

записи и хранения информации в компьютерной технике, трансформаторов и других устройств.

Низкая зависимость сопротивления некоторых аморфных металлов от температуры позволяет использовать их в качестве эталонных резисторов.

В оборонной промышленности при производстве защитных бронированных ограждений используются прослойки из аморфных сплавов на основе алюминия для погашения энергии пробивающего снаряда за счет высокой вязкости разрушения таких прослоек.

УДК 621.785

### **Сравнительная характеристика методов борирования конструкционных и инструментальных сталей**

Студентка гр. 104211 Яблонская И.В.

Научный руководитель – Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Одним из наиболее эффективных и распространенных способов поверхностного упрочнения металлопродукции является химико-термическая обработка (ХТО). Методы ХТО позволяют получать на поверхности весь спектр требуемых при эксплуатации изделий свойств: высокую твердость, коррозионную стойкость, износостойкость, жаростойкость и т.д. К перспективным методам ХТО относят процесс борирования [1 – 3].

В соответствии с этим классификационным признаком можно выделить три основных метода борирования: в твердых, жидких, газообразных средах. Борирование в обмазках (из паст) занимает промежуточное положение между борированием в твердых и жидких средах. В зависимости от состава обмазки, температуры процесса и способа нагрева этот способ борирования приближается к одному из них.

Классификация методов борирования:

#### *1. Борирование в порошках в герметизируемых контейнерах*

Из известных смесей [2] для борирования в порошках предпочтение следует отдать следующим смесям на основе карбида бора: 1) 100 %  $B_4C$ ; 2) 98,5...98 %  $B_4C$  + 1,5...2,0 %  $AlF_3$ .

Насыщение проводят при температуре 900-1000°C в течение 2-6 ч. Длительность выдержки выбирают исходя из требуемой толщины боридного слоя. Как показывает опыт, для подавляющего большинства изделий боридный слой толщиной 80-150 мкм оказывается вполне достаточным. Длительность прогрева тигля устанавливается из расчета 30 мин на 100 мм сечения тигля. После истечения времени выдержки контейнеры выгружают из печи, охлаждают на воздухе и распаковывают. Для устранения припекания смеси к поверхности деталей рекомендуется их извлекать из контейнера при температуре не ниже 80°C.

#### *2. Газовое борирование*

В технологическом отношении процесс газового борирования подобен процессам газовой цементации или азотирования. Борируемые детали собирают, как правило, на специальных приспособлениях и загружают в реакционную камеру, нагретую до заданной температуры, после чего реактор герметизируя установку продувают (3-5 мин) инертным газом и создают избыточное давление (200-400 мм. рт. ст.) [4]. После достижения указанного давления через инжекторный смеситель в реактор подают борсодержащий газ. Наиболее часто для борирования применяют диборан и треххлористый бор, который разбавляют водородом, аргонном, очищенным азотом или аммиаком. Насыщение проводят при температурах 800–850°C. Время выдержки варьируется от 2 до 6 ч. При рекомендованных режимах борирования на углеродистых сталях формируется боридный слой толщиной 50-200 мкм. По окончании процесса борирования подачу борсодержащего газа прекращают, а газ-разбавитель пропускают через установку еще 5-10 мин. По истечении указанного времени давление в реакторе

уменьшают до атмосферного, прекращают подачу инертного газа, разгерметизируют установку и извлекают борированные детали.

### 3. Электролизное борирование

Электролизное борирование проводят на специальных установках, основными частями которых являются печь-ванна с металлическим тиглем, система питания постоянным током, система автоматического контроля и регулирования температуры.

Подготовленные к насыщению детали монтируют на специальных приспособлениях и подключают в цепь электролиза в качестве катода. Анодами служат графитовые (реже силиконовые) стержни. Режим процесса электролизного борирования выбирают в зависимости от требуемой толщины слоя. Электролизное борирование применяется преимущественно в массовом производстве при обработке однотипных изделий.

### 4. Жидкостное (безэлектролизное) борирование

Жидкостное (безэлектролизное) борирование можно проводить в любых печах-ваннах, обеспечивающих получение требуемой температуры. Обычно для этих целей применяют те же печи, что и для электролизного борирования.

В качестве насыщающих сред используют расплавы на основе боратов щелочных металлов (преимущественно  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), в которые добавляют электрохимические восстановители: химически активные элементы (Al, Si, Ti, Ca, Mn, B и др.) или ферросплавы, лигатуры и химические соединения на их основе - ферромарганец (ФМн95), силикомарганец (СМн17), силикоцирконий (СиЦр50), карбид бора ( $\text{B}_4\text{C}$ ), карбид кремния (SiC), силикокальций (СК25). Наиболее рационально применение данного способа борирования в мелкосерийном и серийном производствах [4].

### 5. Борирование в обмазках (из паст)

Борирование в обмазках (из паст) целесообразно применять при упрочнении крупногабаритных изделий, а также при необходимости местного борирования. Развитие этого направления в борировании стимулируется также возможностью совмещения борирования с применяемыми на предприятиях режимами термической обработки упрочняемых деталей. Технология процесса борирования из паст предусматривает выполнение следующих операций: приготовление обмазки, подготовка упрочняемой поверхности к насыщению, нанесение и сушка обмазки, борирование деталей по заданному режиму, охлаждение и очистка деталей от пасты. После завершения режима насыщения детали охлаждают на воздухе или подвергают непосредственной закалке.

При сравнительной оценке (таблица 1) существующих методов борирования в первую очередь необходимо учитывать их технологические достоинства и недостатки, производительность (скорость насыщения) и стоимость (экономическую эффективность).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов борирования

№	Метод	Достоинства	Недостатки
1	Жидкостное борирование (безэлектролизное)	Технологическая простота, отсутствие специального оборудования	Повышенная вязкость применяемых расплавов по сравнению с чистой бупной
2	Электролизное борирование	Высокое качество боридных слоев, высокопроизводительно	Необходима специальная энергоемкая установка
3	Борирование в порошковых средах	Простота технологического оборудования, упрочнение изделий сложных форм, минимальная деформация при обработке	Наибольшие денежные затраты на порошковую смесь
4	Газовое борирование	Упрочнение изделий сложных форм	Взрывоопасен

### Список использованных источников

1. Лахтин, Ю.М. Основы металловедения: учебник / Ю.М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1988. – 320 с.
2. Лабунец, В.Ф. Износостойкие боридные покрытия: справочное пособие / В.Ф. Лабунец, Л.Г. Ворошнин, М.В. Киндрачук. – К.:Тэхника, 1989. – 158 с.
3. Бернштейн, М.Е. Металловедение и термическая обработка стали: перераб. и дополнено / М.Е. Бернштейн. -М.: Металлургия, 1991. – 472 с.
4. Ворошнин, Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов: справочное пособие / Л.Г. Ворошнин. – Минск: Беларусь, 1981. – 205 с.

УДК 621.794.42

### Реактивы для травления микрошлифов

Студент гр.10405514 Пацеко Е.К.  
Научный руководитель – Вейник В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для травления микрошлифов применяют большое количество различных реактивов. Основные реактивы для травления микрошлифов сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные реактивы для травления микрошлифов

Предназначение	Состав реактива
Выявление структуры сталей, в том числе после термической обработки, чугунов, магния	1–5 мл азотной кислоты, 100 мл этилового спирта (реактив Ржешотарского)
Определение структуры различных сталей, чугунов, ферросплавов	0,5–6 г пикриновой кислоты, 100 мл этилового спирта
Выявление структуры коррозионностойких сталей с высоким содержанием никеля и кобальта, а также структуры сплавов никеля	30 мл азотной кислоты, 20 мл уксусного ангидрида (реактив наносят ватным тампоном)
Определение структуры высокохромистых коррозионностойких сталей	3 мл азотной кислоты, 10 мл соляной кислоты, 100 мл этилового спирта
Выявление карбидов, вольфрамитов в сталях и структуры высоколегированных хромоникелевых сталей	10 г калиевой соли гексацианожелезной кислоты (красная кровяная соль), 10 г едкого калия, 100 мл дистиллированной воды (реактив Мураками)
Определение структуры никелевых и кобальтовых сплавов, коррозионностойких и жаропрочных сталей	20 г сернокислой меди, 100 мл соляной кислоты, 100 мл дистиллированной воды (реактив Марбле)
Выявление структуры меди и ее сплавов	5 мл хлорного железа, 10 мл соляной кислоты, 100 мл дистиллированной воды
Определение структуры титановых сплавов	5 мл плавиковой кислоты (48%-ной), 100 мл дистиллированной воды
Выявление структуры алюминиевых сплавов	0,5 мл плавиковой кислоты (48%-ной), 100 мл дистиллированной воды

Наиболее часто для черных металлов используют:

- 2–4%-ный раствор азотной кислоты в спирте;
- 3–4%-ный раствор пикриновой кислоты в этиловом спирте.

Продолжительность выдержки при травлении для разных сплавов и структур неодинакова.