

УДК 621. 785: 621. 793

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ БОРИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НИЗКО- И СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

*Микаэлян Ю. А., Хохлова Т. С., к. т. н., Спиридонова И.М. д.т.н., проф,
Божко С.А., к. т. н.*

*Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара
49050 г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 72
E-mail: sinter@ukr.net*

Виконані дослідження впливу хіміко-термічної обробки на структуру і властивості сталей. Вивчений механізм насичення поверхні оброблюваних деталей бором і вуглецем за допомогою методу спектрального аналізу

Ключові слова: хіміко-термічна обробка, борування, спектральний аналіз, мікроструктура

Researches of influencing of chemical-thermal treatment on a structure and properties of steels are executed in work. The mechanism of saturation of surface of the processed details is studied by a coniferous boron and carbon by the method of spectral analysis

Key words: chemical-thermal treatment, boronizing, spectral analysis, microstructure

Введение. В ряду направлений по решению проблемы повышения долговечности деталей и инструмента прочное лидерство принадлежит методам химико-термической обработки (ХТО), в частности, борированию. Учитывая многочисленность вариантов условий эксплуатации различных групп деталей и механизмов, представляет интерес создание диффузионных боридных слоев со спектром физико-механических свойств, применимых для упрочнения поверхности стальных деталей в каждом конкретном случае. Варьирование свойств слоев возможно путем коррекции составов сред и режимов насыщения, а также последующей термообработки. Процессы взаимной диффузии бора и углерода, особенно для низкоуглеродистых сталей изучены не в полной мере.

Цель работы. Исследования влияния температурно-временных параметров химико-термической обработки (ХТО) на структуру и свойства низко- и среднеуглеродистых сталей с целью повышения эффективности химико-термической обработки.

Материал и методы исследований. Обработку образцов проводили в твердо-жидкой присыпке специально разработанными синтетическими шлаками на основе борсодержащих компонентов с активизирующими добавками на основе NaF, Na₂CO₃ и KCl. Образцы помещали в тигель диаметром 100 мм из нержавеющей стали и засыпали слоем боратного шлака определенного состава. Толщина покрываемого слоя была не менее 15 мм. Затем тигель накрывали крышкой и помещали, в свою очередь, в контейнер с плавким затвором на основе порошка толченого стекла. Термическую обработку по заданному режиму проводили в камерных печах СШВЛ-11,6 и KS-600/25.

Распределение атомов бора и углерода по глубине диффузионного слоя исследовали с

использованием метода спектрального анализа.

Изменение массовой доли бора по высоте исследуемого слоя с шагом 30 мкм определяли по методике [1] для борсодержащих сплавов на железной основе. Источником возбуждения спектров служила установка ИГ-3 (напряжение $V=229$ В, ток $i=1,6...1,8$ А, $C=0,01$ мкФ, $L=0,01$ мкГн), обискрывание – 60, экспозиция 30 с. Образец служил верхним электродом Ø 6 мм, противозлектродом был железный стержень штифтообразной формы Ø 1,4...1,6 мм, высотой 10 мм; аналитический промежуток составлял 1,5 мм. Для анализа спектров в работе использовали аттестованную установку ИСП-30 с шириной щели 10 мкм. Спектры фотографировали на фотопластинки, спектральные тип 1 чувствительностью 6 ед.

Распределение углерода по высоте диффузионного слоя с шагом 30 мкм определяли по методике [2]. Образец подвергали предварительной механической обработке на наждачном круге до шероховатости не более 20 мкм по ГОСТ 2789-73. Зачищенную поверхность образца подвергали воздействию низковольтного искрового разряда от генератора, вмонтированного в стилоскоп «Спектр», при емкости 40 ± 4 мкФ, индуктивности $3\pm 0,3$ мкГн, силе тока 4...5 А, при трех импульсах в полупериод сетевого тока, фазе поджига 90°, железном противозлектроде стандартных размеров, аналитическом промежутке 1,0...1,5 мкм, который тщательно выставляли по эталону. Количественное содержание углерода определяли методом уравнивания интенсивностей линий с использованием гомологической пары СП 657,805 нм – Fe II 658,669 нм для сплавов, с содержанием углерода до 1 %.

Материалы и результаты исследований. Исследования микроструктуры обработанных образцов показали наличие боридного слоя после

всех режимов насыщения. В зависимости от состава насыщающей среды и режима насыщения толщина боридного слоя колеблется от 10 мкм (насыщение при 850⁰С) до 100 мкм (температура насыщения 1000⁰С) (рис. 1).

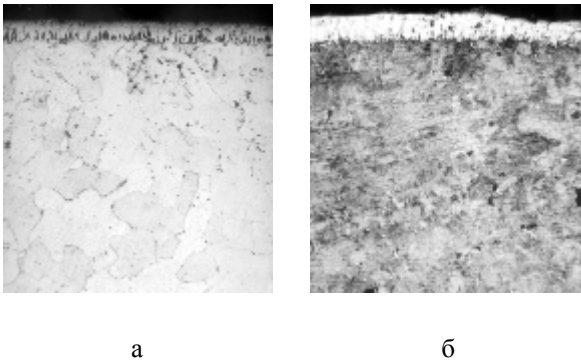


Рисунок 1 – Боридный слой на поверхности ст.45: а – насыщение при 850⁰С; б – насыщение при 1000⁰С

При насыщении во всех исследованных составах наблюдается заметный рост боридного слоя с увеличением температуры насыщения (рис. 2).

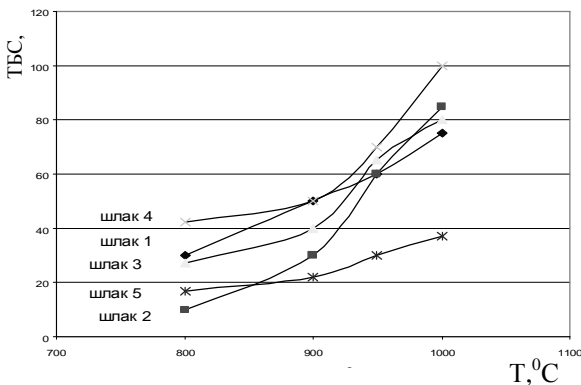


Рисунок 2 – Зависимость толщины боридного слоя от состава насыщающей среды и температуры насыщения

При этом необходимо отметить тот факт, что наиболее целесообразным является получение упрочненного диффузионного слоя при использовании состава № 4. В нем достаточно глубокий боридный слой образуется при наименьших температурах и длительностях изотермической выдержки. Особо следует отметить сплошность и высокую однородность получаемого слоя (рис. 3).

Распределение бора и углерода по глубине насыщенного слоя, представленные на рис. 4 и рис. 5, подтверждают более высокую интенсивность диффузионных процессов в насыщающих средах № 4 и № 5.

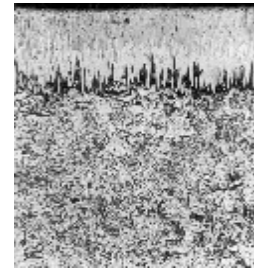


Рисунок 3 – Боридный слой на поверхности ст.45 после насыщения в шлаке № 4 при 950⁰С в течении 25 мин. X 200

Здесь наблюдается максимальное количество бора на одной и той же глубине (рис. 4). Содержание же углерода в этом случае возрастает незначительно (рис. 5).

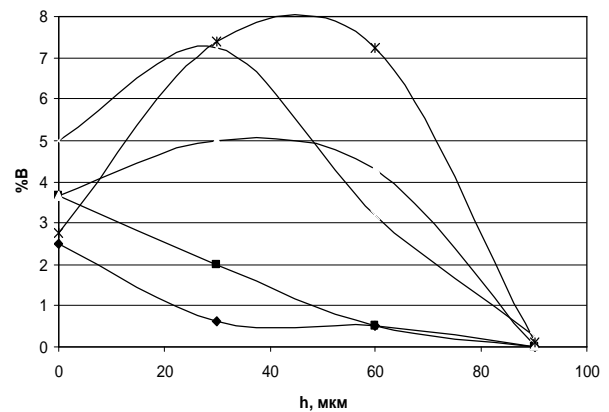


Рисунок 4 – распределение бора по глубине слоя в зависимости от состава шлака: ◆ - шлак № 1; ■ – шлак № 2; ▲ – шлак № 3; х – шлак № 4; * - шлак № 5. Температура насыщения 950⁰С

Ранее [4] нами была теоретически обоснована возможность диффузионной проницаемости кристаллической решетки боридов железа по отношению к атомам (ионам) углерода.

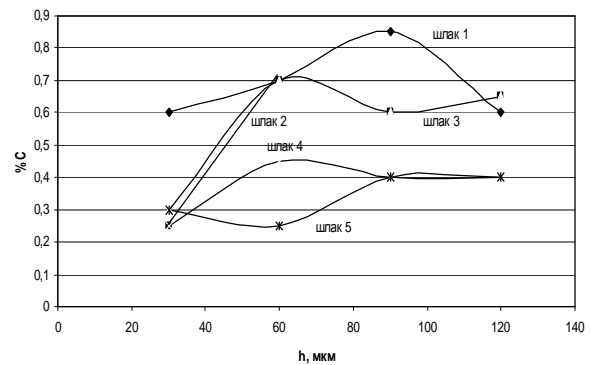


Рисунок 5 – распределение углерода по глубине слоя в зависимости от состава шлака: ◆ - шлак № 1; ■ – шлак № 2; ▲ – шлак № 3; х - шлак № 4; * – шлак № 5. Температура насыщения 950⁰С

Для более глубокого понимания диффузионных процессов, происходящих при обработке стальных деталей в насыщающих средах, нами был выполнен спектральный анализ распределения бора и углерода по глубине боридного слоя в зависимости от времени изотермической выдержки.

Распределение бора и углерода по толщине диффузионного слоя представлено на рис. 6.

Как видно из диаграмм распределения, содержание бора снижается от поверхности образца вглубь. Максимальное содержание наблюдается при изотермической выдержке в течение 40 мин. на глубине около 20 мкм. Содержание же углерода наоборот с увеличением глубины возрастает и достигает максимальных значений в подслое, расположенном непосредственно за слоем боридов.

Причем, характер распределения для всех исследованных составов аналогичен представленному на рис. 6 и отличается только по абсолютным значения содержания бора и углерода.

Выполненные исследования показали, что в углеродистых сталях типа ст.45 высокая твердость поверхностного слоя может быть достигнута борированием в насыщающих боратных шлаках специального состава. При этом высокие эксплуатационные характеристики стальных деталей будут обеспечены также тем, что в зоне, расположенной непосредственно под слоем боридов, находится обогащенный углеродом подслой, способный принимать и выдерживать прилагаемые к детали нагрузки, в результате чего боридный слой под нагрузкой не растрескивается и сохраняет высокие эксплуатационные характеристики.

Для низкоуглеродистых сталей, применение способа упрочнения поверхности борированием ограничено значительной разностью твердости образующегося боридного слоя и находящегося непосредственно под ним подслоя. Для оптимизации свойств износостойкого боридного покрытия необходимо повысить прочностные свойства переходной зоны, расположенной под иглами боридов. Этого можно достичь путем уменьшения толщины фазы FeV и упрочнения подслоя путем его науглероживания.

В связи с этим проводили исследования по изучению возможности массопереноса атомов углерода сквозь слой боридов.

Современные представления о влиянии диффузии бора на содержание углерода в стали достаточно противоречивы. По литературным данным [3] растворимость углерода в фазах Fe₂B и FeV очень мала, т.к. содержание углерода в боридном слое менее 0,0047 вес.%. В результате возникло убеждение, что атомы (ионы) углерода не могут диффундировать в кристаллической решетке боридов железа, а отгесняются атомами бора в сердцевину боридуемой стали.

В продолжение работы [4] нами была теоретически обоснована возможность диффузионной проницаемости кристаллической

решетки боридов железа по отношению к атомам (ионам) углерода.

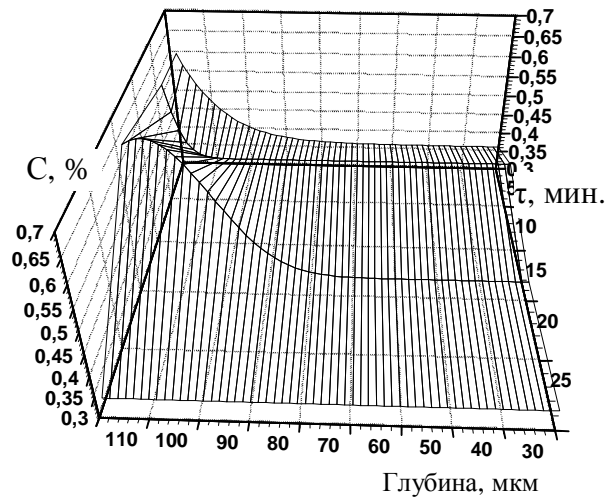
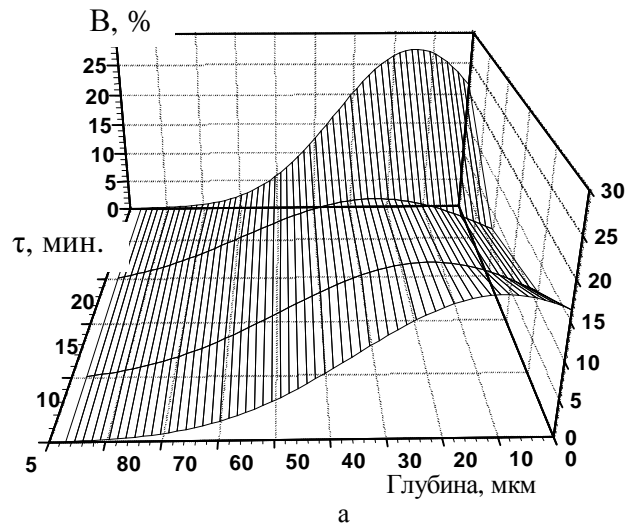


Рисунок 6 – Распределение содержания бора (а) и углерода (б) по глубине в зависимости от длительности изотермической выдержки при 950 °С, ст. 45

При борировании железо-углеродистых сплавов активный атомарный углерод, продиффундировавший через слой боридов, может взаимодействовать с атомарным бором, выделяющимся в среде насыщения, что приводит к образованию карбидов бора типа BC, B₂C₂, B₄C, B_{6,5}C между иглами боридов.

Борированные слои на поверхности железа и низкоуглеродистых сталей отличаются тем, что под боридным слоем отсутствует обогащенная углеродом зона. После цементации подобных образцов при 900°С в твердофазном карбюризаторе под слоем боридов железа возникает науглероженная зона глубиной 500 – 600 мкм. По

данным послойного спектрального анализа содержание углерода после цементации под боридным покрытием в образцах из малоуглеродистых сталей возрастает в 3 раза по сравнению с исходным. При этом, микротвердость поверхностных слоев ступенчато уменьшается от поверхности вглубь образца (рис. 7).

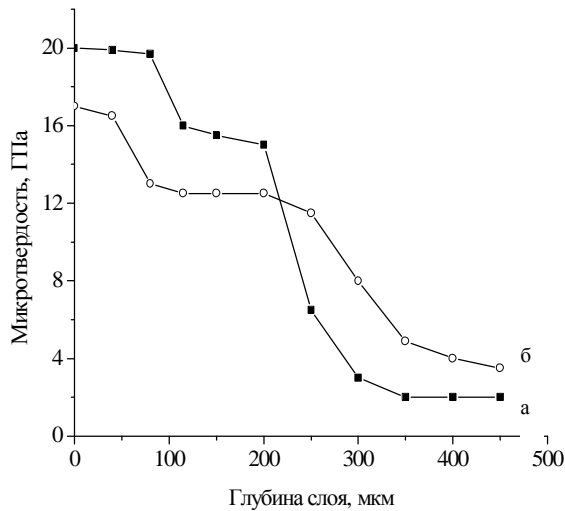


Рисунок 7 – Изменение величины микротвердости в зависимости от глубины диффузионного слоя после боридирования (а), боридирования и нитроцементации (б).

Выводы. Наибольшую микротвердость имеют боридные поверхностные слои. Подслой, обогащенный углеродом, также более прочный, чем матрица, однако его микротвердость несколько ниже боридного слоя. Тем не менее, достигнутый эффект упрочнения подслоя позволяет эксплуатировать детали, подвергнутые такой ХТО при значительных нагрузках без разрушения твердого боридного покрытия.

Установлен эффект проникновения при науглероживании атомов углерода сквозь боридный слой, что приводит к упрочнению подслоя и повышению эксплуатационных характеристик обработанных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Твердохлебова С.В., Спиридонова И. М., Бондаренко А.М. Спектральный анализ борсодержащих сплавов // Заводская лаборатория. - 1990. - № 11. - С. 46 – 49.
2. Твердохлебова С. В., Спиридонова И. М. Способ визуального количественного спектрального определения углерода в токопроводящих сплавах. Патент № 2011967 // Открытия. Изобретения. – 1994, № 8.
3. Минкевич А. Н. Исследования структуры и ориентирования боридных слоев на железе – М.: МиТОМ. 1967. - № 3. – С. 36.
4. Микаэлян Ю.А., Хохлова Т.С., Спиридонова И.М. и др. Цементация борированных деталей. //Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия «Стародубовские чтения». - 2006. Вып. 36, Ч. 3. – С. 201 – 206.

Стаття надійшла 08.12.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Саленком О.Ф.