

О МОНОГРАФИИ «БОРИРОВАНИЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ»

**А. М. Гурьев^{1, 2}, Б. Д. Лыгденов^{1, 3}, М. А. Гурьев²,
Мэй Шунчи¹, О. А. Власова²**

¹ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай,

² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

³ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

С учетом литературных данных и результатов исследований, проведенных авторами, в книге рассматриваются детальный фазовый и структурный анализ борированной по различным режимам малоуглеродистой стали, с применением методов просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Исследованы и описаны основные закономерности и механизмы борирования и карбоборирования феррито-перлитной стали. Для широкого круга специалистов - научных сотрудников и инженеров, занимающихся вопросами разработки и совершенствования технологии термической и химико-термической обработки металлов и сплавов, а также преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области металловедения и физики металлов.

Ключевые слова: сталь, диффузия, покрытия, борирование

ON THIS MONOGRAPH «BORIDING OF MILD STEEL»

**A. M. Guriev^{1, 2}, B. D. Lygdenov^{1, 3}, M. A. Guriev²,
M. Shunqi¹, O. A. Vlasova²**

¹ Wuhan Textile University, Wuhan, China

² Altai State Technical University, Barnaul, Russia

³ East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

In the book taking into account the literature data and results of studies conducted by the authors, detailed phase and structural analysis of mild steel borated on different modes are considered, using the methods of transmission electron microscopy and X-ray analysis. The basic laws and mechanisms of boriding and carbon-boriding of ferrite-perlite steel are investigated and described. This work is for a wide range of experts – scientists and engineers involved in the development and improvement of the technology of thermal and thermochemical processing of metals and alloys. Also it can be used for teachers and students specializing in the field of Physical Metallurgy.

Ключевые слова: steel, diffusion, boriding, wear resistance

Химико-термическая обработка (ХТО) сочетает термическое и химическое воздействие с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металла или сплава. ХТО осуществляется в результате диффузионного насыщения металла или сплава неметаллами (С, N, В и др.) или металлами (Al, Cr, Zn, W, Mo и др.) при определенной температуре в активной насыщающей среде [1 – 9].

В отличие от поверхностной закалки при

химико-термической обработке разница в свойствах достигается не только изменением структуры металла, но и его химического состава. ХТО не зависит от формы деталей и обеспечивает получение упрочненного слоя одинаковой толщины по всей поверхности. ХТО дает более существенное различие в свойствах поверхности и сердцевины деталей. Насыщение поверхностного слоя происходит при нагреве детали до определенной температуры в среде, легко выделяющей

насыщающий элемент в активном состоянии, и выдержке при этой температуре.

Следует также подчеркнуть, что химико-термической обработкой изделиям можно придать такой комплекс эксплуатационных свойств, достижения которого объемным легированием или невозможно, или экономически невыгодно [1 – 9].

Диффузионное борирование является одним из наиболее перспективных методов химико-термической обработки сталей и сплавов [2 – 4]. Получающиеся в результате насыщения бором покрытия имеют характерное игольчатое строение. Структура, формирующаяся при борировании углеродистых сталей, существенно зависит от содержания углерода, находящегося в насыщаемом металле. По мере увеличения содержания углерода в стали скорость роста игл уменьшается и происходит сглаживание фронта боридного слоя. Кроме того, структура и толщина наружных боридных слоев зависит от состава насыщающей смеси и температуры процесса. Известно, что боридные слои, полученные в различных условиях, не являются однородными в структурном отношении и могут иметь более или менее выраженное сложное зубчатое строение.

Проблема твердых растворов бора в железе широко дискутируется в научной литературе. Атомы бора благодаря своим размерам и стремлению к ковалентной связи при вхождении в металлические сплавы занимают особое положение среди легирующих компонентов в стали. Растворимость бора в железе очень мала. Малая растворимость бора в железе влечет за собой интенсивное образование вторичных фаз этих элементов уже при малой концентрации бора. Бор с железом образует две фазы: Fe_2B и FeB . При наличии углерода фазообразование в тройной системе $Fe - C - B$ идет несколько иным путем. Наряду с боридами Fe_2B и FeB образуются карбобориды (тройные фазы) $Fe_3(C,B)$ и $Fe_{23}(C,B)_6$. Карбобориды имеют переменный состав. В цементите Fe_3C бор может заместить углерод на 80 %. В некоторых случаях наряду с предельным составом $Fe_3B_{0,8}C_{0,2}$ указывают даже $Fe_3B_{0,9}C_{0,1}$. Другие авторы считают, что бор замещает не более 2/3 атомов углерода в Fe_3C . Сложное строение карбоборидов с переменным составом заслуживает своего исследования.

Не существует в настоящее время и четко сформулированной общей теории химико-термической обработки, позволяющей количественно интерпретировать результаты

насыщения (фазовый остаток, структуру и свойства слоя), исходя из известных исходных технологических предпосылок (состава насыщающей среды и обрабатываемого сплава, давления в реакционном пространстве, температуры, времени процесса и т. д.).

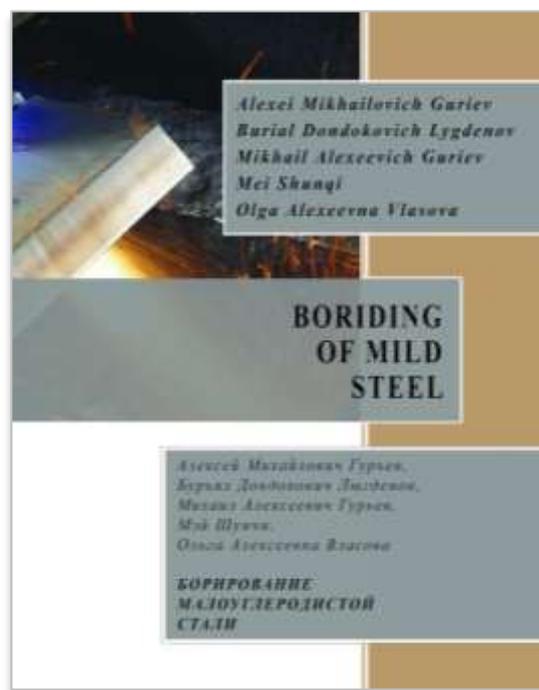


Рисунок 1 – Монография «Борирование малоуглеродистой стали»

Совершенно очевидно, что в проблеме борирования много нерешенных вопросов, которые заслуживают глубокого исследования, как теоретического, так и прикладного характера. Часть этих вопросов ставится и исследуется в настоящей работе.

Для выполнения исследования проводилось изучение структуры и фазового состава образцов методами оптической и электронной микроскопии и методом рентгеноструктурного анализа. Основной целью исследования являлось выяснение: механизмов процесса борирования, каналов поступления бора в легируемую им сталь, определение качественных и количественных характеристик процесса и параметров, формирующихся при борировании структур; особое внимание было уделено процессам борирования при однократном нагреве под борирование и при включении режимов термоциклирования [4, 5].

В книге [10] (рисунок 1) с учетом литературных данных и результатов исследований, проведенных авторами, рассматриваются

детальный фазовый и структурный анализ борированной по различным режимам малоуглеродистой стали, с применением методов просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Исследованы и описаны основные закономерности и механизмы борирования и карбоборирования ферритоперлитной стали. Монография изложена на 141 странице, состоит из 3 глав, заключения и списка использованной литературы. Она содержит 80 рисунков, 9 таблиц и список литературных источников из 131 наименования.

Предназначена книга [10] для широкого круга специалистов – научных сотрудников и инженеров, занимающихся вопросами разработки и совершенствования технологии термической и химико-термической обработки металлов и сплавов, а также преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области металловедения и физики металлов.

Список литературы

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. - 424 с.
2. Лахтин, Ю.М. Химико-термическая обработка металлов. / Ю.М. Лахтин, В.Н. Арзамасов - М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
3. Ворошнин, Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов / Л.Г. Ворошнин – Мн.: Беларусь, 1981. – 205 с.
4. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов - Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. –133 с.
5. Гурьев, А.М. Физические основы термодиффузионного борирования / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 216 с.
6. Лыгденов, Б.Д. Особенности формирования структуры диффузионного слоя и разработка технологии упрочнения литых инструментальных сталей с учетом дендритной ликвации / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, И.А. Гармаева, А.Ц. Мижитов, В.И. Мосоров // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. - 2006. - Т. 3. - № 3. - С. 84-86.

7. Гурьев, М.А. Комплексное диффузионное упрочнение тяжело нагруженных деталей машин и инструмента / М.А. Гурьев, С.Г. Иванов, Е.А. Кочелова, А.Г. Иванов, А.Д. Грешилов, А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, Г.А. Околович // *Ползуновский вестник*. - 2010. - № 1. - С. 114-121.

8. Гурьев, А.М. Физические основы химико-термической обработки сталей / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. А. Попова, Э. В. Козлов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 250 с.

9. Гурьев, М.А. Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования / М.А. Гурьев, А.М. Гурьев, А.Г. Иванов, С.Г. Иванов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. - 2010. - № 5. - С. 155-157.

10. Гурьев, А.М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, И.А. Гармаева - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – 221 с.

11. Guriev, A. M. Boriding of mild steel / A. M. Guriev, B. D. Lygdenov, M. A. Guriev, M. Shunqi, O. A. Vlasova - Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, 2015. - 141 p.

Гурьев Алексей Михайлович^{1,2} – д. т. н., профессор

Лыгденов Бурьял Дондокович^{1,3} – д. т. н., доцент³, заведующий кафедрой «Металловедение и технологии обработки материалов»³, профессор¹

Гурьев Михаил Алексеевич² – к. т. н., докторант

Мэй Шунчи¹ – профессор, декан факультета Автоматизации и Механизации

Власова Ольга Алексеевна² – к. т. н., инженер

¹ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

² ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия

³ ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ВСГУТУ), г. Улан-Удэ, Россия