

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХРУПКОСТИ БОРИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА СТАЛИ У8А И 9ХС

КОНСТАНТИНОВ В.М., ДАШКЕВИЧ В.Г., КОВАЛЬЧУК А.В.  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

*v\_m\_konst@mail.ru, vladimir\_dvl@tut.by, a-v-kov@yandex.com*

В работе проведены исследования хрупкости диффузионных слоев, полученных в результате борирования в порошковых средах «besto-bor» при различных режимах, на сталях У8А и 9ХС, используемых для изготовления золотниковых пар торцевых распределителей гидромашин белорусского производства.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, борирование, межфазная граница, хрупкость, напряжение скола, разрушающая нагрузка.

The diffusion layer morphology on steels C80W1 and 90CrSi are used for the manufacture of spool end sleeves of motor distributor of hydraulic units in Belarus was investigated and friability of layer was evaluated by hardness indentation method.

Key words: thermochemical treatment, boriding, phase boundary, frangibility, shearing distortion, collapse load.

### Введение

Одним из наиболее эффективных методов повышения стойкости стальных изделий в условиях граничного трения и абразивного изнашивания является получение диффузионных слоев в результате борирования [1]. Процесс борирования может осуществляться в порошковой среде, расплаве, газовой среде (применение этого способа ограничивается из-за ядовитости реакционных газов) в зависимости от геометрии и количества деталей. Указанные способы проведения процесса борирования имеют свои преимущества и недостатки для разных условий использования.

Одним из наиболее эффективных по ряду показателей является способ борирования стальных изделий в порошковой среде [2, 3]. В производственной практике промышленных предприятий СНГ прошлых десятилетий известны порошковые насыщающие среды для борирования марки «Besto» [4]. Процесс поверхностного термодиффузионного легирования бором из указанных порошковых смесей зарекомендовал себя как обеспечивающий высокие технико-экономические показатели и стабильность свойств стальных изделий. По своей эффективности процесс борирования из насыщающей среды «besto-bor» не уступает и даже превосходит однотипные, разработанные зарубежными фирмами BorTec GmbH (Германия), Worldwide Alloy Surfacing Inc. (США), а себестоимость такой обработки не превосходит стоимости жидкостного борирования. Толщина диффузионного слоя в зависимости, назначения и технологических параметров процесса изменяется от 50 до 400 мкм; а микротвердость может достигать 2000 HV. Показатель шероховатости поверхности детали в результате обработки сохраняется на уровне исходного, как правило, 8-й класс. Кратность использования насыщающей порошковой смеси может достигать 4–6 раз.

В ходе исследования были проведены опыты по борированию сталей У8А и 9ХС, используемых для изготовления золотников торцевых распределителей гидромашин отечественного производства в насыщающей

порошковой среде состава, соответствующего ранее известной порошковой насыщающей среде «besto-bor» [4].

#### Материалы и методики

Диффузионное насыщение проводили в порошковой среде в контейнерах, герметизируемых плавким затвором. Контроль температуры осуществляли при помощи потенциометра ПСР-01, градуировка ХА.

Исследования микроструктуры проводились на микроскопе Neophot-2, в качестве травителя использовали разбавленную азотную кислоту, для выявления двухфазной структуры дополнительно использовали йод.

Измерения микротвердости проводили по методу восстановленного отпечатка на ПМТ-3.

Хрупкость борированного слоя оценивали по методике [5]. На первом этапе хрупкость оценивалась по напряжению скола  $\sigma$  (МПа) слоя (чем ниже напряжение скола, тем выше хрупкость):

$$\sigma = 0,174 \cdot P / (2 \cdot l^2 + l \cdot l_c), \quad (1)$$

где  $P$  – нагрузка, Н;  $l$  – минимальное расстояние от центра отпечатка алмазной пирамиды до края образца, мм;  $l_c$  – длина диагонали отпечатка алмазной пирамиды, мм.

На втором этапе проводили оценку хрупкости по нагрузке  $P$  (Н) способной образовать трещину на межфазной границе. Вероятность появления трещины оценивали как отношение уколов индентора, приводящих к появлению трещин на межфазной границе к общему числу уколов.

#### Результаты и их обсуждение

В результате диффузионного насыщения на сталях были получены боридные слои толщиной от 80 до 150 мкм. Характеристики боридных слоев приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики борированного слоя после различных режимов насыщения

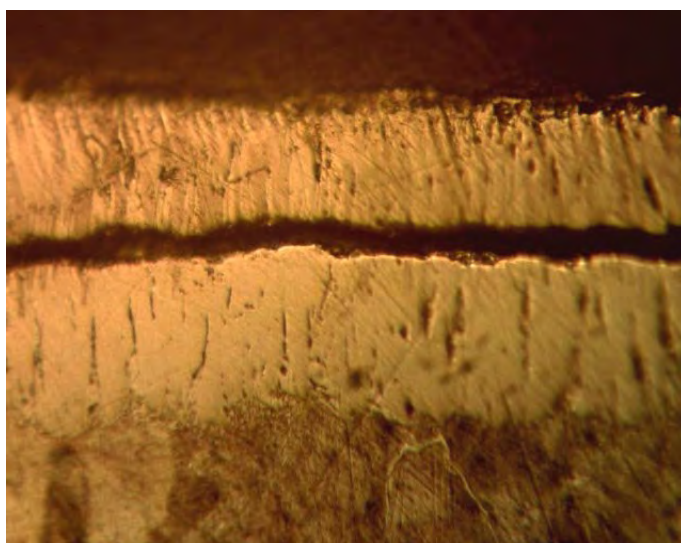
Режим борирования	Сталь	Толщина боридного слоя, мкм	Толщина зоны FeB, мкм	Толщина зоны Fe <sub>2</sub> B, мкм	Соотношение фаз FeB/Fe <sub>2</sub> B, %	Микротвердость поверхности*, МПа
900 °С, 1 ч	У8А	100	50	50	50/50	15900–16500
	9ХС	80	40	40	50/50	16000–18000
950 °С, 1 ч	У8А	120	60	60	50/50	15900–16500
	9ХС	100	50	50	50/50	15300–18000
950 °С, 2 ч	У8А	150	80	70	53/47	16300–18000
	9ХС	140	70	70	50/50	17000–18000

Анализ результатов исследований показал, что разрушение диффузионного слоя проходит, как правило, по межфазной границе

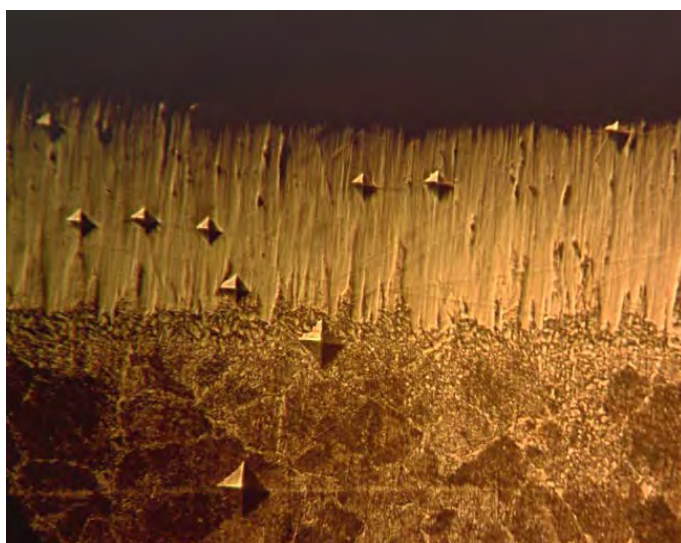
(рисунок 1 а), где имеют место максимальные остаточные напряжения, то есть трещина образуется между высокобористой фазой FeB (ромбическая сингония) и низкобористой Fe<sub>2</sub>B (тетрагональная сингония). Это обусловлено, в том числе, анизотропией температурных коэффициентов линейного расширения боридов FeB и Fe<sub>2</sub>B [2].

Морфология диффузионных слоев, полученных на разных режимах, несколько отличается. Общим между ними является сохранение традиционного игольчатого строения боридной зоны, которая на поверхности, как правило, представлена выступами призматической формы.

В межигльчатом пространстве на стали У8А сохраняются участки со структурой перлита, а количество бороцементита является незначительным. Вместе с этим переходная зона на стали 9ХС более развита и представлена глобулярными включениями бороцементита в подборидной зоне и прослойкой по границам перлитных зерен.



а)



б)

Рис. 1 Микроструктура стали 9ХС при исследовании хрупкости боридного слоя (а – разрушение по межфазной границе, б – отпечатки алмазной пирамиды)

Таблица 1

## Характеристика хрупкости диффузионного слоя

Режим борирования	Сталь	Напряжение скола $\sigma$ , МПа	Разрушающая нагрузка на межфазной границе, Н	Вероятность появления трещины, %
900 °С, 1 ч	У8А	150,0	0,99	40
	9ХС	75,3	0,99	80
950 °С, 1 ч	У8А	130,5	0,99	30
	9ХС	100,1	0,99	30
950 °С, 2 ч	У8А	128,0	0,99	40
	9ХС	58,6	0,99	75

## Выводы

Управление температурно-временными параметрами процесса борирования в состоянии привести к изменениям напряженного состояния борированного слоя на стали, которые будут способствовать снижению его хрупкости, характеризующейся напряжением скола и вероятностью появления трещины на межфазной границе [6].

Установлено, что наименьшей хрупкостью обладают боридные слои, полученные в результате насыщения при 950 °С в течение 1 ч. Снижение температуры насыщения или повышение времени выдержки сопровождается повышением вероятности появления трещины на межфазной границе, как при уменьшении, так и при увеличении напряжения скола.

## Литература

1. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2013. – 672 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. – Москва: Металлургия, 1981 – 424 с.
3. Дашкевич, В.Г. Эффективные технологии поверхностной обработки изделий из стали / В.Г. Дашкевич, Г.В. Стасевич, А.В. Ковальчук, В.Г. Щербак, Д.В. Гегеня // Научно-технические инновации : сборник докладов Юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч. 4. – С. 229–233.
4. BESTO (Белорусские среды для термодиффузионной обработки) [Electronic resource] – Mode of access : <http://besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie>. – Date of access : 23.03.2015.
5. Григоров, П.К. Методика определения хрупкости борированного слоя / П.К. Григоров, Б.Б. Катханов // В кн.: Повышение надежности и долговечности деталей машин. – Ростов н/Д., 1972. – Вып. 16. – С. 97–98.
6. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.