

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ДИФФУЗИЮ УГЛЕРОДА И БОРА В БОРСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВАХ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

В роботі досліджували вплив попередньої холодної деформації на процес дифузії вуглецю і бору в бормістячому сплаві на основі заліза. Встановлено, що попередня холодна пластична деформація бормістячого сплаву зменшує дифузійну рухливість бору та вуглецю при насиченні поверхні.

В работе исследовали влияние предварительной холодной деформации на процесс диффузии углерода и бора в борсодержащем сплаве на основе железа. Установлено, что предварительная холодная пластическая деформация борсодержащего сплава уменьшает диффузионную подвижность бора и углерода при насыщении поверхности.

In the article the influence of preliminary cold deformation on the process of diffusion of carbon and boron in the boron-containing alloy on the basis of iron was explored. The preliminary cold plastic deformation of boron-containing alloy decreases boron and carbon diffusion mobility under surface saturation.

Диффузия относится к структурно чувствительным процессам, скорость которых зависит от предварительной обработки. Литературные данные о влиянии предварительной пластической холодной деформации на диффузионную подвижность углерода противоречивы. В работах [1, 2] указывают на уменьшение диффузионной подвижности углерода после предварительной холодной деформации, в других [3, 4] результаты исследований показывают об ускорении действия деформации на формирование диффузионной зоны. Известно также, что присутствие бора в сталях и в средах для цементации способствует ускорению процессов науглераживания [5]. В то же время влияние предварительной холодной пластической деформации на диффузию бора и углерода в борсодержащих сталях изучена недостаточно.

В связи с этим в данной работе исследовали влияние предварительной холодной деформации на диффузию углерода и бора в борсодержащем сплаве.

Исследование проводили на образцах со следующим составом: углерода 0,25 %, бора 0,002...0,0035 %. Предварительную обработку исследуемых сплавов осуществляли следующим образом:

- отжиг при температуре 900 °С в течение 5 часов;
- деформация сжатия при температуре 25 °С со степенью деформации 7...40 %;

После предварительной обработки насыщали поверхность образцов углеродом в течение 8 часов при температуре + 850, 950 °С в твердом карбюризаторе.

Структуру и свойства диффузионных зон исследовали методами металлографического, послойного спектрального, дюраметрического и рентгеноструктурного анализов.

Микроструктура цементационного слоя для борсодержащего сплава, прошедшего предварительную холодную пластическую деформацию, имеет традиционный характер. На рис. 1 представлено распределение концентрации углерода по глубине цементационного слоя от степени предварительной холодной пластической деформации для борсодержащего сплава.

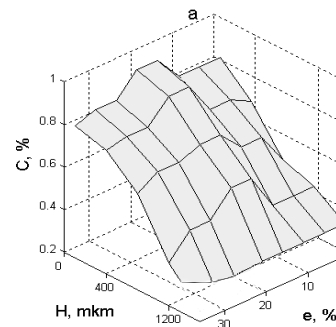


Рис. 1. Распределение концентрации углерода по глубине диффузионной зоны от степени предварительной холодной пластической деформации в борсодержащем сплаве

Как видно из рис. 1, глубина диффузионной зоны уменьшается в результате предварительной деформации.

На рис. 2 представлены результаты измерения микротвердости перлитной составляющей зоны диффузии углерода для борсодержащего

сплава, для деформированного и отожженного состояния.

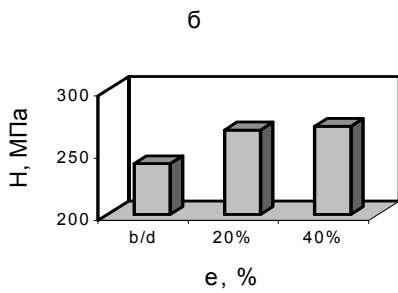


Рис. 2. Зависимость микротвердости цементационного слоя от степени предварительной деформации

Как видно из рис. 2, микротвердость цементационного слоя борсодержащего сплава увеличивается с увеличением степени деформации.

При цементации концентрация диффундирующего вещества изменяется по закону [6]:

$$c(x, \tau) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{h}} \Phi\left(\tau - \frac{h^2}{4D\mu^2}\right)^{1/2} e^{-\mu^2} d\mu, \quad (1)$$

где  $\Phi(\tau)$  – концентрация на поверхности как функция времени;  $\mu$  – переменная интегрирования,  $h$  – глубина цементационного слоя,  $D$  – коэффициент диффузии углерода,  $\tau$  – время цементации.

Зная концентрацию углерода на поверхности после цементации и в объеме образца, время цементации, глубину диффузионной зоны, проведен расчет коэффициента диффузии по соотношению (1) и энергии активации углерода (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты расчета коэффициента диффузии и энергии активации углерода**

Состав сплава		Вид предварит. т/о	$\xi$ , % (степень деформации)	$Q \cdot 10^3$ , ккал/г-атом	$D \cdot 10^{-7}$ , см <sup>2</sup>
С, %	В, %				
0,25	0,0035	Отжжен.	0	29,353	6,06
		деформ	20	33,239	4,91
		деформ	40	35,938	3,29

Как видно из результатов, приведенных в табл. 1, предварительная холодная деформация приводит к уменьшению величины коэффициента диффузии углерода при цементации борсодержащего сплава.

На рис. 3 представлена микроструктура борсодержащего сплава после насыщения поверхности бором.

При насыщении бором борсодержащего сплава на поверхности образуется борированный слой, а под ним слой, содержащий перлитную структуру (рис. 3б, в).

В зоне под боридным слоем наблюдали увеличение размеров зерна перлита по сравнению с величиной зерна перлита в объеме образца. Кроме того, с увеличением степени деформации борсодержащего сплава наблюдалось уменьшение глубины борированного слоя и толщины перлитной зоны по сравнению с предварительно отожженным состоянием (табл. 2).

Результаты влияния предварительной деформации на глубину диффузионной зоны приведены в табл. 2.

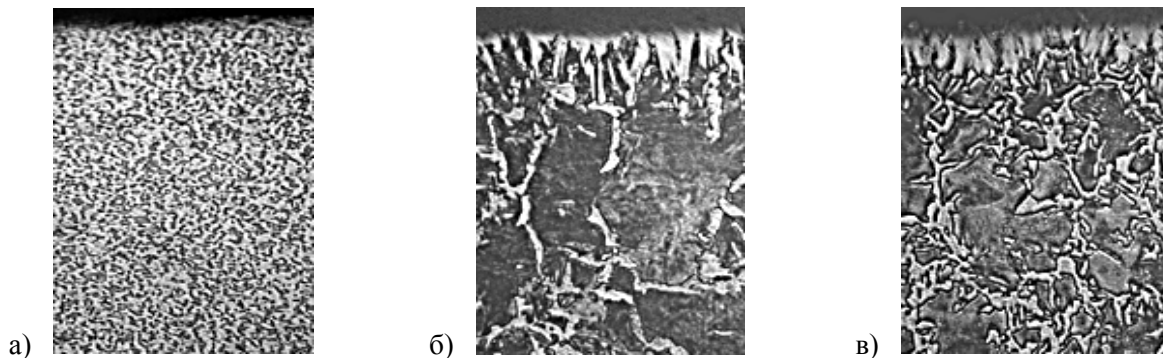


Рис. 3. Микроструктура поверхностной зоны борсодержащего сплава:

- а) исходное состояние, б) после насыщения поверхности отожженного сплава,
- в) после насыщения поверхности предварительно деформированного сплава со степенью 20 % x125

Зависимость глубины диффузионной зоны от степени предварительной деформации

Содержание		Предварительная хол. деф. $\xi$ , %	Величина диффузионной зоны бора	
C, %	B, %		боридов	полная
0,2	0,0035	-	155,2	1237,8
0,2	0,0035	20	116,3	1071,2
0,2	0,0035	40	87,3	925,3

Под боридным слоем в сплаве наблюдали мелкодисперсные включения борцементита  $Fe_3(CB)$ , преимущественно по границам зерен.

Предварительная холодная пластическая деформация приводит к уменьшению размеров перлитного зерна под борированным слоем (рис. 4а).

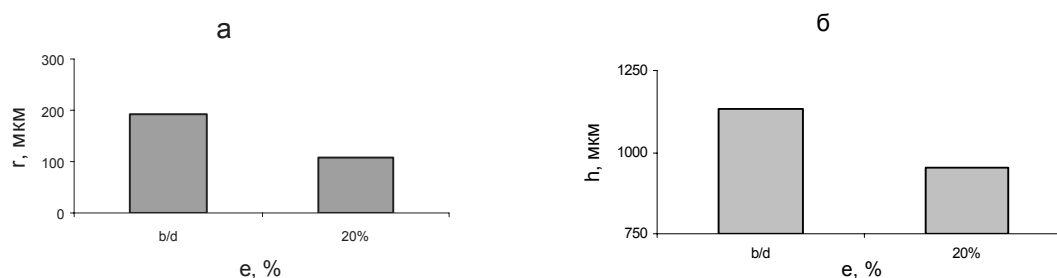


Рис. 4. Влияние предварительной обработки в борсодержащем сплаве на: а) размер зерна перлита, б) глубину перлитной зоны

На основании экспериментальных данных по распределению содержания бора по глубине диффузионной зоны, полученных с помощью метода послойного спектрального

анализа, был осуществлен расчет эффективного коэффициента диффузии бора.

В табл. 3 представлены результаты расчета эффективного коэффициента диффузии бора.

Таблица 3

Результаты расчета эффективного коэффициента диффузии бора

Состав сплава		Вид предварит. т/о	$\xi$ , % (степень деформации)	$D_{er} \cdot 10^{-5}$ , $cm^2$
C, %	B, %			
0,25	0,0035	Отожжен.	0	7,1
		деформ	20	5,2
		деформ	40	4,5

Процесс насыщения поверхности является диффузионным процессом, скорость которого зависит от условий предварительной обработки. В борсодержащем сплаве (рис. 1, табл. 1), при насыщении поверхности углеродом наличие предварительной холодной деформации уменьшает глубину диффузионной зоны и коэффициент диффузии углерода по сравнению с отожженным состоянием. Увеличение степени деформации приводит к уменьшению величины зоны диффузии углерода.

В результате насыщения одновременно бором и углеродом борсодержащего сплава на поверхности образуется не только боридный

слой, но и подслой, содержащий перлитную составляющую. В отожженном сплаве наблюдали увеличение величины зерна перлита по сравнению со сплавами прошедшими предварительную холодную пластическую деформацию. Известно, что бор сдвигает точку эвтектоидного превращения влево [6], приводит к увеличению зерна аустенита [7], увеличивает активность углерода [8], способствуя увеличению коэффициента диффузии углерода. Бор является горючим элементом. В результате насыщения поверхности отожженного борсодержащего сплава одновременно бором и углеродом бор будет преимущественно диффундировать по

границам зерен. В отожженном сплаве, микролегированном бором, в результате насыщения бором и углеродом преобладает зернограничная диффузия бора.

Как видно из табл. 3, в сплаве, содержащем бор, прошедшем предварительную холодную пластическую деформацию, наблюдали уменьшение глубины боридного слоя и размеров перлитной зоны. Наличие предварительной холодной пластической деформации изменяет механизм насыщения поверхности углеродом борсодержащего сплава. В сплаве, прошедшем предварительную холодную пластическую деформацию, бор будет диффундировать не только по границам зерен, но и по объему зерна. При этом бор насыщает неоднородности структуры, возникающие в объеме зерна в результате предварительной холодной пластической деформации, что приводит к уменьшению эффективного коэффициента диффузии бора.

### Выводы

1. Предварительная холодная пластическая деформация уменьшает интенсивность процесса насыщения углеродом борсодержащего сплава.

2. В сплавах, содержащих бор, не прошедших предварительную холодную пластическую деформацию, процесс насыщения поверхности углеродом и бором происходит более интенсивно.

3. Предварительная холодная пластическая деформация борсодержащего сплава уменьшает диффузионную подвижность бора при насыщении поверхности бором и углеродом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матосян, М. А. Влияние микродефектов на диффузию атомов внедрения [Текст] / М. А. Матосян, В. Т. Борисов, В. М. Голиков // Физика металлов и металловед. – 1970. – Т. 29, Вып. 4. – С. 824.
2. Кидин, И. Н. Влияние предварительной холодной пластической деформации на диффузию углерода в аустените [Текст] / И. Н. Кидин, Г. В. Щербединский, В. И. Андрюшечкин // Металловед и термич. обработ. – 1981. – № 12. – С. 26.
3. Диффузия углерода в аустенитной стали, полученной динамическим горячим прессованием [Текст] / П. Л. Грузин и др. // Физика металлов и металловед. – 1971. – Т. 29, Вып. 3. – С. 668-671.
4. Лахтин, Ю. М. Влияние предварительной холодной деформации на цементацию стали [Текст] / Ю. М. Лахтин, В. Д. Кальнер, В. К. Седуков, Т. А. Смирнова // Металловедение и термич. обработка. – 1971. – № 12. – С. 22-25.
5. Авторское свидетельство СССР № 1352979, кл. С 23 С8/06, 1985 [Текст].
6. Гудермон Э. Специальные стали [Текст] / Э. Гудермон. – М.: Металлургиздат, 1959. – Т. 2. – 1638 с.
7. Гольдштейн, Я. Г. Низколегированные стали в машиностроении [Текст] / Я. Г. Гольдштейн. – М., 1963. – С. 239.
8. Криштал, М. А. Механизм диффузии в железных сплавах [Текст] / М. А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 399 с.

Поступила в редколлегию 24.06.2008.