

ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЕ БОРИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

А.М. Гурьев, О.А. Власова, Б.Д. Лыгденов, И.А. Гармаева,
А.М. Кириенко, С.Г. Иванов

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

Структура и свойства поверхностных слоев деталей машин и инструмента оказывают важное, а часто и определяющее влияние на их работоспособность, так как в процессе эксплуатации именно поверхностные слои наиболее интенсивно подвергаются температурно-силовым воздействиям. Поэтому повышение стойкости деталей машин и инструмента методами химико-термической обработки (ХТО) за счет диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами является актуальной задачей современного материаловедения [1].

Диффузионное насыщение поверхности стали, чаще всего, производят при высокотемпературной изотермической или изотермически-ступенчатой выдержке с полной перекристаллизацией стали в аустенитное состояние. Это приводит к перегреву – структура и механические свойства, кроме твердости и износостойкости, ухудшаются. Есть и другие недостатки в технологии ХТО с высокотемпературной выдержкой в процессе насыщения: коробление от обычной ползучести, высокая энергоёмкость и т.д. [2].

Указанные недостатки можно устранить при диффузионном насыщении поверхности сплава в режиме термоциклирования (ТЦО) [3 - 6].

В настоящей работе исследовали структуру борированных из насыщающей обмазки сталей. Борирование инструментальных сталей У8, Х12М, 5ХНВ и 5ХНВЛ проводили по традиционной технологии и в режиме термоциклирования из обмазки толщиной 2–5 мм (состав, %: В₄С -75, графит-14, NaF -4, бентонит -7) нанесенной на поверхность цилиндрических образцов (длина -30мм, диаметр-15 мм) по двум схемам. В первом случае проводили борирование при температуре 980°С с выдержкой в течение 2 часов. Во втором случае схема обработки состояла из четырех циклов 980 ⇌ 730°С. Время циклирования составляло 2 часа.

Исследования показали, что ТЦО во время борирования приводит к увеличению

толщины слоя до 80% на углеродистых сталях, с увеличением степени легированности эффект снижается с 70% (литая сталь 5ХНВ) до 20% (сталь Х12М). С увеличением содержания углерода в стали снижается глубина борированного слоя, как после изотермического высокотемпературного борирования, так и после термоциклического борирования.

Типичная картина строения упрочненного слоя представлена на рисунке 1, наиболее наглядно расположение фаз видно на образце, где разрез сделан параллельно поверхности (рис. 2).

Как показали исследования, проведенные методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии, фазовый состав и объемная доля фаз по мере продвижения в глубь образца меняется. Бориды Fe₂B и FeB образуются путем реакционной диффузии вслед за движущейся межфазной границей, которая смещается в глубь α-Fe.

Направленная кристаллизация привела к существенным качественным изменениям в структуре стали. Бор более активно проникает при таком строении на большую глубину и в больших количествах. В частности, фазовый состав на глубине 2,5мм в первом образце содержит один карбоборид железа Me₂₃(C,B)₆, в то время как во втором образце присутствуют два карбоборида - Me₃(C,B) и Me₂₃(C,B)₆. Установлен следующий фазовый состав:

- на поверхности : α + Me₂B + MeB + В₄С + Me₃(C,B) + Me₂₃(C,B)₆

- на расстоянии от поверхности образца 100 мкм: α + Me₃(C,B) + Me₂₃(C,B)₆

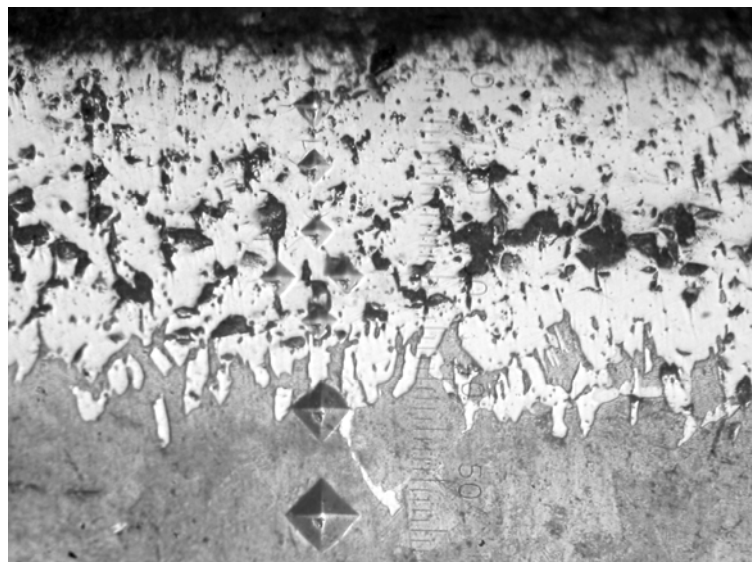
- на расстоянии - 500 мкм: α + Me₃C + Me₃(C,B) + Me₂₃(C,B)₆

- на расстоянии – 2500мкм: α + Me₃C + Me₂₃(C,B)₆

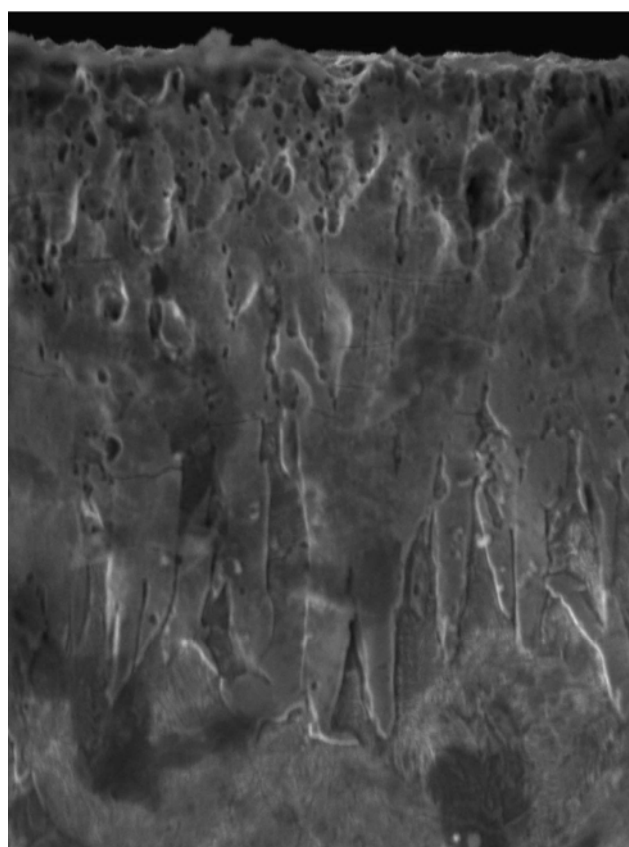
Чистого (не борированного) цемента даже на глубине 2,5мм после борирования литой стали нет, в то время как в первом образце он начал появляться на глубине 500мкм. Кроме того, о более активной диффузии бора в объем материала во втором случае свидетельствует несколько повышен-

ная суммарная плотность границ зерен, как исходных, так и возникающих в процессе борирования. Эти границы служат основными каналами проникновения бора в глубь стали.

Проведенные исследования позволили детально изучить кинетику образования борированного слоя и выявить механизм его формирования.



а)



б)

Рисунок 1 – Структура боридного слоя стали 5ХНВ, а) - $\times 200$, б) – $\times 400$ (специальное травление). Разрез сделан перпендикулярно поверхности образца

ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЕ БОРИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Исследования структуры борированной стали в литом (5ХНВЛ см. рис.3) и деформированном состоянии (5ХНВ) показали, что фазовый состав обоих образцов одинаков. Термоциклирование привело только к увеличению боридной зоны. Боридная зона в термоциклированном образ-

це более плотная, иглы более разветвленные, плотность малоугловых границ, образованных в переходной зоне в результате диффузии бора и вытеснения углерода с поверхности образца оказалась выше. Глубина переходного слоя возросла (в 1,5 раза).

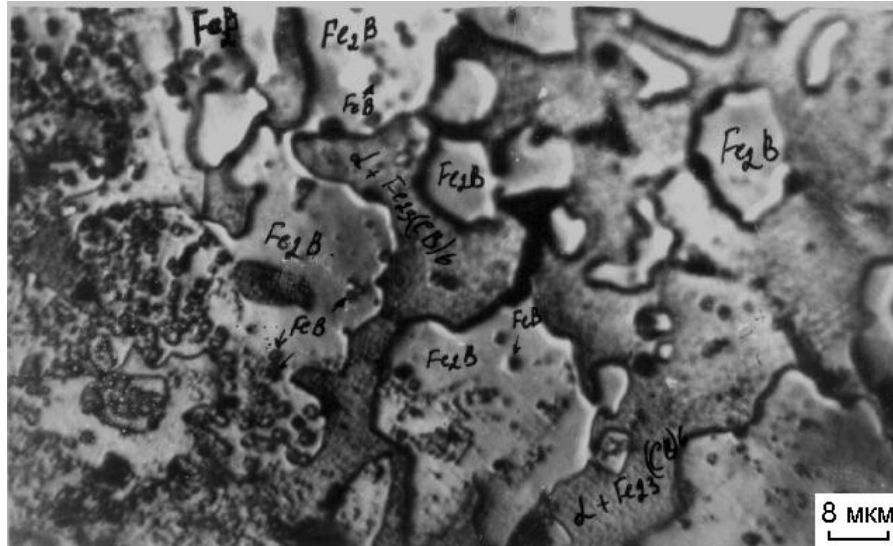


Рисунок 2 – Структура боридного слоя углеродистой стали. Отмечены присутствующие фазы, установленные с помощью метода дифракционной электронной микроскопии. Разрез сделан параллельно поверхности образца на глубине 40 мкм

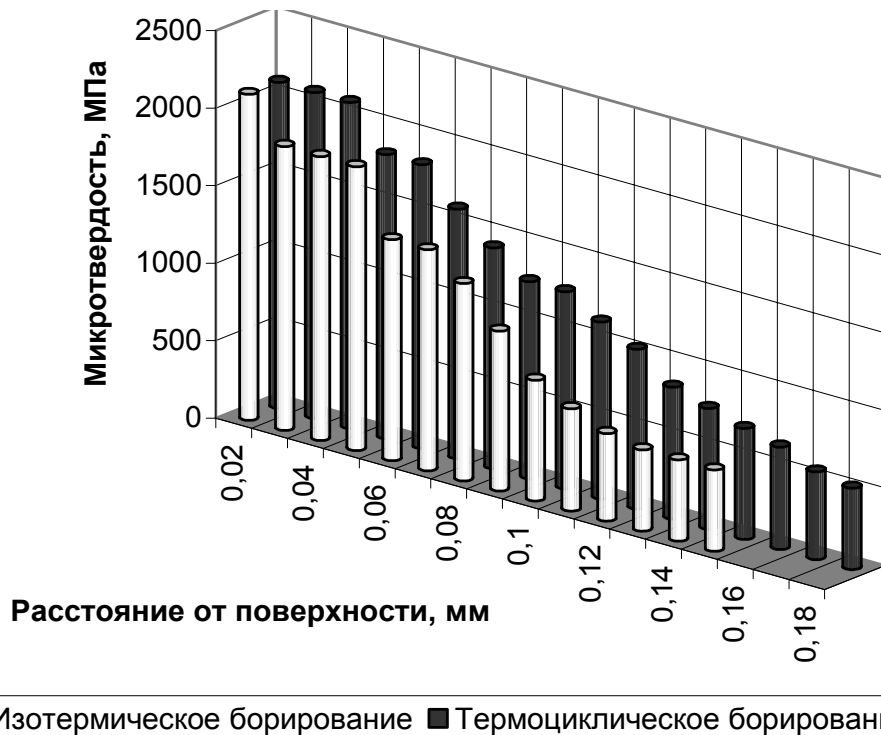


Рисунок 3 – Распределение микротвердости в зависимости от способа борирования (литая сталь 5ХНВ)

ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЕ БОРИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Полученные результаты свидетельствуют о значительно более высокой скорости диффузии углерода и бора при химико-термической обработке сталей в литом состоянии по сравнению с деформированными сталями аналогичного химического состава.

Исследованы структуры диффузионных слоев инструментальных сталей, полученных в условиях изотермического насыщения и в условиях, когда насыщение велось при циклическом изменении температуры. Показано, что циклический нагрев и охлаждение значительно ускоряют кинетику процесса ХТО железоуглеродистых сплавов, как в литом так и в деформированном состоянии. Установлено, что диффузия по границам зерен является главным механизмом боборирования за исключением наружного слоя, где решающим фактором является реакционная диффузия.

Таким образом, химико-термическая обработка сталей при некоторых циклически изменяющихся температурных режимах (ХТЦО) более эффективна, чем при постоянной температуре насыщения. ХТЦО позволяет получить упрочнённый диффузионный слой необходимой толщины за более короткое время, а разработанные нами новые способы ТЦО и ХТЦО, позволяют реализовывать их на стандартном оборудовании любого термического участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник // Под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. 424 с.
2. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. – М.: Металлургия, 1978. – 239 с.
3. Бондарь Б.С. Влияние термоциклирования при борировании на ударную вязкость углеродистых сталей // Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – Минск, 1977. – С. 185-186.
4. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. – Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2000. – 216 с.
5. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М. // Изв. вузов. Физика №11. – 2000. – Т.43. – С. 269-270.
6. Transition zone forming By different diffusion techniques in borating process of ferrite - pearlite steels Under the thermocyclic conditions A.M. Guriev, E.V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Kirienko, E.V. Chernykh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – №2. – 2004.- С. 54-60.