

СОСТАВ БОР СОДЕРЖАЩЕЙ ПАСТЫ ДЛЯ БОРИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПУТЁМ НАГРЕВА ТВЧ

Д. В. Белоусов

Научный руководитель – С. П. Казанцев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с химическим составом пасты для диффузионного борирования

Ключевые слова: бор, диффузионное насыщение, токсичность бора, упрочнение деталей, нагрев ТВЧ, борирование в обмазках.

COMPOSITION OF BORON-CONTAINING PASTE FOR BORIDING STEEL PARTS BY HEATING WITH THF

D. V. Belousov

Scientific advisor – S. P. Kazantsev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Questions connected with chemical composition of paste for diffusion boriding are considered.

Keywords: boron, diffusion saturation, boron toxicity, hardening of details, boriding in pastes, boriding in coatings, THF heating, boron saturation.

Повышение прочности деталей, качества выпускаемой продукции и увеличение экономической эффективности сельскохозяйственных и иных предприятий является актуальной задачей на сегодняшний день. Упрочнение поверхности стальных деталей с помощью борирования позволит решить данную задачу.

Борирование – это процесс диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов атомами бора при высокотемпературной обработке, в результате которого формируется боридный слой с высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. Благодаря возможности тонкой регулировки состава пасты и параметров процесса технология позволяет получать покрытия с заданными характеристиками. Данный метод применяется для упрочнения сталей различ-

ных классов, включая ферритные, аустенитные, перлитные. Насыщение поверхности бором осуществляется в различных технологических средах, включая расплавы оксидов, порошковые смеси, а также пасты.

Борирование в обмазках (из паст) представляет собой один из наиболее технологически продвинутых и экономически эффективных способов получения диффузионных упрочняющих слоев на поверхности металлов и сплавов. Этот метод предполагает нанесение на упрочняемую деталь тонкого слоя (до 10 мкм) насыщающей среды, которая предварительно разводится в растворителе. В качестве растворителя могут использоваться вода, жидкое стекло, а также органические или неорганические клеящие составы, что позволяет добиться оптимальной текучести и равномерности наносимого слоя.

После нанесения бор содержащей пасты деталь с помощью ТВЧ установки подвергается нагреву до 950...1050°C, что обеспечивает создание необходимого температурного режима для эффективного диффузионного насыщения. Длительность нагрева зависит от размера упрочняемого участка, а также желаемой глубины получаемого упрочнённого слоя. Одним из ключевых преимуществ данного способа является экономия расходных материалов: использование тонкого слоя пасты снижает затраты на исходное покрытие и позволяет минимизировать энергозатраты, связанные с прогревом упрочняемой поверхности детали. Более того, оптимизация толщины покрытия способствует ускорению процесса насыщения за счёт снижения теплового сопротивления, что улучшает общую энергоэффективность технологии.

Химический состав пасты для борирования:

- **H₃BO₃** (борная кислота): 30...40 %

Роль: основной источник бора для насыщения поверхности металла. При нагреве борная кислота может дегидратироваться и превращаться в B₂O₃, который затем участвует в реакции с поверхностью металла.

- **B₄C** (карбид бора): 20...30 %

Роль: B₄C повышает активность диффузионного процесса за счёт дополнительного источника бора.

- **NaF** (фторид натрия): 5...10 %

Роль: фторид натрия действует как флюс, снижая температуру плавления оксидных фаз и облегчая диффузию бора за счёт образования легкоплавких соединений. Это помогает активировать процесс насыщения.

- **NaCl** (хлорид натрия) или **NH₄Cl** (хлорид аммония): 10...15 %

Роль: хлоридные соли способствуют улучшению проникновения бора в металл за счёт формирования хлоридных комплексов (в нашем случае NH_4Cl – выделение HCl при термическом разложении, что активирует поверхность детали).

· **Связующие компоненты** (вода, жидкое стекло, органические и неорганические клеи): 10...20 %

Роль: используются для создания удобной консистенции пасты и фиксации её на поверхности.

В качестве восстановителя для активации B_4C (карбид бора) можно использовать углеродсодержащие компоненты, способные создать восстановительную среду в процессе борирования. Лучшим восстановителем является порошкообразный графит (С). Добавление мелкодисперсного графита (обычно в пределах 2...5 % от массы пасты) способствует восстановлению оксидов, образующихся при разложении B_4C , и может способствовать выделению активных атомов бора.

Таблица 1 – Токсичность химических веществ, содержащихся в пасте

Компонент пасты	Токсичность	Примечание
Борная кислота (H_3BO_3)	В малых концентрациях борная кислота считается малотоксичной и даже используется в некоторых медицинских и бытовых продуктах	После борирования не остаётся на поверхности детали, поскольку выгорает при высокой температуре
Карбид бора (B_4C)	Карбид бора нетоксичен	Он не вступает в реакцию с пищевыми продуктами и не выделяет вредных веществ
Фториды (NaF)	Фторид натрия токсичен при попадании внутрь организма	В процессе борирования выполняет роль активатора и полностью удаляется после термической обработки
Хлориды (NaCl , NH_4Cl)	Хлорид натрия (поваренная соль) безвреден, но хлорид аммония (NH_4Cl) может быть токсичным при вдыхании паров во время нагрева	Как и фториды, испаряется в процессе борирования и не остаётся на поверхности

Использование паст для борирования, содержащих химические вещества, такие как борная кислота (H_3BO_3), карбид бора (B_4C), фториды (NaF) и хлориды (NaCl , NH_4Cl), требует тщательной оценки их

безопасности, особенно если упрочнённые детали планируется применять в пищевой промышленности. Ключевые аспекты рассмотрим в таблице 1.

Особенностью данного состава является то, что в зависимости от типа обрабатываемого материала детали состав пасты может изменяться для оптимизации процесса борирования. Активаторы, такие как фториды или хлориды, играют важную роль в ускорении диффузионного процесса, особенно при обработке легированных сталей.

Поскольку паста полностью выгорает в процессе термической обработки, обработанная поверхность насыщается бором, который является инертным, нетоксичным и безопасным для контакта с пищевыми продуктами. Это означает, что детали, упрочнённые с помощью борирования применимы в пищевой промышленности.

Заключение

1. Оптимальный подбор химического состава пасты позволяет достигнуть необходимого уровня содержания бора на поверхности детали, вследствие чего увеличится износостойкость и долговечность рабочих органов.

2. Проанализирован химический состав пасты на токсичность химических веществ.

3. Насыщение поверхностей деталей бором позволит увеличить износостойкость деталей. Необходимо произвести производственные испытания опытных образцов для нахождения оптимального состава пасты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казанцев, С. П. Новая технология получения комбинированных диффузионных покрытий / С. П. Казанцев // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2003. – № 7. – С. 30-32.

2. Иванова, Т. Г. Разработка и исследование процессов одновременного насыщения поверхности стальных изделий бором, хромом и титаном : специальность 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» : дис. ... канд. техн. наук / Иванова Татьяна Геннадьевна, 2017. – 142 с.

3. Казанцев, С. П. Разработка комбинированной технологии получения железоборидных покрытий при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственной техники : специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» : дис. ... доктора техн. наук / Казанцев Сергей Павлович. – Москва, 2006. – 301 с.

4. Ерохин, М. Н. Применение карбонильного хрома для получения упрочняющих покрытий на деталях сельскохозяйственной техники / М. Н. Ерохин,

Н. Н. Чупятов, С. П. Казанцев // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Белорусского государственного аграрного технического университета и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ) д-ра техн. наук, проф. В. П. Сулова, Минск, 04-06 июня 2014 года. – Минск : Белорусский государственный аграрный технический университет, 2014. – С. 275-278.

5. Дидманидзе, О. Н. Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей / О. Н. Дидманидзе, А. С. Афанасьев, Р. Т. Хахимов // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 50-55. – DOI 10.25515/PMI.2018.1.50.

6. Казанцев, С. П. Новая технология получения комбинированных диффузионных покрытий / С. П. Казанцев // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2003. – № 7. – С. 30-32.

7. Дидманидзе, О. Н. Повышение параметрической надежности автомобильных двигателей / О. Н. Дидманидзе, Д. В. Варнаков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2007. – № 5. – С. 2-7

8. Erokhin, M. Operability assessment of drive shafts of john deere tractors in operational parameters / M. Erokhin, S. Kazantsev, A. Pastukhov // В сборнике: Engineering for Rural Development. – 2019. – С. 28-33.

9. Эйдис, А. Л. Менеджмент техники и технологии сельскохозяйственных машин : учебное пособие / А. Л. Эйдис, Е. П. Парлюк, В. И. Еремеев. – М. : ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2020. – 196 с.

Об авторах:

Белоусов Дмитрий Валерьевич, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», tom.klaus.14@mail.ru.

Научный руководитель – Казанцев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и деталей машин ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», kspts@bk.ru.

About the authors:

Dmitry V. Belousov, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, tom.klaus.14@mail.ru.

Scientific advisor – Sergey P. Kazantsev, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department of Materials Resistance and Machine Parts, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, kspts@bk.ru.