

ОСОБЕННОСТИ ДИФфуЗИОННОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО НАСЫЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, И. А. Гармаева, Е. А. Кошелева, А. М. Гурьев
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В условиях современного производства к материалам инструмента предъявляются все более высокие требования в части поверхностной прочности, износостойкости и других эксплуатационных характеристик.

Борирование занимает особое место среди процессов поверхностного упрочнения сталей и сплавов. Повышенный интерес к процессу борирования обусловлен возможностью получения в поверхностной зоне обрабатываемых изделий моно- или многофазных боридных слоев, характеризующихся уникальным комплексом физикомеханических и химических свойств и его приемлемостью для обработки широкой гаммы конструкционных и инструментальных сталей и сплавов. Диффузионные покрытия на основе бора обладают набором требуемых к инструменту свойств: высокая поверхностная твердость, износостойкость, коррозионная и тепловая стойкость.

При использовании насыщающих паст и обмазок можно сократить время насыщения. Применение обмазок позволяет экономить материалы и широко варьировать режимы насыщения, и соответственно, такие параметры диффузионного слоя как качество поверхности, его толщину, фазовый состав и т. д.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния состава насыщающей смеси и технологических параметров процесса насыщения на микроструктуру и свойства боридных слоев на инструментальных штамповых сталях. В качестве объектов исследования были выбраны стали 5ХНВ, 5ХНВМ и Х12М.

Исследование структуры поверхностных слоев после диффузионного насыщения бором совместно с другими элементами выявило особенности строения. Установлено, что структура поверхностного слоя в исследуемых сталях формируется преимущественно тремя химическими элементами: железом, бором и углеродом. Железо является основным элементом насыщаемого сплава, бор – основным легирующим элементом на поверхности, углерод присутствует в количестве, введенном в

сталь. Изображение микроструктур борированной и боротитанированной штамповой стали 5ХНВ представлено на рисунках 1 и 2.

Равновесие в системе Fe – В в процессе диффузионного насыщения ведет к образованию трех диаграммных и стабильных боридов: FeВ, Fe₂В и Fe₃В. Кроме вышеперечисленных, отмечено присутствие метастабильного борида Fe₂₃В₆, обладающего кубической структурой. Отметим, что в отличие от твердых растворов углерода в железе, твердые растворы бора в железе, как в γ , так и в α и δ , крайне ограничены в силу малой растворимости бора в железе.

Помимо бинарных фаз FeВ, Fe₂В, Fe₃В, Fe₃С, в исследованиях наблюдались тройные фазы: Fe₃(С,В) и Fe₂₃(С,В)₆ и конечно феррит. Карбиды Fe₃С и Fe₂₃С₆ изоморфны боридам Fe₃В и Fe₂₃В₆. Поэтому легко образуются тройные фазы соответствующей симметрии, а именно, Fe₃(С,В) и Fe₂₃(С,В)₆.

Следовало бы ожидать присутствие фаз В-С, а именно В₄С, В₁₃С₂, В_мС_п, а также другие варианты присутствия карбида бора. В настоящем исследовании карбиды бора не обнаружены. Обусловлено это как узкими областями существования карбидов бора, так и небольшим количеством углерода в поверхностных слоях сталей с учетом их обезуглероживания в процессе борирования.

Фазовый состав диагностировался по дифракционным картинам, полученным двумя способами:

- 1) рентгеновским дифракционным анализом;
- 2) дифракционной электронной микроскопией.

Борированный цементит Fe₃(С,В), и обычный цементит Fe₃С хорошо различаются морфологически. До проникновения бора в кристаллическую решетку цементита он имеет четкую пластинчатую структуру (рисунок 3а). После проникновения бора и формирования борированного цементита морфология этой фазы меняется – вместо совершенных слоев образуется полуразрушенная структура (рисунок 3б).

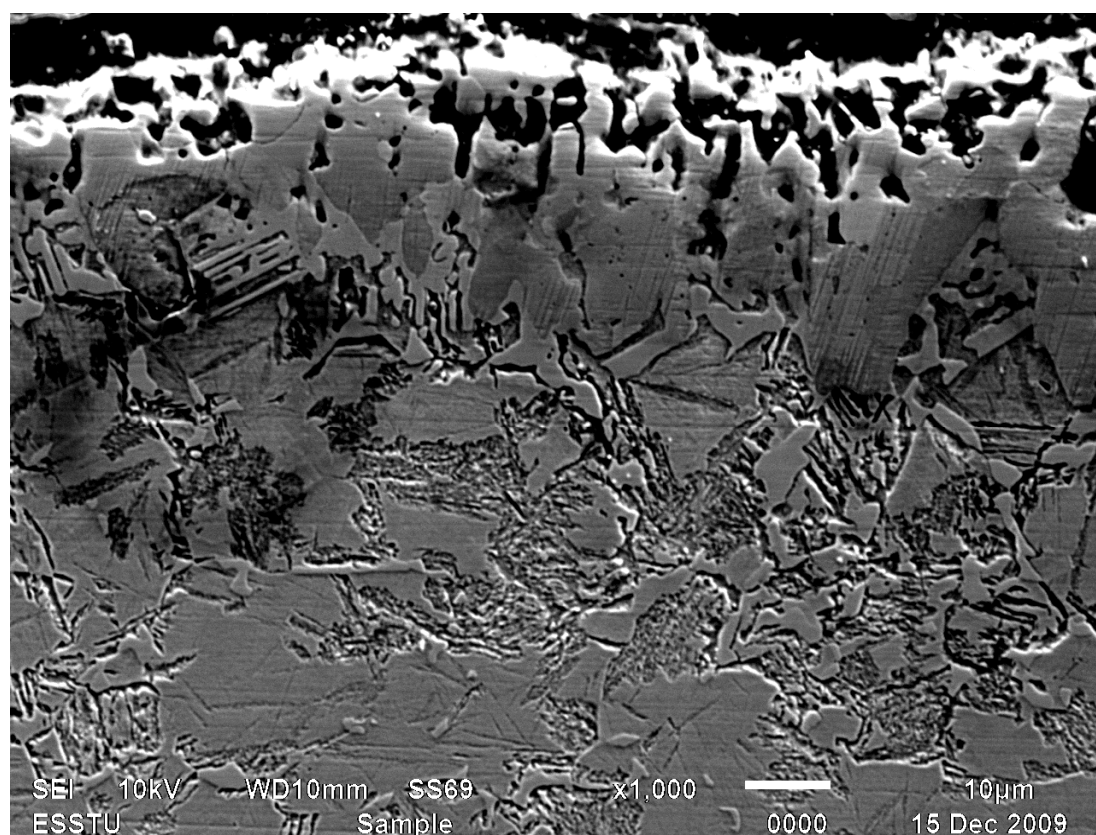
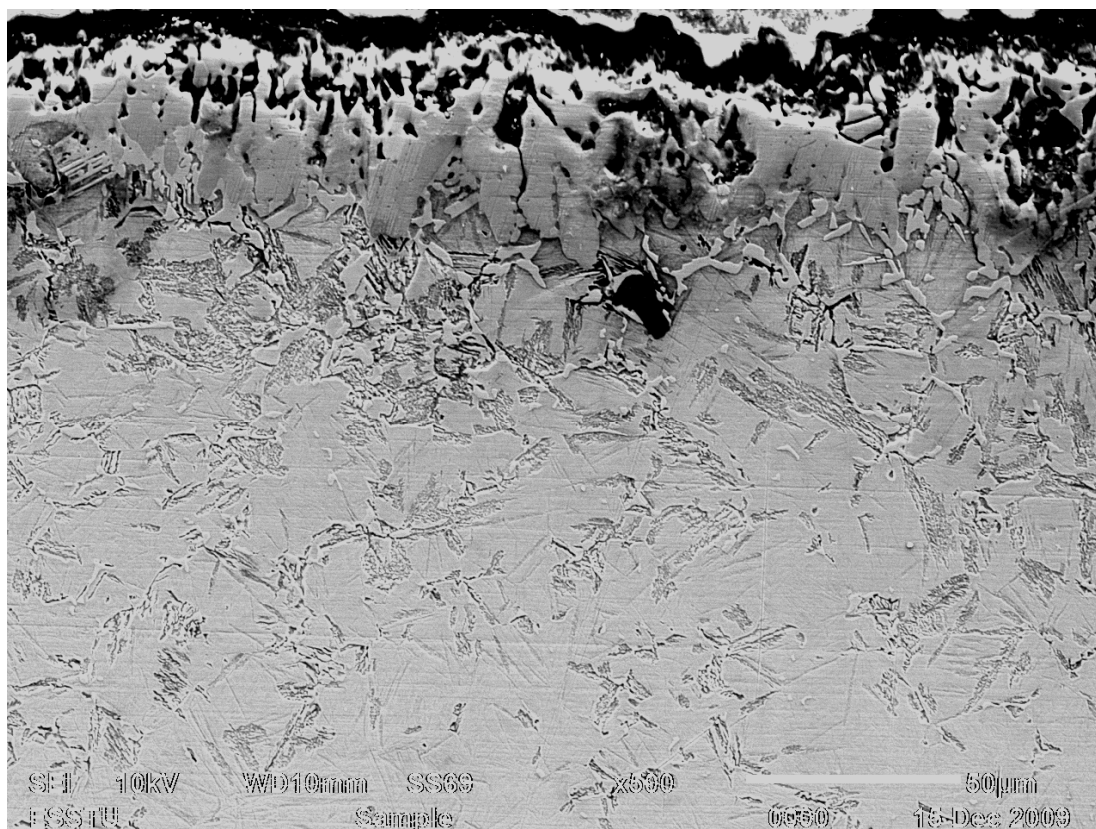


Рисунок 1 – Микроструктура боридного слоя на штамповой стали

ОСОБЕННОСТИ ДИФфуЗИОННОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО НАСЫЩЕНИЯ
ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

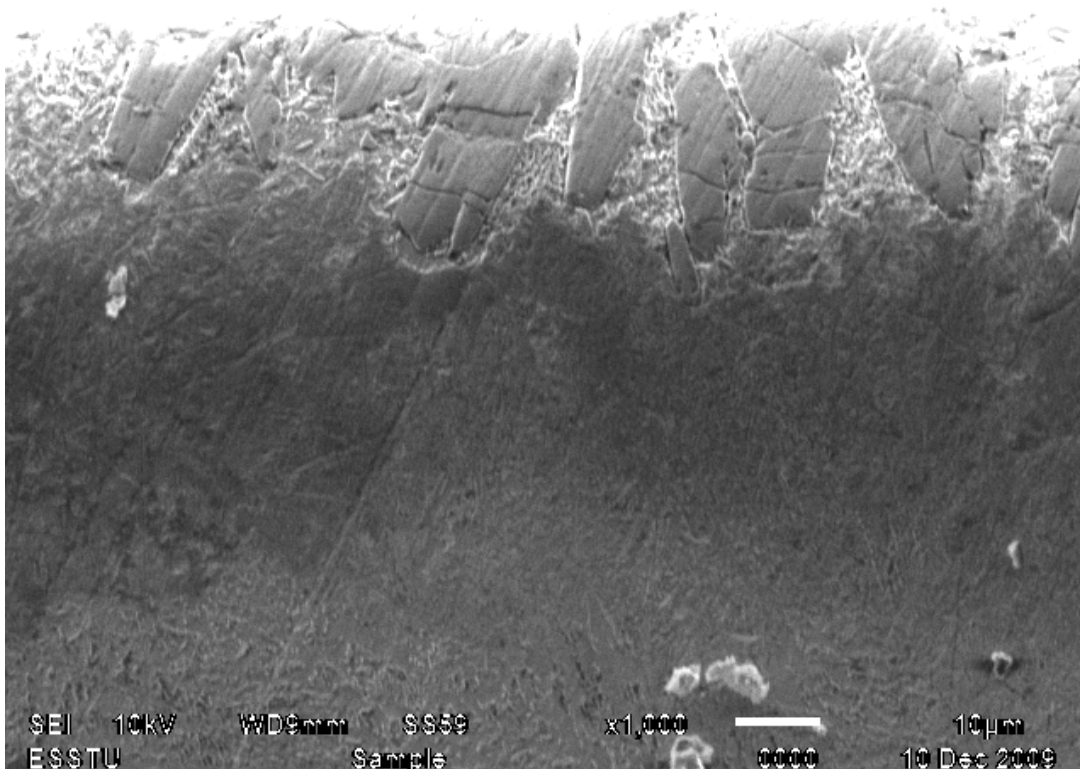
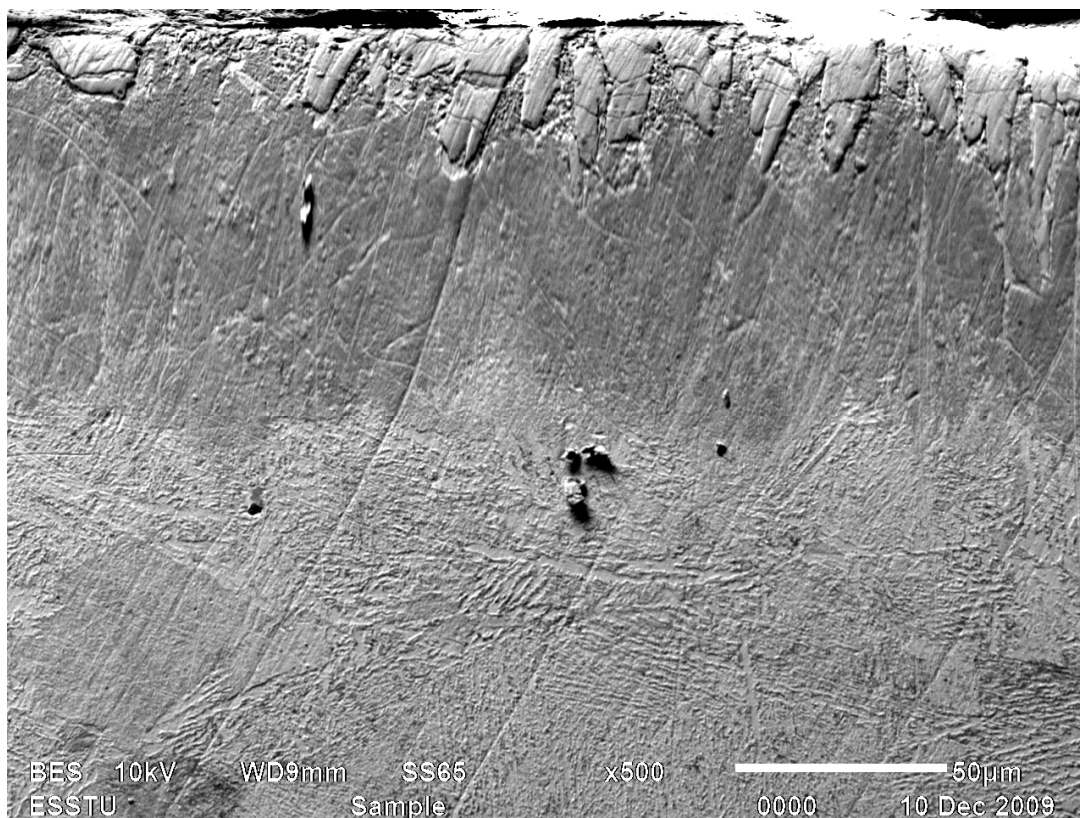


Рисунок 2 – Микроструктура боротитанированного слоя на штамповой стали

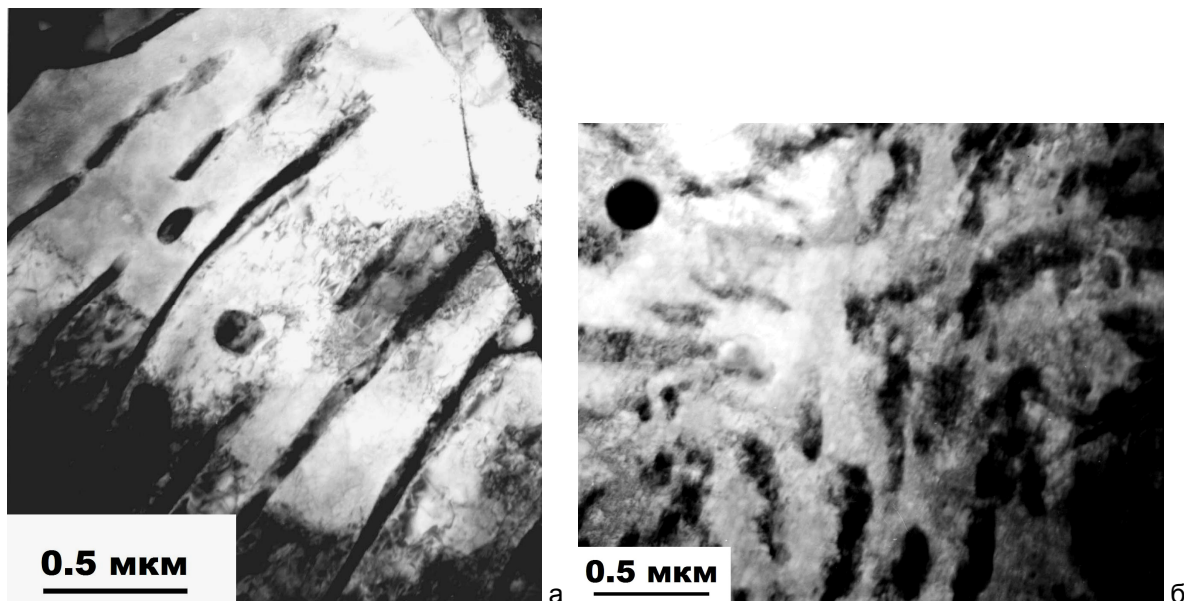


Рисунок 3 – Микроструктура обычного (а) и борированного (б) цементита

Пластины цементита при борировании фрагментируются и образуют осколки пластин, что хорошо видно на представленном рисунке 3. При борировании объемная доля цементита возрастает. Это обусловлено тем, что внедрившийся в цементит бор вовлекает в него дополнительную долю железа. Наличие борированного цементита во всех исследуемых в работе сталях подтверждается и данными рентгеноструктурного анализа.

При одновременном комплексном насыщении бором и титаном диффузионный слой претерпевает незначительные изменения (рисунок 2) – образуется двухслойная структура, верхняя часть которого состоит из столбчатых боридных кристаллов, легированных титаном, а нижняя (более темная) часть представляет собой смешанные карбобориды железа и титана. Причем в данной зоне присутствует до 22 % титана и порядка 0,47 % углерода. Такое распределение элементов вероятно является результатом как встречной диффузии углерода из глубины металла так и диффузией углерода с поверхности металла в результате вытеснения его бором. На механических свойствах данная особенность сказывается как повышение микротвердости боридных игл на величину порядка 17–22 % и переходной зоны на величину порядка 25–35 %, что в свою очередь несколько влияет на износостойкость боротитанированных сталей. В остальном химический

состав и микроструктура переходной зоны практически не отличается от борированной.

При борировании стали X12M образуются слои, имеющие высокое содержание легирующих элементов, причем при одновременном насыщении бором и хромом процесс диффузии идет достаточно слабо: по результатам элементного анализа поверхности упрочненного образца, содержание хрома остается практически неизменным по отношению к неупрочненной стали. Максимальная концентрация бора в диффузионном слое не превышает 18 %. В случае одновременного боротитанирования элементный состав диффузионного покрытия изменяется в более значительных пределах: содержание хрома снижается с 12,04 % до 10,5 %, концентрация титана при этом увеличивается с 0,16 % до 14,72 %. Наибольшей концентрации титан достигает в приповерхностном слое, концентрируясь в основном на дефектах кристаллического строения и границах зерен металла, а также в межгольчатых интервалах. Незначительное количество титана легирует бориды железа. Для получения более полной картины распределения элементов и фазового строения диффузионного слоя необходим рентгеноструктурный анализ и микроэлектроннограмма фаз, позволяющие с высокой степенью достоверности установить фазовый состав, кристаллическое строение и химиче-

ОСОБЕННОСТИ ДИФфуЗИОННОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО НАСЫЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

ские формулы отдельных составляющих упрочняющего боридного покрытия.

Формирующиеся при многокомпонентном диффузионном насыщении на поверхности слои имеют гетерогенную структуру, сочетающую твёрдые и мягкие составляющие, что приводит к снижению хрупкости боридного слоя.

Выявленные особенности строения боридных слоёв после традиционного и многокомпонентного борирования при высоких температурах (900 °С и выше) позволяет сделать вывод о возможности применения метода многокомпонентного насыщения поверхности для упрочнения штампового инструмента.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 13-08-98107 p_сибирь_a

Список литературы:

1. Гурьев, А. М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании феррито-перлитной стали / Гурьев А. М., Козлов Э. В., Крымских А. И., Игнатенко Л. Н., Попова Н. А. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2000. – Т. 43. – № 11. – С. 60
2. Гурьев, А. М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали / Гурьев А. М., Козлов Э. В., Жданов А. Н., Игнатенко Л. Н., Попова Н. А. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2001. – № 2. – С. 58
3. Гурьев, А. М. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке

/ Гурьев А. М., Лыгденов Б. Д., Махаров Д. М., Мосоров В. И., Черных Е. В., Гурьева О.А., Иванов С. Г. *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2005. – Т. 2. – № 1. – С. 39-41

4. Гурьев, А. М. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя / Гурьев А. М., Иванов С. Г., Лыгденов Б. Д., Власова О. А., Кошелева Е. А., Гурьев М. А., Гармаева И. А. // *Ползуновский вестник*. – 2007. – № 3. – С. 28-34

5. Гурьев, А. М. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромировании из насыщающих обмазок / Гурьев А. М., Иванов С. Г., Грешилов А. Д., Земляков С. А. // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. – 2011. – № 3. – С. 34-40

6. Гурьев, А. М. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении железоуглеродистых сплавов / Гурьев А. М., Иванов С. Г. // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 92-96

7. Иванов, С. Г. Особенности диффузии атомов бора и хрома при двухкомпонентном насыщении поверхности стали Ст3 / Иванов С. Г., Гармаева И. А., Гурьев А. М. // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 86-88

8. Лыгденов, Б. Д. Исследование фазового состава и дефектного состояния градиентных структур борированных сталей 20Л, 45, 55 и 5ХНВ / Лыгденов Б. Д., Гармаева И. А., Попова Н. А., Козлов Э. В., Гурьев А. М., Иванов С. Г. // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2012. – Т. 9. – № 4-2. – С. 681-689