

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА БОРИДНЫЙ СЛОЙ ИЗДЕЛИЙ

Абишева З.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: [zarina-abisheva95@mail.ru](mailto:zarina-abisheva95@mail.ru)*

**Аннотация:** согласно названию, в статье описывается изучение воздействия легирующих элементов на боридный слой. Анализ легированных бором сталей показал, что перераспределение между боридными фазами и основным металлом происходит не только углеродом, но и легирующими элементами. Описано воздействие легирующих элементов на качество стали. При введении некоторых химических элементов в сталь в нужном количестве позволяет сократить дефекты углеродистой стали, улучшить ее механические свойства, кроме того обрести необходимые физико-химические свойства, которыми углеродистая сталь не обладает, поэтому, добавляя их в определенных количествах и сочетаниях, можно получить сталь с различными свойствами.

Ключевые слова: борирование, сталь, борид, микротвердость, фаза

## EFFECT OF ALLOYING ELEMENTS ON THE BORIDE LAYER OF PRODUCTS

Abisheva Z.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: [zarina-abisheva95@mail.ru](mailto:zarina-abisheva95@mail.ru)*

**Abstract:** according to the title, the article describes the study of the effect of alloying elements on the boride layer. An analysis of boron alloyed steels showed that the redistribution between the boride phases and the base metal occurs not only in carbon, but also in alloying elements. The effect of alloying elements on the quality of steel is described. With the introduction of certain chemical elements in steel in the right amount, it allows to reduce defects in carbon steel, improve its mechanical properties, and also to obtain the necessary physicochemical properties that carbon steel does not possess, therefore, adding them in certain quantities and combinations, it is possible to obtain steel with various properties..

Keywords: boration, steel, boride, microhardness, phase

### Введение

Большое количество исследований показало и доказало, что борирование уменьшает остаточные деформации, что благоприятно влияет на долговечность обработанных данных методом изделий. Для изучения влияния прочностных свойств борированных изделий был проведен анализ воздействия легирующих элементов на боридный слой изделий [1, с. 15]. Было проведено большое количество экспериментов и исследований о влиянии легирующих элементов на боридный слой продуктов. Так, большинство авторов обнаружили, что в стали, в которой высокое содержание С, глубина проникновения бора уменьшается. Другие отмечают, что углерод оказывает незначительное влияние [2, с. 66]. Расхождение между результатами исследований объясняется рядом факторов: разной маркой стали, процентным содержанием углерода в стали, примесями в стали (Mn, P, N, Si) и т. Д. Установлено, что С почти нерастворим в боридных фазах и при формировании боридного слоя перемещается в переходную зону, где концентрируется в основном в подборидной зоне. По мере удаления от боридного слоя концентрация С быстро уменьшается.

Уменьшение общей толщины слоя (глубина проникновения боридных игл) происходит быстрее, чем уменьшение толщины сплошного боридного слоя, поэтому при увеличении в стали содержания С компактность слоя увеличивается, а его особенность уменьшается. При

двухфазном борировании углерод уменьшает относительное содержание фазы с высоким содержанием бора и ее микротвердость [3, с. 67].

### **Воздействие некоторых легирующих элементов на строение боридного слоя**

1. Никель. В железо-никелевых сплавах, в которых не содержится углерод, никель слабо уменьшает толщину боридного слоя, и его уменьшение наблюдается в диапазоне концентраций Ni 0-1%. Последующее увеличение содержания никеля в сплаве не влияет на толщину боридного слоя. В среднеуглеродистых сталях никель в количестве до 5% практически не изменяет общую толщину боридного слоя, но увеличивает толщину сплошного слоя боридов, уменьшает его игольчатость и увеличивает относительное содержание высокобористой фазы в слое. В высокохромистых сталях (15,2% Cr, 0,32% C) никель (до 7-8%) увеличивает толщину сплошного боридного слоя. При однофазном борировании в расплаве с карбидом кремния (35% SiC) никель слабо влияет на толщину слоя как общего, так и непрерывного слоя боридов. Когда начинается формирование боридного слоя никель перераспределяется между боридными фазами и основанием. В то же время никель концентрируется в основном в бориде и бориде Fe<sub>2</sub>B. При растворении в бориде железа никель изменяет в боридных фазах характеристики решетки, угол рассеяния оси текстуры борида FeB и характер напряженного состояния боридного слоя. Никель не изменяет толщину переходной зоны, но заметно увеличивает растворимость в ней бора и снижает концентрацию углерода, а также снижает твердость поверхности (FeB) и ломкость боридного слоя. Никель мало влияет на микротвердость второй боридной слабой фазы. Тем не менее, это гораздо сильно понижает ломкость и борида железа. При высоких концентрациях никель снижает износостойкость борсодержащей стали из-за его влияния на твердость боридного слоя.

2. Марганец. Немного уменьшает толщину боридного слоя как в неуглеродистых сплавах, так и в среднеуглеродистых сталях. Толщина слоя интенсивно уменьшается с небольшими добавками марганца (до 1%). При двухфазном борировании он влияет на толщину слоя, когда он несколько сильнее, а в случае однофазного - он слабее, чем никель. При однофазном борировании наблюдается небольшое уменьшение толщины слоя только при 2% Mn и выше. Введение марганца в высокохромистую сталь (15% Cr и 0,32% C) в количестве до 8% не изменяет ни толщину, ни структуру боридного слоя. Марганец увеличивает содержание борида FeB в слое и уменьшает рассеяние на оси текстуры этого борида. Оптимальное образование наиболее совершенной текстуры в марганцевых сталях падает при 900 °С. В процессе формирования покрытия марганец обогащает боридный слой, растворяясь главным образом в бориде FeB, увеличивает его микротвердость,

микроброшатость и тем самым увеличивает макрохрупкость. слоя. Твердость борида  $Fe_2B$  уменьшается при легировании марганцем. Небольшие марганцевые добавки (1-2%) не влияют на жаростойкость борсодержащих сталей.

3. Медь. В среднеуглеродистой стали медь в количестве до 0,65% при температуре насыщения поверхности бором 850 °С слабо уменьшает толщину боридного слоя и по своему действию аналогична никелю. С увеличением температуры насыщения и увеличением содержания меди в стали ее эффект усиливается. Медь уменьшает толщину боридного слоя при температуре 950 °С и выше, когда ее содержание в стали составляет 0,65% или более. Медь не влияет на структуру боридного слоя. Из всех исследованных легирующих элементов медь наиболее сильно снижает содержание фазы с высоким содержанием бора и ее микротвердость. Медь увеличивает твердость  $Fe_2B$  в двухфазных боридных слоях и уменьшается в однофазной; уменьшает твердость поверхности слоя, немного снижает его хрупкость [3, с. 33].

#### **Результаты исследования образцов после добавления легирующих элементов**

В анализе [4, с. 155] было проведено комплексное исследование структуры и характеристик образцов быстрорежущей стали Р6М5 и стали 110Г13Л после комплексного борохромирования и боротитанирования из насыщаемого покрытия, в основе которого карбид бора. Эти стали относятся к классу высоколегированных сталей, однако используются для решения различных технических задач: сталь Р6М5 относится к быстрорежущим сталям и в основном используется для резки различных материалов; сталь 110Г13Л применяется в условиях высокой износостойкости. Быстрорежущая сталь Р6М5 легируется преимущественно прочными карбидообразующими элементами - Мо и W и принадлежит к сталям ферритного класса, тогда как сталь 110Г13Л - Mn и относится к классу аустенитных сталей [4, с. 155].

При диффузионных борохромировании и боротитанировании эти стали ведут себя по-разному, что точно объясняется их химическим составом. Таким образом, при борохромировании стали Р6М5 толщина, образующаяся в диффузионных слоях, в 1,5-1,7 раза больше, чем у стали 110Г13Л. Подобная картина процессов наблюдается и при боротитановых процессах, однако разность диффузии по толщине диффузионного слоя в данном случае достигает 1,6-2,5 раз. Это связано с тем, что легирующие элементы стали Р6М5 обладают большим сродством к бору, чем Mn, что приводит к увеличению диффузионной активности В, Мо и W в стали Р6М5, что приводит к образованию более толстых слоев [4, с. 156]. При испытании на износостойкость при удельной нагрузке до 40 МПа/мм<sup>2</sup> обе стали показывают практически схожий результат, при нагрузке выше 40 МПа

/мм<sup>2</sup> сталь 110Г13Л показывает лучший результат. С адгезионным износом сталь 110Г13Л была безусловно лучшей. Это связано с тем, что графитовые включения в условиях адгезионного износа действуют как существенно твердый смазочный материал и значительно уменьшают количество очагов схватывания [4, с. 157].

### **Заключение**

При верном выборе легирующих элементов можно сформировать такую структуру поверхностного слоя, которая будет обладать набором полезных свойств [5]. Воздействие легирующих элементов на диффузию бора оправдано изменением энергии межатомной связи железо - легирующего элемента (Fe-Me). Легирование вводит искажение решетки, которое качественно оценивается по абсолютной величине разницы атомных диаметров Fe и Mo. Кроме того, легирующий элемент влияет на прочность связи B-Me, то есть термодинамическая активность бора уменьшается или увеличивается. Чем сильнее легирующий элемент укрепляет связь Fe-Me, тем слабее железная решетка, а связь B-Me сильнее, т.е. чем больше боридобразующего элемента, тем больше он ингибирует диффузию бора, тем больше энергия активации диффузии.

### **Список литературы**

1. Мустафина Т.В., Мустафин Г.А., Марширов И.В. Оптимизация процесса борирования чугуна при литье // Ползуновский вестник. 2015. № 3. С. 15-19.
2. Крукович М.Г. Борирование из компактных материалов // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2015. № 21. С. 40-45.
3. Зенин Б.С., Слосман А.И. Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. 120 с.
4. Гурьев М.А., Гурьев А.М., Иванов А.Г., Иванов С.Г. Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 5. С. 155-157.
5. Гурьев А.М., Грешилов А.Д. Влияние циклического теплового воздействия на формирование структуры и фазового состава диффузионных боридных слоев инструментальных сталей // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. №3. 2009. С. 70-84.