

ПРИМЕНЕНИЕ БОРИРОВАНИЯ В ПОРОШКОВОЙ СРЕДЕ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

В работе приведена характеристика и показана перспективность применения синтезированной насыщающей порошковой среды полученной способом внепечной металлотермии для процесса борирования. Представлены данные о формирующихся компактных боридных слоях на сталях различных марок и их применимости для работы в различных условиях на примере конкретных деталей.

The characteristics and prospects of using synthesized powder saturating mixture obtained by the process out-of-furnace metallothemy for boriding process were shown. The data on the compact formed boride layers on steel of various grades and their applicability for use in a variety of conditions on the example of specific details were presented.

Введение

Технология термодиффузионного поверхностного легирования бором применима во многих отраслях промышленности, где речь идет об абразивном изнашивании поверхностей деталей машин. К ним можно отнести сельское хозяйство, производство строительных материалов, машиностроение и другие. Диффузионные борированные слои, получаемые на конструкционных и инструментальных сталях обладают высокой твердостью и износостойкостью и являются одними из наиболее стойких в условиях граничного трения. В условиях абразивного изнашивания без значительных динамических нагрузок борированные слои на стали могут превосходить по стойкости диффузионные слои, полученные в результате азотирования на 50...70 % [1, 2].

Процесс борирования осуществляется из порошковых сред, расплавов, обмазок, газовых сред, плазмы тлеющего разряда и других, а свойства получаемых боридных слоев могут изменяться в широком диапазоне [3]. Указанные способы проведения процесса борирования имеют свои преимущества и недостатки для разных условий использования. Выбор способа борирования диктуется не столько стоимостью процесса, сколько его условиями производства и геометрией упрочняемых деталей. При обработке

мелких изделий небольшими партиями наиболее применим порошковый метод борирования.

Преимущества борирования в порошковой среде заключаются в возможности получения равномерного борированного слоя по поверхности детали, за исключением участков с криволинейной поверхностью радиусом до 4–5 мм. Борирование в порошковых смесях проводится при печном нагреве в герметичном контейнере с плавким затвором.

Анализ диаграммы состояния Fe-B показывает, что борированные слои на железе могут формироваться достаточно легко и с хорошей воспроизводимостью, так как бор с железом образуют выраженную замкнутую γ -область. Решающим фактором в формировании диффузионного слоя на стали являются фазовые превращения, связанные полиморфным превращением железа. Диаграммы состояния системы Fe-B, построенные различными авторами имеют практически один вид. Некоторые отличия наблюдаются в определении авторами критических точек и идентифицировании фаз, что обусловлено различиями в методах исследований и их точности, а также представлениями о структурно-фазовом состоянии сплавов систем Fe-B и Fe-C-B. На рисунке 1 представлена схема полной диаграммы состояния системы Fe-B, построенная авторами [4] на основании обобщенных данных работ [5–7] с учетом существования экспериментально установленных боридов Fe_3B , Fe_2B , FeB , FeB_2 . Положения критических точек и значения концентраций по данным авторов диаграммы являются условными и представляют средние арифметические значения по результатам работ, опубликованным до 1996 года.

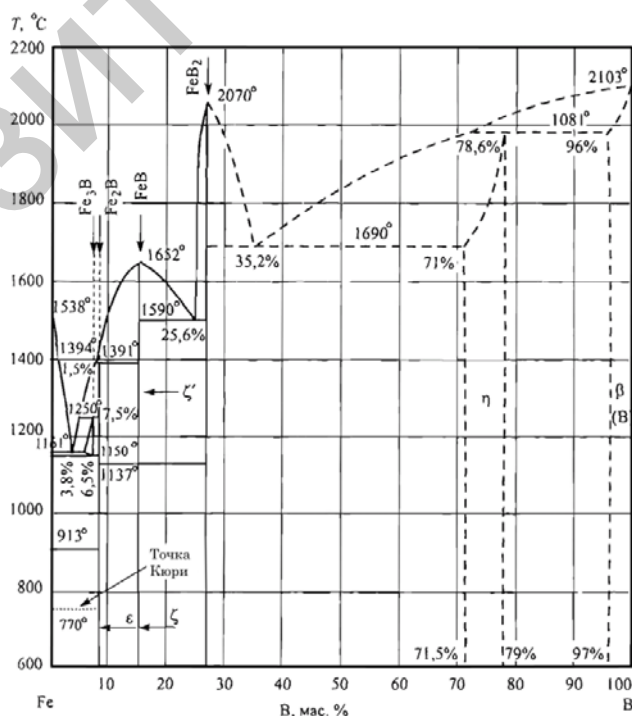


Рис. 1. Схема диаграммы состояния системы Fe-B [3]

Получаемые борированные слои на стали могут быть компактными и некомпактными однофазными (Fe_2B) и двухфазными ($\text{Fe}_2\text{B} + \text{FeB}$) слоями, но независимо от этого диффузионный слой состоит из зоны боридов и переходной зоны в виде твердого раствора бора в α -железе [1, 8]. Кроме того, двухфазные боридные слои на стали состоят из боридов Fe_2B и FeB независимо от химического состава стали [9]. Однофазное борирование проводится, как правило, при температурах ниже 900°C , двухфазное – при температурах выше $900\text{--}920^\circ\text{C}$. Выбор режимов для формирования необходимого боридного слоя, как и эффективность боридных слоев, определяется, главным образом, условиями работы упрочняемых деталей.

В данной работе представлены результаты использования борирования в порошковой среде для упрочнения различных стальных деталей. Для каждой из рассмотренных деталей были проведены исследования для выявления оптимального режима борирования в связи с условиями их работы. Исследования были также направлены на получение достоверных данных о зависимости параметров диффузионного борированного слоя – толщины, фазового состава, морфологии и микротвердости боридного слоя от режимов диффузионного насыщения для различных марок сталей. Представлены определенные оптимальные параметры боридных слоев и режимы процесса термодиффузионного борирования.

Материалы и методики

В качестве насыщающей среды использовали порошковую смесь торговой марки «Besto-bor» – синтезированная порошковая среда для борирования, обладающая высокой насыщающей способностью, которая разработана сотрудниками научно-исследовательской лаборатории упрочнения стальных изделий БНТУ. Процесс поверхностного термодиффузионного легирования бором из указанных порошковых смесей зарекомендовал себя как обеспечивающий высокие технико-экономические показатели и стабильность свойств упрочняемых изделий. По своей эффективности процесс борирования из насыщающей среды «besto-bor» не уступает однотипным, разработанным зарубежными фирмами BorTec GmbH (Германия), Worldwide Alloy Surfacing Inc. (США), кратность использования насыщающей порошковой смеси может достигать 4–6 раз, а себестоимость такой обработки не превышает себестоимости жидкостного борирования [10]. Толщина диффузионного слоя в зависимости, назначения и технологических параметров процесса может варьироваться в широких пределах – от 50 до 400 мкм (рисунок 2), а микротвердость может достигать 18–22 ГПа. При этом класс шероховатости поверхности после борирования при $R_a \leq 1,0\text{--}1,25$ сохраняется на уровне исходного или снижается на 1–2 класса при $R_a \leq 0,25\text{--}0,32$.

Порошковые среды получали алюмотермическим восстановлением с протеканием СВС-процесса внепечным способом [11]. Восстановленную смесь размалывали, просеивали до требуемого гранулометрического состава.

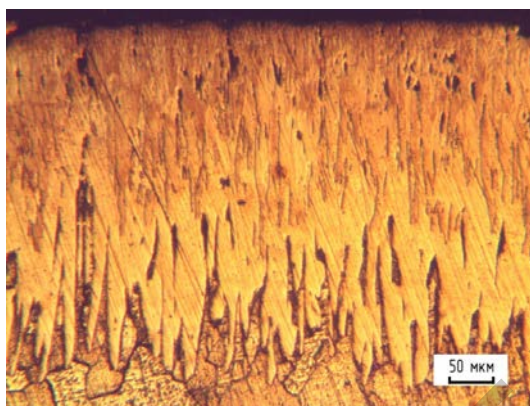


Рис. 2. Микроструктура боридного слоя, полученного из насыщающей среды «besto-bor» толщиной 400 мкм

Результаты и их обсуждение

В результате подбора температурно-временных параметров борирования и активаторов, а также рационального размещения упрочняемых деталей в контейнерах получены боридные покрытия на различных стальных деталях (рисунок 3), позволяющие повысить износостойкость в условиях их работы и получить экономический эффект. Эффективная толщина слоя для разных деталей составила от 100 до 360 мкм, микротвердость поверхности варьировалась в пределах 16,0–19,5 ГПа.

Результаты исследования всех режимов борирования показали, что зависимости толщины диффузионного слоя от времени выдержки и температуры нагрева описываются параболическим и экспоненциальным законом, что соответствует классическим представлениям теории диффузии.

Разработана технология борирования кернов для пластического прессования пустотелых изделий, которые используются на прессах керамических заводов строительных материалов и ставятся комплектами на специальные мундштуки. Типовая форма кернов использующихся при формовании кирпичной массы представлена на рис. 3а. Основные требования к упрочнению обусловлены необходимостью высокой абразивной стойкостью, прежде всего ребер детали, поскольку в результате движения глиняного бруса при выходе из мундштука они наиболее подвержены износу.

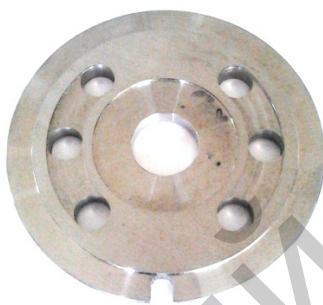
Термодиффузионное борирование обеспечивает повышенную защиту от искрообразования деталям при фрикционном взаимодействии, это активно используется для деталей уплотнительных и газораспределительных систем. В частности, на рис. 3б представлены втулка и палец, работающие во взрывоопасной среде изобутана [12, 13].



а) керны



б) втулка и палец



в) золотник крышки гидрораспределителя



г) пластины пресс-форм для литья под давлением



д) клинья пресс-форм для литья под давлением

Рис. 3. Внешний вид упрочняемых деталей

Более высокие требования к процессу термодиффузионного борирования, с точки зрения отсутствия дефектов, коробления, сохранения достаточной прочности основного металла и прочее проявляются при упрочнении прецизионных деталей, в частности, золотников – деталей запорно-регулирующих элементов гидрораспределителя (рис. 3в).

Упрочнению подлежат также многие детали пресс-форм для литья под давлением сложной конфигурации: формообразующие детали, детали системы выталкивания и другие. Проводили борирование упоров, планок (рис. 3з), используемых в системе, обеспечивающей смыкание и размыкание пресс-формы. С целью снижения износа и, как следствие расшатывания, снижения надежности запирающей формы – клинья (рис. 3д).

Табл. 1

Результаты термодиффузионного борирования стальных деталей

№	Деталь	Сталь	Защита от насыщения	Тип боридного слоя	Толщина боридного слоя, мкм	Микротвердость, ГПа
1	Керн ОАО «Керамика», (г. Витебск)	Сталь 20	Без защиты	компактный $Fe_2B + FeB$	320–360	18,0–19,5
2	Керн ОАО «Керамика», (г. Витебск)	Ст3	Без защиты	компактный $Fe_2B + FeB$	320–350	18,0–19,5
3	Палец Филиал ЗАО «Атлант» – Баранов. станк. завод	Сталь 40Х	Защита от-верстий	компактный $Fe_2B + FeB$	190–220	16,8–18,4
4	Втулка Филиал ЗАО «Атлант» – Баранов. станк. завод	Сталь 40Х	Защита от-верстий	компактный $Fe_2B + FeB$	150–200	16,8–18,2
5	Пластины пресс-форм для литья под давл. ЗАО «Атлант»	Сталь 40Х	Защита резьбы и отверстий	некомпактный $Fe_2B + FeB$	180–230	16,4–17,8
6	Клинья пресс-форм для литья под давл. ЗАО «Атлант»	Сталь 40Х	Без защиты	некомпактный $Fe_2B + FeB$	200–250	16,4–17,2
7	Золотник крышки гидрораспределителя ООО «Салео»	У8А	Без защиты	компактный $Fe_2B + FeB$	120–150	17,6–18,0
8	Золотник блока гидрораспределителя ООО «Салео»	9ХС	Без защиты	компактный $Fe_2B + FeB$	100–140	16,3–18,0

* приведенная микротвердость высокобористой фазы характерна для приповерхностного слоя, лежащего на глубине около 8–10 мкм

Таким образом, результаты использования борирования для рассмотренных деталей наглядно показали преимущества боридных покрытий, важнейшими показателями которых является высокая микротвердость до 20 ГПа и износостойкость. При этом функциональные возможности покрытий не ограничиваются только микротвердостью и износостойкостью, эффективным также является использование их для деталей искробезопасного назначения [14].

Заключение

Подбор состава насыщающей смеси и управление температурно-временными параметрами насыщения позволяют получать высокие физико-механические и эксплуатационные свойства обрабатываемой поверхности, отсутствие скалываемости диффузионного слоя и других дефектов борированного слоя на деталях различной геометрии из разных марок сталей.

Полученные результаты свидетельствуют об актуальности использования процесса борирования, в частности борирования в порошковых средах, для упрочнения деталей из инструментальных и конструкционных сталей.

Список использованных источников

1. Ворошин, Л.Г., Борирование стали. / Л.Г. Ворошин, Л.С. Ляхович. – М.: Металлургия, 1978 – 126 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. – Москва: Металлургия, 1981 – 424 с.
3. Крукович, М.Г. Разработка теоретических и прикладных аспектов управления структурой и свойствами борированных слоев и их использование при производстве транспортной техники : дисс. ... докт. техн. наук : 05.16.01 / М.Г. Крукович. – Москва, 1995. – 416 л.
4. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.
5. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник / Под ред. О.А. Банных, М.Е. Дрица. – М.: Металлургия, 1986. – 440 с.
6. Диаграмма состояния двойных металлических систем: Справочник: в 3 т.: Т. 1 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
7. Двойные и тройные системы, содержащие бор; справочн. изд. / ред. Ю.Б. Кузьма, Н.Ф. Чабан. – М.: Металлургия, 1990. – 320 с.
8. Ворошин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск.: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001 – 148 с.

9. Сорокин, Л.М. Упрочнение деталей борированием. / Л.М. Сорокин – М.: Машиностроение, 1972 – 325 с.

10. BESTO (Белорусские среды для термодиффузионной обработки) [Electronic resource] – Mode of access : <http://besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie>. – Date of access : 28.04.2015.

11. Кухарева, Н.Г. Получение высокобористых диффузионных покрытий на углеродистых сталях / Н.Г. Кухарева, С.Н. Петрович, Г.В. Стасевич // *Металлургия : респ. межвед. сб. научн. тр.* – Минск: БНТУ, 2013 – Вып. 34, – Ч. 2. – С. 9–15.

12. Дашкевич В.Г. Исследование фрикционной искробезопасности борсодержащих диффузионных и наплавленных покрытий / В. Г. Дашкевич, А.А. Пивоварчик, В. Г. Щербаков // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки.* – 2013. – № 11. – С. 78-81.

13. Дашкевич, В.Г. Исследование искробезопасности покрытий при фрикционном контакте / В.М. Константинов В.Г. Дашкевич, А.А. Пивоварчик // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн.1. Материаловедение/ редколлегия : С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.].* – Минск : ФТИ НАН Беларусь, 2013. С. 51 – 57.

14. Дашкевич, В.Г. Эффективные технологии поверхностной обработки изделий из стали / В.Г. Дашкевич, Г.В. Стасевич, А.В. Ковальчук, В.Г. Щербаков, Д.В. Гегеня // *Научно-технологические инновации : сборник докладов Юбилейной Международ. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В. Г. Шухова.* – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч. 4. – С. 229–233.