

А.М.Нестеренко, А.Б.Сычков

РАЗМЕРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ БОРОМ И МЕДЬЮ

Институт черной металлургии НАН Украины

Показано, что вызываемое введением в решетку α -Fe больших по размеру, чем атомы железа атомов Си (табл.), увеличение ее периода и уровня микронапряжений компенсируется за счет меньших по размеру атомов бора, занимающих в решетке α -Fe позиции замещения.

Трактовка приведенных в [1] данных о поведении бора и меди в стали основана на положении [2] о том, что бор занимает в решетке железа позиции внедрения в окта- и тетраэдрических порах. Однако составление размеров окта- и тетраэдрических пустот в решетках α - и γ -Fe с размером атома бора $r_B=0,091$ нм подвергает сомнению эту устоявшуюся точку зрения. Действительно, из табл. следует, что атом бора, размер которого в 1,26 раза превосходит размер атома азота и в 1,18 раза размер атома углерода, вряд ли смог бы разместиться в позициях внедрения в окта- и тетрапорах решеток обеих модификаций железа. Расчет степени деформации ϵ кристаллической решетки твердого раствора атомов внедрения в растворителе (железе) в местах расположения атомов железа, непосредственно контактирующих с внедренными атомами, производился в [3] по формуле

$$\epsilon = (d_B - d\Pi) / d\Pi \quad (1)$$

где d_B – диаметр внедренного атома, нм; $d\Pi$ – максимальный диаметр поры до внедрения в нее растворенного атома, нм.

Определено, что для внедренных в решетку аустенита (γ -Fe) атомов азота, углерода и бора степень деформации ϵ , рассчитанная по (1), составляет соответственно 36,0, 47,5 и 85,8%, т.е. для бора ϵ является особо значительной. Для ОЦК решетки α -Fe в [3] получены следующие значения ϵ : 268,86, 301,0 и 405,2 % для внедренных атомов азота, углерода и бора соответственно. Из этого следует, что вхождение атомов бора в решетку железа по позициям внедрения, в особенности, для ее ОЦК –модификации представляется весьма проблематичным.

В то же время согласно равновесным диаграммам состояния, приведенным на рис. 1, бор обладает определенной растворимостью в α - и γ -Fe. По Никольсону (рис. 1а) предельная растворимость бора в α - Fe при температуре 915 °С составляет примерно 0,148 % (масс.), а в γ -Fe при 1176 °С – 0,150 %. По Макбрайду (рис. 1б) при 906 °С содержание бора в α -Fe составляет 0,0025 %, а в γ -Fe при той же температуре – 0,00071 %.

При температуре 1168 °С в γ -Fe содержится 0,00189 % бора (рис. 1б). Различие приведенных данных по предельной растворимости бора в железе обусловлено, по-видимому, разной степенью чистоты материалов, использованных при проведении соответствующих экспериментов. Проведенные на прокате из стали 20Г2Р (5 плавок – 0,20-0,25 %Cu) оценочные эксперименты показали, что при принятой на СЗАО «ММЗ» технологии ввода бора в сталь порошковой лентой на установке печь-ковш соотношение общего содержания бора в стали (0,006-0,012 %) и твердорастворного (0,002-0,004 %) составляет примерно 3:1, т.е., в феррите стали растворено довольно значительное количество бора.

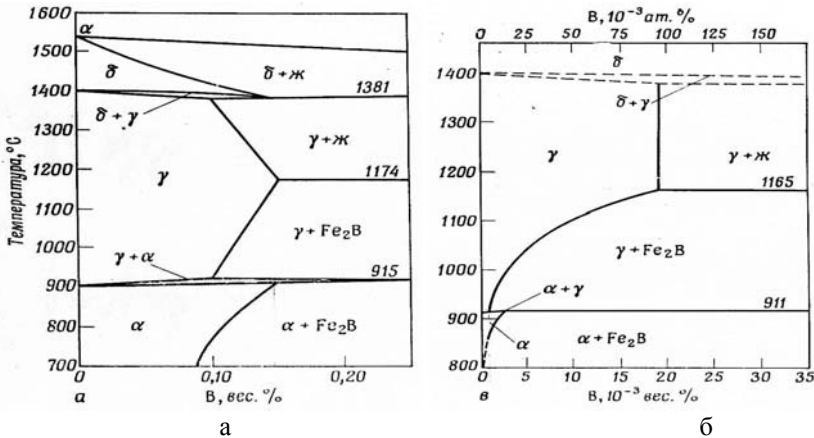


Рис. 1. Равновесные диаграммы состояния Fe-B по Никольсону (а) и Макбрайду (б)

Приведенные на рис. 2 по данным [6] зависимости изменения периода решетки γ -Fe (чистого и добавкой 0.005 % бора) в интервале температур 925-1200 °С показывают, что при всех температурах указанного интервала в γ -Fe с бором период решетки ниже. Такое положение может реализовываться только в случае образования при легировании бором твердого раствора бора в γ -Fe по типу замещения. В ОЦК решетке α -Fe размер октаэдрической поры намного меньше, чем в γ -Fe (табл.).

Таблица. Размерные параметры атомов Fe, Cu, N, C, B, окта- и тетраэдрических пустот в решетках α - и γ -модификаций Fe [4,5].

Атомный радиус, нм					Радиус пустот, нм			
Fe	Cu	N	C	B	γ -Fe		α -Fe	
					окта	тетра	окта	тетра
0,127	0,128	0,072	0,077	0,091	0,053	0,029	0,019	0,036

Несмотря на большой размер тетрапоры внедрение атомов других элементов решетку α -Fe осуществляется преимущественно по октапорам. Это связано с тем, что согласно [7] внедрение атомов в тетрапору α -Fe приводит к смещению с позиций равновесия 4-х атомов железа, а при внедрении в октапору по направлениям типа $\langle 100 \rangle$ смещаются только 2 атома железа. С этой позиции становится ясной, по крайней мере с размерно-геометрической точки зрения, причина повышения предельной растворимости Si в α -Fe. Вызываемое введением в решетку α -Fe больших по размеру, чем атомы железа атомов Si (табл.), увеличение ее периода и уровня микронапряжений компенсируется за счет меньших по размеру атомов бора, занимающих в решетке α -Fe позиции замещения. Отсюда, как следствие, достигается объяснение наблюдаемым в опытных образцах [1] и в прокате СЗАО «ММЗ» экспериментальным фактам высокой предельной растворимости Si в α -Fe борсодержащих сталей, их пониженной прочности и высокой технологической пластичности.

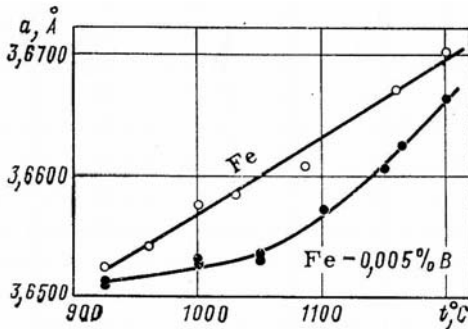


Рис. 2. Зависимости изменения периода решетки чистого γ -Fe и γ -Fe с 0,005 % В от температуры

1. Малиночка Я.Н., Ковальчук Г.З., Ярмош В.Н. Структура и свойства низкоуглеродистой стали, легированной бором и медью. – МиТОМ. – 1982. - № 11. – С. 10 – 14.
2. Гольдшмидт Х. Дж. Сплавы внедрения. – М.: Мир, 1971. – Вып. 1. – 424 с.
3. Россихин В.В., Большаков В.И., Воробьев Г.М., Башев В.Ф., Мухина Л.В., Хоменко Ю.И. / Оценка возможности образования твердых растворов внедрения кремния в железе. Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. науч. трудов. Днепропетровск, ПГАСА, 2003. – Вып. 22. ч. 2. – С. 129-135.
4. Свойства металлов / Под редакцией Г.В.Самсонова. Ч. 1. М.:Металлургия, 1976. – 600 с.
5. Фаст Дж.Д. Взаимодействие металлов с газами. – М.: Metallurgy, 1975. – 352 с.
6. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов. М.: Машиностроение, 1979. – 134 с.
7. Физическое материаловедение / Под редакцией Р. Кана. Атомное строение металлов и сплавов. Вып. 1. М.: Metallurgy, 1967. – 333 с.