

УДК 621.762

**ИССЛЕДОВАНИЕ БОРИРОВАНИЯ  
СПЛАВОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

*Одарченко В.И., Казначеева Д.А., Щербаков В.Г.*

Научный руководитель: В.Г. Щербаков

*(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)*

В статье исследована кинетика формирования диффузионных слоев на армо-железе, стали У8, чугуна СЧ20 и стали Х12 при борировании в порошковых средах полученных методом металлотермии. Установлен значительный рост толщины диффузионных слоев на сплавах при повышении температуры насыщения.

Борирование - один из наиболее эффективных и перспективных методов упрочнения поверхности для повышения срока службы деталей [1]. Упрочнение при борировании металлов и сплавов происходит в результате образования на обрабатываемой поверхности металлоподобных соединений - боридов. Металлоподобными эти соединения называют потому, что наряду со свойствами, нехарактерными для металлов (очень высокой твердостью и незначительной способностью к пластической деформации), бориды обладают свойствами, характерными для металлического состояния вещества, - высокой электро- и теплопроводностью, термоэмиссией, металлическим блеском. Насыщение бором значительно увеличивает поверхностную твердость, жаростойкость и коррозионную стойкость [1]. Наиболее распространена технология борирования в контейнерах, заполненными порошками аморфного бора, карбида бора, ферробора, ферроборала и буры.

Изменением состава смеси и параметров обработки этот метод позволяет получить защитный слой, состоящий из двух интерметаллидных фаз (снаружи FeB, внутри Fe<sub>2</sub>B) или только из одной фазы (Fe<sub>2</sub>B) [1]. Борирование проводят в печах различного типа: камерных, шахтных, муфельных и др. Процесс осуществляется в интервале температур 800.1100 °С с выдержкой от 30 мин до 8.12 ч в

зависимости от марки стали и требуемой глубины насыщения. Из известных в настоящее время насыщающих сред для твердого борирования наибольший интерес представляют порошковые смеси на основе технического карбида бора или металлоподобные смеси. Первые технологичнее, а вторые значительно дешевле при той же насыщающей способности [2].

В качестве насыщаемого материала были выбраны пластинки из армо-железа, стали У8, чугуна СЧ20 и стали Х12. Химический состав исследуемых сплавов представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Марки сплавов и химический состав**

Сплав	Химический состав, 5 масс.							Fe
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	
Армо-Fe	-	-	-	-	-	-	-	Осн.
У8	0,75... 0,84	0,17. 0,33	0,17. 0,33	0,2	0,25	0,028	0,030	Осн.
СЧ20	3,3.3, 5	1,4.2, 4	0,7.1, 0	-	-	0,2	0,15	Осн.
Х12	2,0.2, 2	0,1.0, 4	0,15. 0,45	11,5. 13,0	-	-	-	Осн.

Насыщающей средой являлась порошковая смесь для термодиффузионного однофазного борирования, разработанная сотрудниками НИЛ упрочнения стальных изделий, Белорусского национального технического университета [3]. Обработку проводили при температурах 650, 750, 850 и 950 °С, продолжительность выдержки - 4 часа. Микрошлифы для микроанализа изготавливались по стандартным методикам. Анализ микроструктуры проводили на микроскопе Altami с различными увеличениями. Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3.

Анализ литературных данных [4-5] позволил установить, что при борировании на углеродистых сплавах существенное влияние оказывает исходный химический состав сплава и температурно-временных параметры обработки.

Любой борированный слой, в том числе и двухфазный, состоит из двух зон: зоны боридов и переходной зоны - зоны твердого

*ПОДСЕКЦИЯ 2.1. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ*

раствора бора в железе. Существенное влияние на соотношение боридных фаз в слое оказывают легирующие элементы. Кремний, молибден, вольфрам, титан, хром, никель и марганец увеличивают относительное содержание в слое борида FeB, а углерод, алюминий и медь - уменьшают.

Микротвердость боридов FeB и Fe<sub>2</sub>B в двухфазном боридном слое на армо-железе (при нагрузке на инденторе 0,98Н) равна соответственно 19200.20600 и 13500.14200 МПа. Увеличение содержания углерода в стали снижает твердость борида FeB и практически не влияет на твердость Fe<sub>2</sub>B. Микротвердость борида Fe<sub>2</sub>B в однофазном боридном слое несколько выше, чем в двухфазном, и составляет 13700.16200 МПа. С увеличением содержания углерода в стали поверхностная твердость однофазного боридного слоя понижается.

Борирование чугунов получило значительно меньшее промышленное распространение, чем борирование сталей, поэтому и закономерности их насыщения бором изучены менее детально [6]. Борированный слой серых, ковких и высокопрочных чугунов состоит из двух зон: боридной, имеющей характерное игольчатое строение, и переходной, включающей в себя α-фазу, выделения борного цемента Fe<sub>3</sub>(C, B) и графита. Толщина переходной зоны совпадает с глубиной проникновения бора в аустените при температуре насыщения и значительно превосходит толщину зоны α-фазы и Fe<sub>3</sub>(C, B). В боридной зоне сохраняются включения исходного (существовавшего до насыщения) графита [6].

Твердость однофазных диффузионных слоев на армо-железе составляет порядка 14000.16000 МПа, на стали У8 - 12000.14000 МПа, на чугуне СЧ20 - 10000.12000 МПа и на стали Х12 9000. 11000 МПа. Установлено, что при росте температуры борирования существенно возрастает толщина диффузионного слоя на обрабатываемых сплавах (рис. 1).

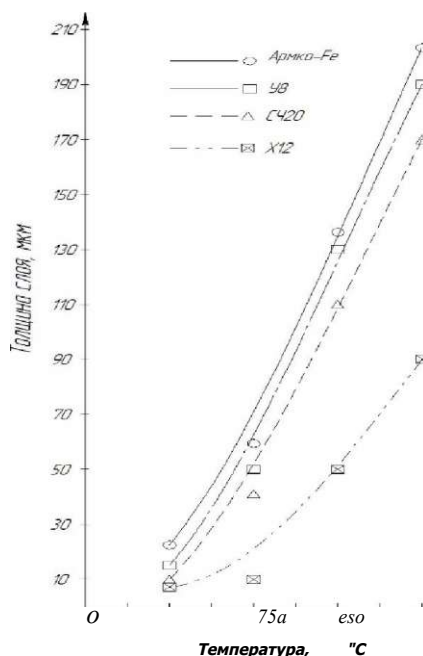


Рис. 1. Толщины диффузионных слоев на сплавах после борирования в порошковой смеси для однофазного борирования

Таким образом, установлено, что одним из возможных методов регулирования толщины диффузионных слоев на обрабатываемых материалах является снижение температуры насыщения. Данная обработка целесообразна для деталей специфического назначения и порошковых материалов, условия, работы которых подразумевают наличие диффузионного защитного боридного слоя определенной толщины. Наличие боридного слоя определенной толщины при низкотемпературной обработке в порошковых насыщающих средах имеет минимальное влияние на сердцевину обработанного изделия и позволяет заранее прогнозировать получаемые после химико-термической обработки эксплуатационные свойства готового изделия.

*ПОДСЕКЦИЯ 2.1. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ*

**Список литературы**

1. *Войнов Б.А.* Износостойкие сплавы и покрытия. - М.: Машиностроение, 1980. - 120 с.
2. *Борисенок Г.В.* Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Г.В. Борисенок [и др.] М.: Metallurgia, 1981. - 424 с.
3. Термодиффузионная поверхностная обработка [Электронный ресурс] / Борирование - режим доступа: <http://www.besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie> - Дата доступа 20.03.2017.
4. *Лабунец В.Ф.* и др. Износостойкие боридные покрытия / В.Ф. Лабунец, Л.Г. Ворошнин, М.В. Киндрачук. - К.: Техника, 1989. - 158 с.
5. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Борисенок Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. М.: Metallurgia, 1981. 424 с.
6. *Ворошнин Л.Г.* Борирование промышленных сталей и чугунов: (Справ. пособие). - Мн.: Беларусь, 1981. - 205 с.

**INVESTIGATION OF ALLOYS  
WITH IRON BASIS SUBJECTED TO BORIDING  
TREATMENT AT DIFFERENT TEMPERATURES**

*Odarchenko V., Kaznacheeva D., Scsherbakou V.*

Supervisor: V. Scsherbakou

*(Belarusian National Technical University, Minsk)*

The article reveals the investigation concerning the kinetic of diffusion layers formation on armco-iron, Y8 (W1-7, 1.1625, SK5), C420 iron (A48-30B, GG20, FC20), and X12 steel (D3, 1.2060, SKD1) subjected to bonding treatment in powder mixtures, that was previously obtained using metallothermic process. It was established that the rise of saturating temperature leads to significant increase in the thickness of the diffusion layers on treated alloys.