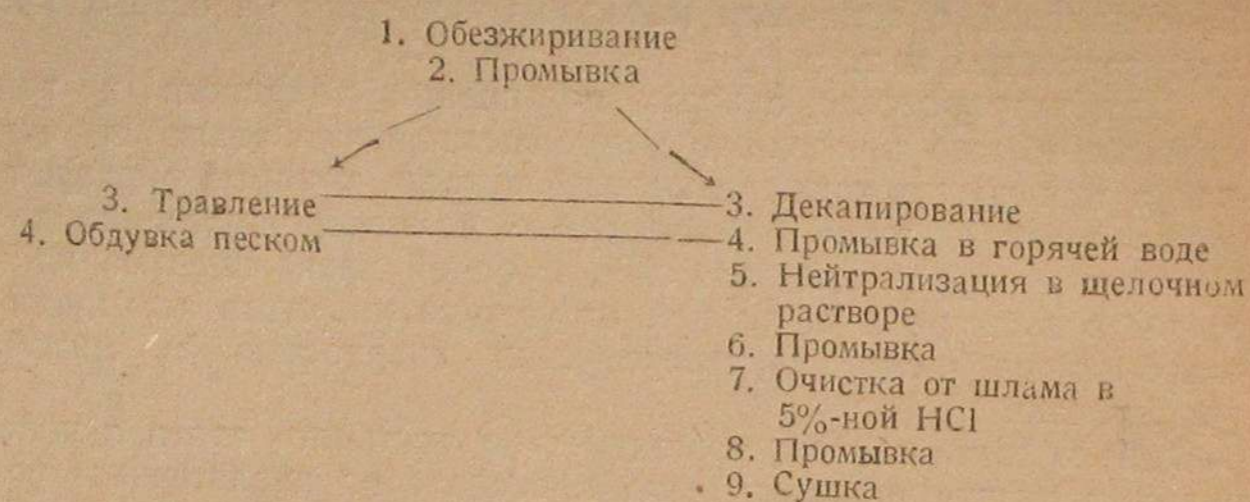


зрения коррозионной устойчивости поверхности уже, естественно, никакой роли играть не может.

В. Д. Яхнина и позже В. И. Просвирин доказали высокую коррозионную устойчивость железа, углеродистой, хромистой и других марок стали, приобретаемую ими даже после весьма непродолжительного воздействия диссоциированного аммиака при температурах 600—830°. С 1939 г. такого рода обработка аммиака стала широко внедряться на ряде заводов Союза и получила наименование «антикоррозионного нитрирования или азотирования или пассивирования».

## § 2. Подготовка поверхности под нитрирование

Как и перед фосфатированием, детали, подвергавшиеся ковке, прокатке, горячей или холодной штамповке, должны очищаться от окалины или ржавчины путем травления или обдувки песком. При этом рекомендуется следующая последовательность операций в зависимости от заржавленности и толщины окалины на деталях.



Подготовка указана для изделий, не подвергающихся после антикоррозионной обработки полировке или глянцовке и направляемых в работу с серебристо-матовой поверхностью (обработка «под цинк»). Изделия с чистыми поверхностями из-под резца, не требующие после нитрирования полировки, могут подвергаться подготовке путем обезжиривания бензином, промывки и сушки.

Изделия, подвергающиеся после нитрирования полировке или глянцовке (обработка «под никель»), должны быть перед обработкой подвергнуты шлифовке или полировке и, после обезжиривания бензином, промывки и сушки, могут поступать непосредственно на операцию нитрирования.

Направляемые на нитрирование изделия должны быть тщательно очищены от заусенцев, особенно на острых кромках, так как мелкая стружка в процессе обработки становится очень хрупкой. Откалываясь от изделия, эти заусенцы нарушают сплошность нитридной пленки на изделиях и служат очагами коррозии при воздействии активной среды.

Для хранения подготовленных изделий перед нитрированием рекомендуется ванна с 30%-ным раствором хромпика или с 1%-ным раствором соляной кислоты.

## § 3. Оборудование для нитрирования

Практическое выполнение антикоррозионного нитрирования по тому или другому режиму в значительной мере определяется наличием оборудованием.

Одним из наиболее острых вопросов, тормозящих практическое применение нитрирования, является отсутствие специализированных печей для быстрого проведения процесса по оптимальным режимам. Печь для нитрирования должна обеспечивать:

- 1) быструю загрузку садки,
- 2) большую скорость и равномерность нагрева садки,
- 3) принудительную циркуляцию газов в камере в целях достижения равномерного омывания изделий аммиаком,
- 4) возможность быстрого охлаждения изделий по различным режимам вплоть до закалки в воде или в масле.

Почти все разработанные до сих пор конструкции печей еще страдают многими недостатками и не обеспечивают всех перечисленных условий. Поэтому до настоящего времени наиболее простым и удобным следует признать применение реторт или муфель, подобных изображенному на рис. 2, хотя они и не позволяют производить закалку

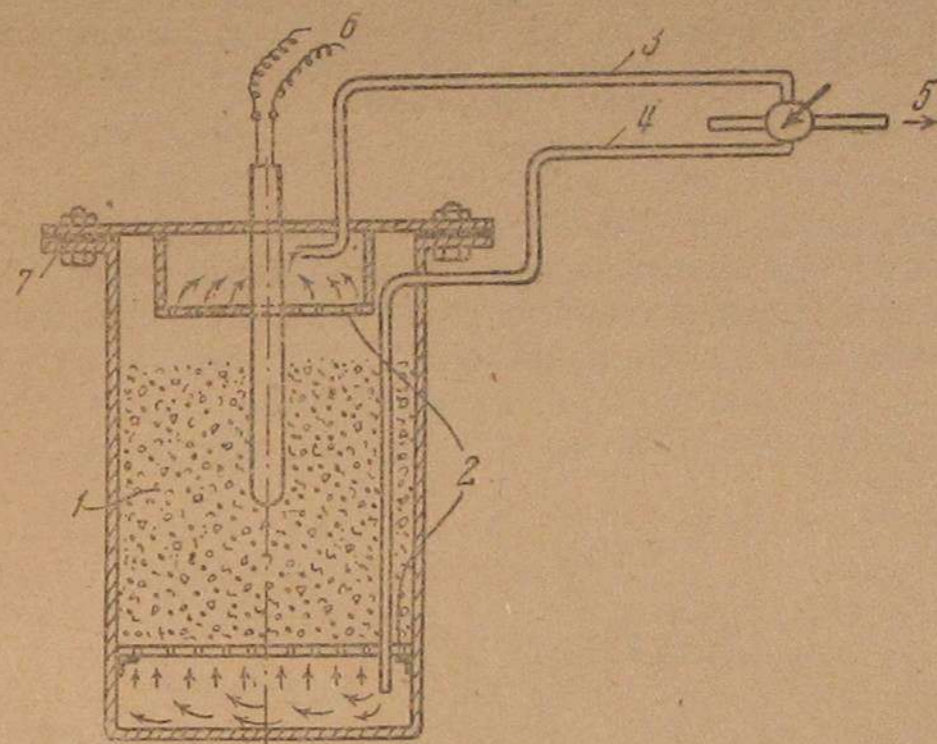


Рис. 2. Муфель для нитрирования мелких изделий.

- 1— садка; 2— сетки для равномерного распределения газа; 3— трубопровод для газа; 4— поступление газа из баллона; 5— выход газа; 6— термопара; 7— герметический затвор.

изделий и лишены принудительной циркуляции газов; кроме того с увеличением их размеров равномерность нагрева садки может оказаться совершенно недостижимой. Однако герметический муфель позволяет сократить период охлаждения под газом, так как на этот период он может быть извлечен из печи.

Муфель следует изготовлять из нихрома или жароупорной стали, так как, изготовленный из железа, он принимает участие в реакциях. На рис. 3 приведены схемы устройства затвора у крышки муфеля. В муфеле нитрируемые детали можно располагать на нихромовой сетке.

Расположение приборов видно на рис. 4. Баллон 1 содержит 20—30 кг жидкого аммиака под давлением 8,5 ат.

При понижении давления аммиак переходит в газообразное состояние; двадцатикилограммовый баллон дает 26 м<sup>3</sup> газообразного аммиака.

Баллон окрашивают в желтый цвет. При повышении температуры помещения до 40°, давление в баллоне может возрасти до 15 ат. К баллону привинчивают стальной редуцирующий клапан (медь разъедается аммиаком). Еще лучше снабдить баллон краном Гофера 3.



Последний позволяет точно регулировать расход газа. Так как аммиак может содержать до 0,13% влаги, рекомендуется пропускать газ через сосуд 4 с плавленной щелочью или активированной окисью алюминия. При наличии влаги, на изделии получаются цвета побежалости. Газ

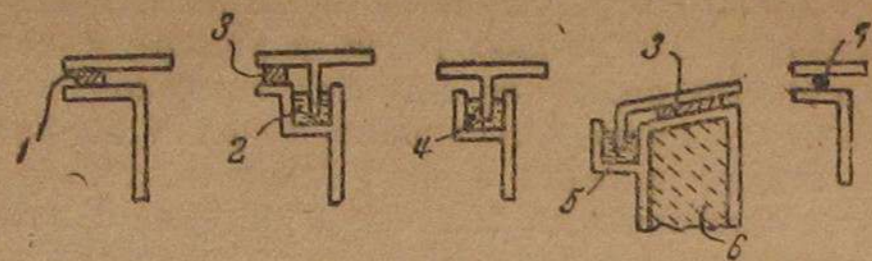


Рис. 3. Схема устройства герметических затворов у крышки муфеля.

1—асбестовый шнур, обернутый алюминиевой фольгой; 2—легкоплавкий сплав (сплав Розе, свинец, легкоплавкая соль); 3—асбестовая лента; 4—тонкий порошок хромовой руды; 5—масляный затвор; 6—изоляция; 7—никелевая или медная проволока.

поступает по железной трубке 5 в печь; при применении резиновой трубки газ может обогащаться серой, благодаря чему жароупорные стенки муфеля 6 и сетки, содержащие никель, могут притти в хрупкое состояние, вследствие образования  $NiS'$ .

Для учета количества газа, его пропускают через тарированную диафрагму, соединенную с тягомером Креля. Струю газа поддержи-

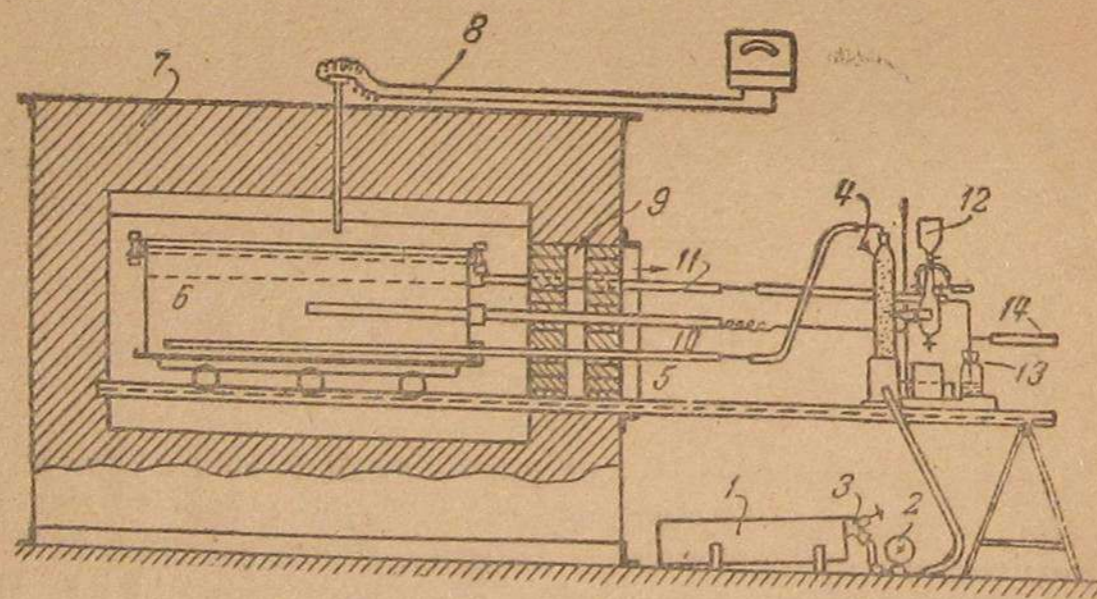


Рис. 4. Схема установки для нитрирования.

1—баллон с аммиаком; 2—манометр; 3—кран Гофера; 4—сушильная колонка; 5—впуск аммиака; 6—муфель; 7—печь; 8—автоматический регулятор температуры; 9—изоляция; 10—термопара; 11—выход аммиака; 12—диссоциометр; 13—регулятор давления; 14—выход отработанного газа.

вают с таким расчетом, чтобы аммиак разлагался в печи (диссоциировал) на 30—60%. Степень диссоциации легко определить приспособленной для этой цели бюреткой 12. Отобрав 100 см<sup>3</sup> отходящего газа в бюретку, вливают в нее воду. Аммиак поглощается водой полностью, тогда как продукты его разложения—водород и азот—не поглощаются.

Трубку 11, отводящую газ из печи, опускают в сосуд 13 с водой на глубину 20—30 мм. Этим в муфеле создают необходимое давление около 20—30 мм вод. ст.

После поглощения аммиака газ состоит из 75%  $H_2$  и 25%  $N_2$ . Этот газ поджигают или выпускают по трубке 14 в атмосферу.

Процесс нитрирования состоит из следующих операций: 1) предварительное вытеснение воздуха из муфеля с изделиями; 2) нагрев садки до температуры выдержки с произвольной скоростью под непрерывным током аммиака; 3) выдержка в течение определенного времени при заданной температуре и заданном составе газа в муфеле; 4) охлаждение изделий (или муфеля) по заданному режиму.

#### § 4. Режим нагрева

Режим нагрева садки лимитируется обычно тепловой мощностью печи. Принципиально при нагреве можно допустить любую достижимую скорость повышения температуры. Поэтому наиболее рациональным является способ, при котором заранее подготовленную вне печи реторту (муфель) с садкой, после вытеснения из нее воздуха, загружают непосредственно в печь, разогретую до температуры выдержки или даже несколько выше. Впрочем, такой метод нагрева, несмотря на значительную производительность, не может быть применен в тех случаях, когда режим нитрирования предусматривает по окончании выдержки закалку изделий в воде или масле (см. ниже § 9).

#### § 5. Температура нитрирования

Активность взаимодействия азота с поверхностью металла повышается по мере увеличения температуры (однако только до известного предела). Кроме того применение чрезмерно высоких температур способствует развитию хрупкости нитридной пленки, что вызывает ее разрушение и резкое понижение коррозионной устойчивости поверхности. Поэтому для ускорения процесса образования нитридной пленки и достижения предельного насыщения азотом температуру процесса рекомендуется по возможности повышать, однако не упуская из вида и отрицательного действия чрезмерно высоких температур.

Практически антикоррозионное нитрирование производится при температурах на 100—150° выше обычного нитрирования. Температура должна быть выбрана в соответствии с маркой стали обрабатываемых изделий (табл. 6). Высокоуглеродистые и легированные стали обрабатывают аммиаком при более высоких температурах, чем малоуглеродистые, в связи с тем, что для первых нитрирование почти всегда сопровождается закалкой в масле.

#### § 6. Время выдержки при нитрировании

Время выдержки при нитрировании должно обеспечить образование достаточного по толщине нитридного покрытия, насыщенного в максимальной степени азотом. Так как скорость химического взаимодействия азота с поверхностью металла быстро возрастает с температурой, то совершенно очевидно, что при повышении температуры процесса время выдержки уменьшается. Для изделий, обрабатываемых «под цинк», т. е. без последующей шлифовки и полировки, толщина нитридного покрытия должна составлять после нитрирования 15—25 м; на изделиях, обрабатываемых «под никель» с последующей полировкой или глянковкой, слой нитридов должен быть соответственно больше — 40 м, исходя из того, что при операциях придания блеска с поверхно-

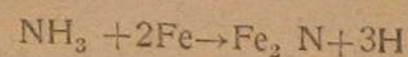


сти удаляют 10 м. Следовательно, при прочих равных условиях, обработка «под никель» продолжительнее, чем обработка «под цинк», примерно в полтора раза.

Необходимое время выдержки приведено в табл. 6.

## § 7. Степень диссоциации аммиака

Степень диссоциации аммиака быстро возрастает по мере увеличения объема и суммарной поверхности садки и температуры процесса; напротив, увеличение скорости газового потока понижает степень диссоциации. Поскольку скорость потока аммиака поддается регулировке, этим пользуются для поддержания заданной степени диссоциации. Рекомендуется поддерживать ее как можно ниже. С повышением степени диссоциации обратимая реакция нитридообразования



меняет свое направление в сторону разложения нитридов вследствие большого избытка атомного водорода в газовой фазе. В результате слой нитридов образуется медленнее и степень насыщенности его азотом оказывается значительно меньше. Это в свою очередь влечет за собой заметное понижение коррозионной устойчивости азотированной поверхности.

Практически, при температурах процесса до 650° степень диссоциации аммиака рекомендуется поддерживать в пределах до 25%; при 700° ее приходится повышать до 70%; наконец, при еще более высоких температурах вплоть до 830° степень диссоциации не должна превосходить 75—80%.

При нитрировании нельзя допускать чрезмерного увеличения садки изделий с развитой поверхностью, так как это может повлечь за собой настолько значительное увеличение степени диссоциации аммиака, что при всех практически достижимых скоростях газового потока, ее не удастся понизить до требуемой нормы. В таких случаях приходится искусственно уменьшать загрузку изделий в муфеле, ориентируясь на заданную величину степени диссоциации аммиака. Чрезмерно высокая степень диссоциации  $\text{NH}_3$  приводит к резкому понижению антикоррозионных качеств покрытия.

В табл. 6 приводятся наиболее типичные режимы нитрирования, получившие распространение на различных заводах Союза и оправдавшие себя с точки зрения коррозионной стойкости нитридного покрова. Диапазон изменения температурных режимов процесса достаточно велик, что свидетельствует о практическом удобстве выполнения нитрирования.

## § 8. Режим охлаждения

Режим охлаждения изделий после нитрирования оказывает существенное влияние на хрупкость нитридной пленки и ее антикоррозионные свойства: чрезмерно замедленное охлаждение способствует выпадению новых фаз в нитридном слое, повышению хрупкости пленки и, в связи с многофазностью, — ухудшает антикоррозионную устойчивость покрытия. Поэтому медленное охлаждение садки в печах, понижающее производительность и удорожающее процесс, практически применяется только в тех случаях, когда существующее оборудование не позволяет провести быстрое охлаждение.

Чаще всего изделия рекомендуется подвергать быстрому охлаждению, выгружая муфель с садкой на воздух или даже погружая муфель в воду. В некоторых специально приспособленных печах изделия после

выдержки передают в другую камеру (без нарушения герметичности), которая имеет двойные стенки, охлаждаемые проточной водой.

Непременным условием получения надежного антикоррозионного покрытия является охлаждение садки в атмосфере алюминия до 100—150° без подсоса воздуха в муфель. При подсосе воздуха в области более высоких температур нитридная пленка покрывается цветами побежалости, распределение которых всегда оказывается очень пестрым и тем в большей мере, чем больше скорость охлаждения садки. Напротив, при устранении подсосов воздуха во время охлаждения и достаточной скорости последнего, изделия покрываются совершенно равномерным серебристо-матовым покровом, коррозионная устойчивость которого оказывается наилучшей.

## § 9. Нитрирование с последующей закалкой

В последнее время получило распространение нитрирование, совмещенное с закалкой изделий в воде или масле. Оно обычно преследует две цели:

- а) обеспечить необходимые механические качества самому изделию и
- б) повысить коррозионную стойкость нитридной пленки за счет сохранения более устойчивых против коррозии фаз на поверхности.

Совмещение с закалкой практически осуществляется на высокоуглеродистых и среднелегированных марках стали и, естественно, требует применения значительно высоких температур нитрирования. Выполнение этого процесса оказывается возможным только в специально оборудованных печах, конструкция которых предусматривает замочку изделий в масле или в воде непосредственно из печи без сколько-нибудь длительного пребывания изделия на воздухе.

При нитрировании, совмещенном с закалкой, нитридная пленка, помимо высоких антикоррозионных свойств, приобретает также и высокую твердость, позволяющую применять этот процесс для трущихся деталей. Причины повышения твердости в этом случае заключаются в том, что насыщение азотом приводит к резкому повышению закаляемости тонкого поверхностного слоя стали.

Для сохранения свойств нитридного покрытия, отпуск закаленных изделий осуществляется в потоке аммиака. Температура отпуска определяется маркой стали и заданной величиной твердости для сердечника. Следует иметь в виду, что повышение температуры отпуска выше определенного предела может, подобно медленному охлаждению, снизить коррозионную стойкость покрытия и увеличить его хрупкость.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях можно применять фосфатирование?
2. Какая разница между фосфатированием и бондеризацией?
3. Какой метод очистки принят для деталей с грубой окалиной?
4. Почему процесс фосфатирования нельзя проводить в кипящем растворе?
5. Почему включения шлама понижают стойкость фосфатной пленки?
6. В каких случаях может быть проведена бондеризация?
7. В чем разница нитрирования для увеличения износоупорности от антикоррозионного нитрирования?
8. Какое значение имеет степень диссоциации аммиака при нитрировании?
9. Как можно регулировать толщину нитрированного слоя?
10. В чем преимущества и недостатки нитрирования по сравнению с фосфатированием?
11. Какая разница в процессе нитрирования малоуглеродистой и легированной стали?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бюллетень «Коррозия и борьба с ней», 1930, т. V, № 1—2. Материалы совещания по фосфатированию (9 докладов).
2. Korrosion u. Metallschutz, № 6 за 1936 г. (ряд статей по фосфатированию).
3. Эванс. «Коррозия, пассивность и защита металлов» Госхимиздат, 1940.
4. Джиолитти. Азотирование стали, 1937.
5. В. А. Яхнина. Вестник инженеров и техников, № 9, 1940.
6. А. Н. Минкевич, М. Н. Писарев, А. Г. Солодихин. Азотирование как метод защиты стали от коррозии, 1941.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

### ФОСФАТИРОВАНИЕ

Инж. Ф. Б. Сломьянская

	Стр.
<b>Глава I. Области применения фосфатирования</b> . . . . .	3
Введение . . . . .	—
§ 1. Основные свойства фосфатированной поверхности . . . . .	—
§ 2. Области применения фосфатирования . . . . .	4
<b>Глава II. Процесс фосфатирования</b> . . . . .	5
§ 1. Химизм процесса . . . . .	—
§ 2. Подготовка поверхности изделий под фосфатирование . . . . .	6
§ 3. Подготовка ванны и фосфатирование . . . . .	—
§ 4. Бондеризация . . . . .	7
§ 5. Контроль и корректировка ванны . . . . .	—
§ 6. Брак при фосфатировании . . . . .	8
§ 7. Контроль качества фосфатной пленки . . . . .	9
§ 8. Оборудование цеха для фосфатирования . . . . .	10

### ЧАСТЬ ВТОРАЯ

### НИТРИРОВАНИЕ

Канд. техн. наук С. Ф. Юрьев

<b>Глава I. Свойства нитрированных металлов</b> . . . . .	11
§ 1. Назначение нитрирования . . . . .	—
§ 2. Антикоррозионные свойства нитрированной поверхности . . . . .	—
§ 3. Области применения нитрирования . . . . .	13
<b>Глава II. Процесс нитрирования</b> . . . . .	15
§ 1. Теория процесса . . . . .	—
§ 2. Подготовка поверхности под нитрирование . . . . .	16
§ 3. Оборудование для нитрирования . . . . .	—
§ 4. Режим нагрева . . . . .	19
§ 5. Температура нитрирования . . . . .	—
§ 6. Время выдержки при нитрировании . . . . .	—
§ 7. Степень диссоциации аммиака . . . . .	20
§ 8. Режим охлаждения . . . . .	—
§ 9. Нитрирование с последующей закалкой . . . . .	21
Контрольные вопросы . . . . .	22
Литература . . . . .	—



# ПРОГРАММА ЛЕКЦИЙ

## ЗАОЧНЫХ КУРСОВ ПО ЭКОНОМИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Под общей редакцией акад. И. П. БАРДИНА

### РАЗДЕЛ I. Вводный

Под редакцией акад. И. П. БАРДИНА

- Лекция 1.** Доц. А. К. Тимашев. Проблема экономии цветных металлов.  
**Лекция 2.** Инж. Л. М. Каминский. Организация экономии цветных металлов.  
**Лекция 3.** Инж. А. М. Касаткин. Экономия цветных металлов при конструировании.

### 1-й ПОТОК

### РАЗДЕЛ II. Антифрикционные и литейные сплавы и их заменители

Под редакцией проф. докт. **М. П. СЛАВИНСКОГО**

- Лекция 4.** Канд. техн. наук доц. Я. С. Галлай. Требования к антифрикционным материалам и методы испытаний.  
**Лекция 5.** Инж. А. И. Шпагин. Оловянистые баббиты и их заменители.  
**Лекция 6.** Доц. А. С. Андреев, канд. техн. наук А. Е. Вол, канд. техн. наук доц. Я. С. Галлай, инж. И. К. Каган. Антифрикционные, литейные сплавы и их заменители.  
**Лекция 7.** Канд. техн. наук М. Е. Дриц и инж. С. В. Виноградов. Антифрикционные цветные сплавы на не медной основе.  
**Лекция 8.** Инж. П. Е. Лямин. Биметаллические втулки.  
**Лекция 9.** Канд. техн. наук Б. Е. Архангельский. Пластмассы — заменители цветных металлов в машиностроении.  
**Лекция 10.** Инж. В. А. Степанен и канд. техн. наук Б. Е. Архангельский. Текстолит как антифрикционный материал.  
**Лекция 11.** Доц. Я. С. Галлай. Антифрикционные древесные пластмассы.  
**Лекция 12.** Доц. Н. И. Фейгин. Антифрикционный серый чугун.  
**Лекция 13.** Инж. Н. П. Шумилов. Ковкий антифрикционный чугун.  
**Лекция 14.** Инж. Р. Р. Коприева. Металлокерамические антифрикционные сплавы.  
**Лекция 15.** Доц. С. А. Кушакевич. Биметалл.  
**Лекция 16.** Инж. А. И. Шпагин. Экономия цветных металлов в пайке и техническом лужении.

### РАЗДЕЛ III. Современные методы обработки цветных металлов

и использование их отходов

Под редакцией проф. Н. Н. МУРАЧА

- Лекция 17.** Доц. А. Вол и др. Литье сплавов цветных металлов.  
**Лекция 18.** Инж. Осокин. Современные печи для плавки цветных металлов.  
**Лекция 19.** Инж. Г. Г. Пудыкин, инж. П. Е. Лямин и инж. В. М. Пляцкий. Новые методы литья.

Отв. редактор Я. С. Галлай

Подписано в печ. 10/V-43 г. НС00924 Печ. л. 1,5 Учетн.-авт. лист. 1,75  
Тираж 2000 Зак. 0802

Филиал 1-й Образцовой типографии Огиза РСФСР треста «Полиграфкнига»  
Свердловск, ул. Ленина, 47,