

Э.И.Вржац, В.Б.Горбачев, Е.Э.Вржац

ОБОСНОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЦИАНИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА

Обоснование результатов любого вида химико-термической обработки возможно осуществить путем определения коэффициентов и скорости диффузии атомов элементов, насыщающих металл.

Нами проведен расчет коэффициентов диффузии атомов углерода и азота и скорости диффузии в сталь Σ , подвергнутую цианированию при температуре 850°C по двум технологическим схемам:

а) обычное цианирование;

б) цианирование с ионизацией газовой среды электрическим полем коронного разряда при подаче на электрод отрицательного потенциала.

Результаты расчетов, проведенных с использованием известного уравнения (1)

$$\Theta = \frac{C_x \cdot t_2 - C_{исх}}{C_{прз} - C_{исх}} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right),$$

плохо согласовывались с данными эксперимента, т.к. оно не учитывает ограниченной скорости подачи элемента к поверхности детали. Это уравнение может быть применено лишь при условии, если:

$$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} + k\sqrt{Dt} \geq 2,8.$$

Если же

$$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} + k\sqrt{Dt} < 2,8,$$

то оно дает значительную погрешность, возрастающую с уменьшением этого значения.

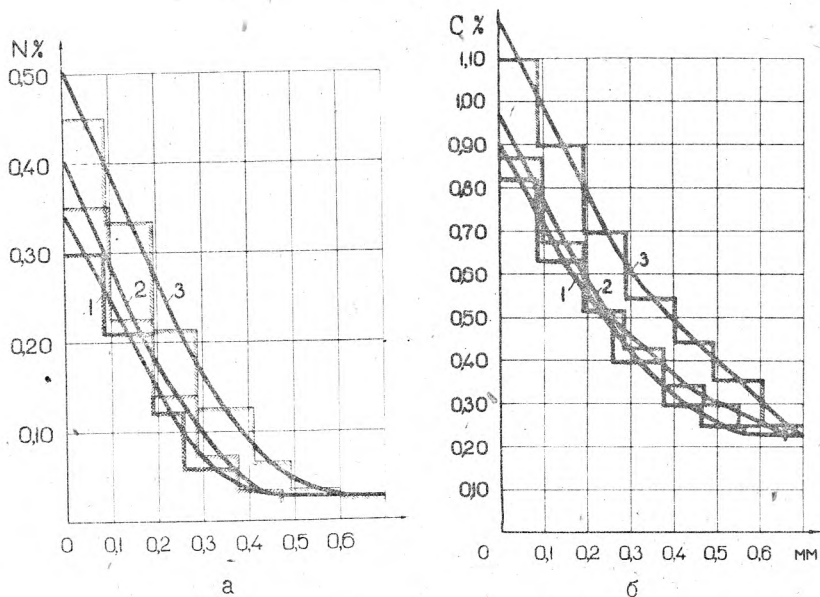


Рис.1.Изменение содержания азота и углерода по глубине цианированного слоя стали 20.
а-содержание азота; б-содержание углерода.

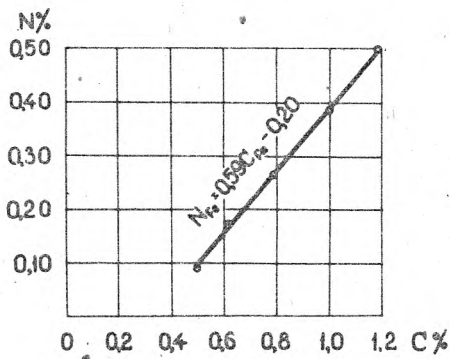


Рис.2.Зависимость концентрации азота от содержания углерода в цианированном слое стали20, образованном с ионизацией газовой среды.

Поэтому при небольших значениях X целесообразно пользоваться уравнением:

$$\theta_{x,t} = \frac{C_{x,t} - C_{исх}}{C_{нрег} - C_{исх}} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) - e^{h^2 Dt + ht} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} + h\sqrt{Dt}\right), \quad (1)$$

где $C_{x,t}$ - концентрация диффундирующего элемента в точке, расположенной на расстоянии X от поверхности через t ;

$C_{исх}$ - исходная концентрация диффундирующего элемента в детали;

h - относительный коэффициент передачи, численно равный отношению $\frac{\alpha}{D}$.

Значительно удобнее решить это уравнение с помощью специальных номограмм, в которых используются безразмерные величины, широко распространенные в теории теплопередач (2, 3):

критерий Био $B_i = hx$;

критерий Фурье $F_o = \frac{Dt}{x^2}$;

критерий Тихонова $Ti = h\sqrt{Dt} = B_i\sqrt{F_o}$.

Распределение углерода и азота по глубине изучаемых слоев приведено в таблице 1.

Таблица 1

Содержание угле- рода и азота	Расстояние от поверхности, слой, мм					
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Цианирование без ионизации газовой среды						
Углерод	0,90	0,71	0,55	0,42	0,32	0,25
Азот	0,343	0,243	0,148	0,071	0,032	-
Цианирование с ионизацией газовой среды						
Углерод	1,19	0,99	0,79	0,61	0,50	0,40
Азот	0,50	0,386	0,265	0,170	0,090	-

$$C_{\text{пов}} = \frac{C_{\text{пов}} - C_{\text{исх}}}{C_{\text{прег}} - C_{\text{исх}}} = \frac{0,90 - 0,22}{6,67 - 0,22} = 0,105;$$

$$T_i = 0,1;$$

$$Q_{0,2,t} = \frac{0,55 - 0,22}{6,67 - 0,22} = 0,051;$$

$$\frac{x}{2\sqrt{D}t} = 0,4; \quad Q = \left(\frac{0,02}{0,8}\right)^2 \cdot \frac{1}{1720} = 8,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{сек};$$

$$h = \frac{T_i}{\sqrt{Dt}} = \frac{0,1}{\sqrt{8,7 \cdot 10^{-8} \cdot 7200}} = 4 \text{ см}^{-1};$$

$$d_c = h \cdot Q = 4 \cdot 8,7 \cdot 10^{-8} = 34,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}/\text{сек}.$$

В рассматриваемом нами случае

$$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} + h\sqrt{Dt} = 0,3 \ll 2,8;$$

поэтому пользуемся уравнением (1), упрощенным путем применения критериев теплопроводности.

После усреднения коэффициент диффузии углерода (D_c) в процессе цианирования стали 20 при температуре 850°C оказался равным $8,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{сек}$. Скорость диффузии (d_c) равна $34,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}/\text{сек}$.

В случае цианирования с ионизацией газовой среды расчет ведется аналогично первому случаю.

Установлено, что при этом коэффициент диффузии углерода будет равен $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$; скорость диффузии - $6,9 \cdot 10^{-7} \text{ см}/\text{сек}$.

Таким образом, сравнивая данные, полученные при расчете скорости диффузии углерода при цианировании стали 20, можно написать, что

$$d_c (\text{ионизац.}) = K \cdot d_c (\text{без ионизац.}),$$

где $K \gg 2$.

Коэффициент диффузии азота при обычном цианировании будет равен

$$Q_{\text{пов}} = \frac{C_{\text{пов}} - C_{\text{исх}}}{C_{\text{прег}} - C_{\text{исх}}} = \frac{0,343 - 0,023}{11,2 - 0,023} = 0,03;$$

$$T_i = 0,025;$$

$$D_N = 4 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{сек};$$

$$h = \frac{T_i}{\sqrt{D t}} = \frac{0,025}{\sqrt{4 \cdot 10^{-8} \cdot 7200}} = 0,86 \text{ см}^{-1};$$

$$d_N = h \cdot D = 0,86 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \text{ см}/\text{сек}.$$

При цианировании с ионизацией газовой среды:

$$Q_{\text{пов}} = \frac{C_{\text{пов}} - C_{\text{исх}}}{C_{\text{прег}} - C_{\text{исх}}} = \frac{0,50 - 0,023}{11,2 - 0,023} = 0,043;$$

$$T_i = 0,035;$$

$$D_N = 1,02 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек};$$

$$h = \frac{T_i}{\sqrt{D t}} = \frac{0,035}{\sqrt{1,02 \cdot 10^{-7} \cdot 7200}} = 1,3 \text{ см}^{-1};$$

$$d_N = h \cdot D = 1,3 \cdot 1,02 \cdot 10^{-7} = 1,33 \cdot 10^{-7} \text{ см}/\text{сек}.$$

Таким образом, d_N (с иониз.) = $K d_N$ (без иониз.),
где $K = 3,9$;

$$d_{Na} = 3,9 d_N \text{ (без иониз.)}.$$

По данным химического анализа построен график зависимости концентрации азота от содержания углерода по глубине изучаемого слоя (рис.1):

Анализ кривой, представленной на рис.2, показывает, что эта зависимость имеет линейный характер

$$N_{Fe} = a + b C_{Fe},$$

где N_{Fe} и C_{Fe} - содержание азота и углерода (%) в диффузионном слое;

а и в - коэффициенты уравнения.

Подставив в уравнение данные послойного химического анализа; определяем коэффициенты а и в.

Поверхность слоя: $0,50 = a + 1,19 \text{ в}$.

На глубине 0,20 мм - $0,265 = a + 0,79 \text{ в}$.

$$\text{в} = 0,59; \text{ а} = -0,20.$$

Таким образом, концентрация азота в конкретной зоне цианированного слоя, образованного на малоуглеродистой стали, может быть определена в зависимости от количества находящегося в ней углерода согласно уравнению:

$$N_{Fe} = 0,59 C_{Fe} - 0,20 (\%)$$

Корректность данного уравнения подтверждается многочисленными экспериментами.

В ы в о д ы

1. Определены коэффициенты и скорость диффузии углерода и азота в поверхность стали 20, цианированной при температуре 850°C с ионизацией и без ионизации газовой среды.

2. Показано, что концентрации азота в конкретной зоне слоя малоуглеродистой стали может быть определена в зависимости от количества находящегося в ней углерода по формуле:

$$N_{Fe} = 0,59 C_{Fe} - 0,20 (\%).$$

Л и т е р а т у р а

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1959.
2. Попов А.А. Проблемы металловедения и термообработки. Машгиз, 1956.
3. Попов А.А. Теоретические основы химико-термической обработки стали. Свердловск, Metallurgizdat, 1962.