

ZBIGNIEW KRÓLIKOWSKI

WSI - Opole

WSPÓŁCZYNNIK DYFUZJI WĘGLA

W AUSTENICIE STOPOWYM O ZAWARTOŚCI 1,5%Cr

Streszczenie. Przeprowadzono analizę wpływu temperatury, budowy sieci krystalicznej rozpuszczalnika oraz powstającego roztworu, zawartości węgla i składników stopowych w austenicie itd., na współczynnik dyfuzji węgla w stali. Na podstawie analizy chemicznej cienkich warstw, pobranych z próbek stali ŁH15 odwęglonych przy stałych temperaturach, określono współczynniki dyfuzji węgla dla różnych spadków jego koncentracji, a następnie wyznaczono stałe dyfuzji oraz energię aktywacji. Podano przykład zastosowania wyznaczonych stałych do obliczenia głębokości szkodliwego odwęglenia stali ŁH15^{x)}.

1. Wstęp

Przy omawianiu i rozważaniach zjawisk dyfuzyjnych zasadnicze znaczenie posiada współczynnik dyfuzji D , a dla obliczenia, np. głębokości czy czasu dyfuzji, konieczna jest znajomość szczegółowych wartości D .

Przy dyfuzji w stanie stałym wielkość D zależy od wielu czynników, np. temperatury, w której proces ten zachodzi, rodzaju sieci krystalicznej rozpuszczalnika i charakteru powstających roztworów stałych, składu chemicznego rozpuszczalnika itp.

Celem pracy jest przeanalizowanie wpływu różnych czynników na współczynnik dyfuzji węgla w stali, wyznaczenie D dla róż-

^{x)} Pod określeniem "głębokość szkodliwego odwęglenia stali ŁH15" rozumie się grubość warstwy w strefie odwęglonej, gdzie stężenie węgla jest mniejsze o 0,95%, a więc poniżej minimalnej zawartości, przewidzianej przez normy dla stali ŁH15.

nych temperatur w zakresie austenitu oraz obliczenie ciepła aktywacji Q i stałych dyfuzji D_0 dla różnych spadków koncentracji węgla, uzyskanych przy odwęglaniu stali chromowej ŁH15. W pracy [9] autor zajmował się problemem wyznaczenia głębokości szkodliwego odwęglania stali ŁH15 i opracował do dyó skomplikowany, obliczeniowo-wykreślny sposób określania rozkładu węgla w strefie dyfuzyjnej. W pracy niniejszej, w oparciu o wyznaczone doświadczalnie wartości współczynnika dyfuzji D w zakresie nadeutektoidalnych stężeń węgla, sposób powyższy został uproszczony.

2. Przegląd piśmiennictwa

2.1. Definicja współczynnika dyfuzji

Definicja współczynnika dyfuzji wynika z pierwszego prawa dyfuzji Ficka, określającego ilość (m) pierwiastka jako proporcjonalną do czasu dyfuzji (τ), przekroju (A) na którym dyfuzja zachodzi i spadku koncentracji ($\frac{dc}{dx}$) ciała dyfundującego:

$$dm = -D \frac{dc}{dx} dA d\tau \quad (1)$$

Z równania (1) wynika, że współczynnik dyfuzji D jest współczynnikiem proporcjonalności między ilością składnika dyfundującego, spadkiem koncentracji oraz przekrojem i czasem dyfuzji:

$$D = \frac{-dm}{\frac{dc}{dx} dA d\tau} \quad (1a)$$

Wymiarem D w układzie CGS jest $[cm^2/sek]$, a jako wymiar pochodny stosuje się $[cm^2/24godz]$.

2.2. Zależność współczynnika dyfuzji od różnych czynników

2.2.1. Wpływ temperatury i sieci krystalicznej rozpuszczalnika

Wielkość współczynnika dyfuzji zależy od całego szeregu czynników, z których najważniejszymi są: temperatura procesu oraz rodzaj rozpuszczalnika i ciała rozpuszczanego (dyfundującego). Zależność tę ujmuje równanie Langmuira:

$$D = D_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right), \quad (2)$$

gdzie:

D_0 [cm²/sek] - stała dyfuzji, jest to wielkość charakterystyczna dla ciał biorących udział w dyfuzji;

Q [cal/mol] - ciepło lub energia aktywacji, albo ciepło rozluźnienia; jest to najmniejsza ilość dostarczonej energii, która umożliwia przemieszczenie atomu z jednego położenia w drugie;

$R = 1,987$ [cal/mol.°K] - stała gazowa;

T [°K] - temperatura w skali bezwzględnej.

Przy badaniach dyfuzji w stanie stałym stwierdzono [1], że ciepło aktywacji jest zależne od liczby atomowej rozpuszczalnika i ciała rozpuszczanego. Im te liczby bardziej różnią się od siebie, tym ciepło aktywacji jest mniejsze. Spowodowane jest to tym, że duże różnice w średnicach atomowych umożliwiają powstawanie roztworów, w których atomy pierwiastka rozpuszczonego zajmują położenie międzywęzłowe, na skutek czego przemieszczenia tych atomów są łatwiejsze. Wydaje się też słuszne stwierdzenie, że w procesie dyfuzji przypisać należy poważne znaczenie oprócz średnic atomowych, także budowie najwyższych pięter elektronowych oraz ilości elektronów wartościowych pierwiastków, które biorą udział w dyfuzji [1].
Tablica 1 podaje wpływ rodzaju roztworu stałego na ciepło aktywacji.

Tablica 1

Wpływ budowy roztworu stałego na ciepło aktywacji

Rozpuszczalnik	Pierwiastek rozpuszczony	Rodzaj roztworu	Ciepło aktywacji Q [cal/mol]
α -Fe	N	Między-	18 000
	C	węzłowy	32 000
γ -Fe	Ni	Różno-	67 000
	Cr	węzłowy	80 000

2.2.2. Wpływ koncentracji węgla i zawartości składników stopowych

Innym czynnikiem, oddziaływującym na wielkość współczynnika dyfuzji jest stężenie w rozpuszczalniku pierwiastka dyfundującego. Najprostszą postać tej zależności przedstawia [1]:

$$D = D_0 \frac{c_0}{c_0 - c_x}, \quad (3)$$

gdzie:

D_0 - graniczna wartość, do której dąży D przy zmniejszającej się zawartości pierwiastka dyfundującego w roztworze;

c_0 - największe możliwe stężenie pierwiastka dyfundującego w roztworze, przy temperaturze procesu;

c_x - stężenie pierwiastka dyfundującego w rozpuszczalniku.

W tablicy 2 podano zależność współczynników dyfuzji węgla w austenicie od zawartości węgla wg danych różnych autorów [2, 3].

Tablica 2

Wpływ zawartości węgla w austenicie na współczynnik dyfuzji węgla D oraz stałe D_0 i Q [2, 3].

Zawartość węgla %C	$D \cdot 10^7$ przy 1000°C [cm^2/sek]	$D_0 \cdot 10^2$ [cm^2/sek]	Q [cal/mol]	Q_{sr} [cal/mol]
0,2	2,46	5,6	31 000	31 400
0,4	3,36	7,6	30 600	
0,7	4,11	9,6	32,200	

Porównując wartości ciepła aktywacji dla austenitu o różnym stężeniu węgla, podane w tablicy 2, można stwierdzić, że różnice ich są niewielkie. Z tego też powodu, w literaturze Q bywa podawane jako wielkość stała - tablica 3.

Tablica 3

Wartości D_0 i Q , przy dyfuzji węgla w austenicie wg różnych autorów

d_0 [cm^2/sek]	Q [cal/mol]	A u t o r
0,49	36 000	Paschke i Hauttmann [4]
0,07 + 0,06.c	32 000	Wells i Mehl [5]
0,04 + 0,08.c ^x)	31 500	Błatner [2]

x) "c" - zawartość węgla w austenicie w %.

Dodatki stopowe, rozpuszczone w austenicie, oddziałują również na wielkości współczynników dyfuzji węgla. W tablicy 4 przedstawiono jakościowy wpływ niektórych dodatków stopowych stali na wielkości D_0 i Q oraz D . Przy opracowaniu tego zestawienia oparto się na danych Błanterera [2, 3], uzupełnionych przez informacje Hama [6] i Smoluchowskiego [7].

Z zestawienia w tablicy 4 wynika, że składniki stopowe oddziałują w sposób najprostsz na wielkość ciepła aktywacji, podwyższając je lub obniżając; wpływ na stałą dyfuzji D_0 jest bardziej złożony. Oddziaływanie sumaryczne więc na współczynniki dyfuzji D , w niektórych przypadkach - np. dla manganu -

Tablica 4

Wpływ dodatków stopowych stali na wielkości D_0 i Q
oraz współczynnik dyfuzji węgla D w austenicie [2, 3, 6, 7]

Składnik stopowy	Charakter składnika	Oddziaływanie dodatku na		Wpływ na D różnych zawartości dodatków stopowych			
		D_0	Q	D	oddziaływanie dodatku	D	oddziaływanie dodatku
Cr	węglisko-	↑	↑	↓	do 3%Cr - bardzo silne obniżenie D ;	↓	od 3 do 7%Cr bardzo słabe obniżenie D ;
W					od 0,5 do 2%W - bardzo słabe obniżenie D ;		?
Mn	twórcze	↑	↑	~	do 5%Mn - nie ma większych zmian D ;	↑	od 5 do 12%Mn - nie ma większych zmian D ; 12 do 20%Mn - działanie zmienne;
Mo					x) ↑ ↓		x) ↑ ↓
Ni	nie tworzą	↓	↓	↑ ↓	do 4%Ni - brak danych - prawdopodobnie niewielkie zmiany D ;	↑	od 4 do 18%Ni - wzrost D ;
Co					do 6%Co - wg [7] wzrost D ;		od 6 do 20%Co - b.znacznym wzrost D
Al	węglików	↑	↑	↓	od 0,5 do 2,5%Al - nieznaczny spadek D ;	?	powyżej 2,5%Al - brak danych;
Si					xx) ↑ ↓		do 1,5%Si - brak danych; 1,5 do 2,5%Si - nieznaczny spadek D ;

x) - Do 1%Mo - prawdopodobnie bardzo silne zwiększenie D_0 i obniżenie D

xx) - Do 1,5%Si - prawdopodobnie występuje wzrost, zaś od 1,5 do 2,5%Si zachodzi obniżenie D_0 .

jest skomplikowane. Dla większości jednak dodatków stopowych stali obserwuje się zmniejszenie współczynników dyfuzji, przy czym najwyraźniej uwidacznia się to w obecności chromu. W tabelicy 5, podano wartości współczynników dyfuzji węgla w austenicie stopowym o różnej zawartości chromu, dla różnych zmian koncentracji węgla, przy 1000°C.

Tablica 5

Wpływ chromu na współczynnik dyfuzji węgla w austenicie [2, 3]

Zawartość %Cr	Zmiana koncentracji do %C	$D \cdot 10^7$ przy 1000°C [cm ² /sek]	D_0 [cm ² /sek]	Q [cal/mol]
1	0,2	1,39	0,08	34 000
	0,4	1,9	0,11	
	0,7	2,26	0,18	
2,5	0,2	0,41	0,09	37 000
	0,4	0,64	0,14	
	0,7	0,82	0,19	
7	0,2	0,264	0,12	38 000
	0,4	0,394	0,18	
	0,7	0,55	0,25	

2.2.3. Wpływ wielkości ziarna

Na współczynnik dyfuzji wpływa także wielkość ziarna rozpuszczalnika. Badania Bugakowa [8] przeprowadzone na mosiądzu jednofazowym wykazały, że współczynnik dyfuzji cynku jest największy w materiale drobnoziarnistym – w miarę zwiększania ziarna maleje, osiągając wartość najmniejszą dla monokryształu. Przy dyfuzji węgla w stali, która zachodzi najczęściej powyżej przemiany alotropowej, wyjściowa wielkość ziarna nie ma znaczenia, gdyż następuje jego rozdrobnienie na skutek rekrytalizacji.

3. Badania własne

3.1. Wyznaczanie współczynnika dyfuzji dla stali ŁH15

W badaniach nad odwęglaniem stali chromowej nadeutektoidalnej ŁH15 - przeprowadzono analizę chemiczną cienkich warstw dla próbek odwęglonych w temperaturach: 780^o, 920^o i 1020^oC, w wyniku czego określone gradienty koncentracji węgla [9, 10]. Stwierdzono, że rozkład węgla podaje - z wystarczającą dokładnością - całka prawdopodobieństwa Gaussa:

$$\frac{c_x}{c_0} = 2\Phi(p) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^p e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (4)$$

gdzie:

- c_x - stężenie węgla w strefie odwęglonej w miejscu odległym o "x" od brzegu;
- c_0 - "koncentracja nominalna" tj. zawartość węgla w stali przed rozpoczęciem odwęglania;
- p - parametr, ujmujący zależność odległości od brzegu i czasu odwęglania.

Parametr określa równanie:

$$p = \frac{x}{\sqrt{2\tau D}} \quad (5)$$

gdzie:

- D - współczynnik dyfuzji węgla w stali;
- [sek] - czas odwęglania.

Dla różnicy parametrów - gdy $p_2 > p_1$, uzyskuje się równanie

$$p_2 - p_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{2\tau D}} \left| \begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \end{array} \right. \quad (6)$$

Przy obliczaniu D posługiwano się wzorem otrzymanym przez przekształcenie równania (6):

$$D \left| \begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \end{array} \right. = \left(\frac{x_2 - x_1}{p_2 - p_1} \right)^2 \frac{1}{2\tau} \quad (7)$$

Jak wynika z równania (4) kolejnym wielkościom parametrów "p" odpowiadają określone wartości całek prawdopodobieństwa czyli odpowiednie stężenia węgla. Z tablic odczytano wartości całek prawdopodobieństw dla parametrów: $p_p = 0$, $p_1 = 1$ i $p_2 = 2$; przedstawiają się one następująco:

$$\left. \begin{array}{l} 2\Phi(p_p=0) = \frac{c_p}{c_o} = 0, \\ 2\Phi(p_1=1) = \frac{c_1}{c_o} = 0,68 \\ 2\Phi(p_2=2) = \frac{c_2}{c_o} = 0,95 \end{array} \right\} \quad (8)$$

Jeżeli przyjmuje się stężenie nominalne w stali ŁH15 $c_o = 1\%C$, wówczas podane w zestawieniu (8) wielkości odpowiadają następującym zawartościom węgla w warstwie odwęglonej:

$\frac{c_p}{1} = 0$ - całkowite odwęglenie na powierzchni,

$\frac{c_1}{1} = 0,68$ - zawartość eutektoidalna (dla stali zawierającej 1,5%Cr następuje przesunięcie punktu eutektoidalnego do ok. 0,7%C [11]),

$\frac{c_2}{1} = 0,95$ - minimalna zawartość węgla w stali ŁH15.

Opierając się na zestawieniu (8) można ustalić dwa zakresy zmian stężeń dla wyznaczania współczynników dyfuzji węgla w austenicie:

1) zakres stężeń podeutektoidalnych -

$$\text{od } \frac{c_p}{c_0} = 0 \text{ do } \frac{c_1}{c_0} = 0,68;$$

2) zakres stężeń nadeutektoidalnych -

$$\text{od } \frac{c_1}{c_0} = 0,68 \text{ do } \frac{c_2}{c_0} = 0,95$$

(9)

Współczynniki dyfuzji węgla dla spadków koncentracji węgla w zakresie podeutektoidalnym: $D \left| \begin{matrix} 0,68 \\ 0,95 \end{matrix} \right.$ - tzn. od rdzenia o minimalnej zawartości węgla dla stali ŁH15 - do stężenia eutektoidalnego, obliczono bezpośrednio z wyników badań. W tabelicy 6 zestawiono obliczone wartości współczynników dyfuzji dla różnych temperatur, a także wyznaczono średnie wartości D.

Tabelica 6

Wartości współczynników dyfuzji węgla w austenicie stopowym o zawartości 1,5%Cr, dla spadków stężeń węgla w zakresie nadeutektoidalnym

Temperatura °C	Obliczone wartości $D \left \begin{matrix} 0,68 \\ 0,95 \end{matrix} \right. \cdot 10^7$ dla próbek odwęglanych w czasie								Średnio $D \left \begin{matrix} 0,68 \\ 0,95 \end{matrix} \right. \cdot 10^7$
	3 godz.		6 godz.		12 godz.		24 godz.		
1020	3,19	3,75	2,22	4,00	2,73	3,35	2,42	3,06	3,09
920	1,56	1,86	1,60	1,67	1,07	1,16	0,90	0,86	1,33
780	-	-	0,14	0,15	0,10	0,11	0,09	0,08	0,11

Bezpośrednie wyznaczenie współczynników dyfuzji $D|_{0,68}^0$ - dla spadków względnych koncentracji węgla od $\frac{c_1}{c_0} = 0,68$ do $\frac{c_p}{c_0} = 0$, na podstawie wyników badań prac [9 i 10] nie jest możliwe, gdyż dla żadnej próbki nie uzyskano na powierzchni odwęglania całkowitego. Współczynniki te określone przez ekstrapolację do stężenia $c_p = \frac{c_p}{c_0} = 0$, obliczonych wartości D - dla spadków stężeń względnych od zawartości eutektoidalnej $\frac{c_1}{c_0} = 0,68$, do rzeczywistych na powierzchni $\frac{c_p}{c_0} > 0$. Ekstrapolację przeprowadzono najpierw odrębnie dla obu serii badań, zawartych w [9 i 10], a następnie (ponieważ w obu przypadkach warunki odwęglania są identyczne) wyniki połączono, wyznaczając D_{sr} . Uzyskane wartości współczynników dyfuzji zestawiono w tabelicy 7.

Tablica 7

Wartości współczynników dyfuzji węgla w austenicie stopowym o zawartości 1,5%Cr, dla spadków stężeń węgla w zakresie pod-eutektoidalnym

Temperatura °C	$D _{0,68}^0 \cdot 10^7$ wyznaczone z danych według danych prac		Średnio $D _{0,68}^0 \cdot 10^7$
	(9)	(10)	
1020	2,1	2,05	2,1
920	0,9	0,65	0,8
780	0,08	0,08	0,08

3.2. Obliczenie energii aktywacji Q i stałej dyfuzji D_0 dla stali ŁH15

Średnie współczynniki dyfuzji, określone dla kilku temperatur, umożliwiają obliczenie energii aktywacji Q i stałej dyfuzji D_0 .

Stosuje się do tego wzory, wyprowadzone z równania Langmuira (3):

$$Q = \frac{\lg \frac{D_2}{D_1}}{0,217 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}, \quad (10)$$

$$D_0 = \frac{D}{e^{-\frac{Q}{RT}}}, \quad (11)$$

W tabelicy 8 zestawiono obliczone wielkości: stałych dyfuzji D_0 i energii aktywacji Q dla spadków koncentracji węgla w zakresie nadeutektoidalnymi i podeutektoidalnym, porównując je z wartościami uzyskanymi przez interpolację liniową danych Błantera (tabl. 5).

Tabelica 8

Porównanie wartości D_0 i Q - dla stali o zawartości 1,5%Cr - wyznaczonych z badań własnych oraz obliczone według danych Błantera

Zakres zawartości węgla	Zmiany stężeń względnych węgla	D_0 [cm ² /sek]	Q [cal/mol]	U w a g i
	$\frac{x}{x_0}$ od do			
Nadeutektoidalnych	0,95 ÷ 0,68	0,207	34 400	według badań
Podeutektoidalnych	0,68 ÷ 0	0,188	35 000	własnych [9] i [10]
	0,7 ÷ 0	0,183	35 000	wg Błantera [3]

Z tabelicy 8 wynika, że dla zakresu podeutektoidalnego zachodzi całkowita zgodność wyników uzyskanych z danymi literatury. W dostępnej literaturze nie znaleziono żadnych danych liczbowych, odnoszących się do współczynników dyfuzji w zakresie stężeń nadeutektoidalnych i to jest nowością niniejszego opracowania.

Obliczone wartości współczynników dyfuzji mogą być wykorzystane do wyznaczania szkodliwego odwęglania stali chromowej ŁH15; za pomocą tych współczynników można by też określić (przy nawęglaniu) czas potrzebny do osiągnięcia na powierzchni żądanej grubości warstwy dla stali konstrukcyjnej chromowej do nawęglania zawierającej 1,5%Cr.

3.2.3. Określenie głębokości szkodliwego odwęglania stali ŁH15

Znajomość wartości współczynników dyfuzji, dla zmian stężeń węgla w zakresie składów nadeutektoidalnych, przy zawartości 1,5%Cr, pozwala na uproszczenie opracowanej przez autora [9] metody określania głębokości szkodliwego odwęglania stali na łożyska toczne ŁH15; umożliwia bowiem bezpośrednie obliczenie odległości "b" : warstwy o eutektoidalnej-względnej koncentracji węgla $\frac{c_1}{c_0} = 0,68$, od strefy o stężeniu względnym $\frac{c_2}{c_0} = 0,95$. Należy posłużyć się tym wzorem:

$$b = \sqrt{2\tau D \left| \begin{array}{l} 0,68 \\ 0,95 \end{array} \right.} \quad [\text{cm}], \quad (12)$$

gdzie: τ [sek] - czas odwęglania.

Odległość " x_e " od brzegu warstwy eutektoidalnej wyznacza się za pomocą badania metalograficznego mikroskopowego.

Głębokość szkodliwego odwęglania " x_2 ", tj. grubość warstwy materiału o zawartości węgla $c_x < 0,95\%C$, (która jest najmniejszą koncentracją węgla w stali ŁH15) określa równanie:

$$x_2' = x_e + kb \quad (13)$$

gdzie:

k - współczynnik, uwzględniający nominalną zawartość węgla c_0 , w badanej próbce stali ŁH15.

Wielkości współczynników k, wyznaczone z przebiegów krzywych rozkładu normalnego węgla:

$$c_x = c_0 \cdot 2\Phi \quad (p) \quad (14)$$

podano w tablicy 9.

Tablica 9

Wartości współczynników k , uwzględniających koncentrację nominalną węgla c_0 w stali ŁH15, przy określaniu głębokości szkodliwego odwęglania

c_0 %C	k		c_0 %C	k
0,95	1,9		1,05	0,7
1,0	1,0		1,1	0,6

Resumując, do określania szkodliwego odwęglania stali ŁH15 konieczne są następujące dane:

- 1) temperatura odwęglania " t ", na podstawie której - z równania Langmuira - oblicza się współczynnik dyfuzji

$$D \begin{cases} 0,68 \\ 0,95 \end{cases};$$

- 2) czas odwęglania τ [sek];

- 3) głębokość warstwy eutektoidalnej " x_e " [cm], którą określa się na podstawie badania metalograficznego.

Opisany sposób określania głębokości szkodliwego odwęglania stali ŁH15 można stosować tylko dla materiałów odwęglanych w stałych temperaturach w zakresie austenitu, tj. powyżej około 770°C.

4. Wnioski

1. Wyznaczona wartość energii aktywacji Q i stałej dyfuzji D_0 - dla podutektoidalnych stężeń węgla w austenicie stopów zawierającym 1,5%Cr, są zgodne z danymi z literatury.

2. W miarę wzrostu zawartości węgla - w przypadku badanego austenitu stopowego, energia aktywacji zmniejsza się, a stała dyfuzji rośnie.

3. Wielkości współczynnika dyfuzji $D \begin{matrix} | 0,68 \\ | 0,95 \end{matrix}$ - dla spadku stężeń węgla w zakresie nadeutektoidalnym - wyznaczone z badań własnych, umożliwia scharakteryzowanie rozkładu węgla w warstwie odwęglonej stali ŁH15, od ok. 0.7 do 0,95%Gr i określenie głębokości szkodliwego odwęglania.

4. Podany sposób określania głębokości odwęglania można - po wyznaczenie współczynników dyfuzji - stosować także do innych gatunków stali, ale tylko dla materiałów odwęglonych w temperaturach stałych.

LITERATURA

- [1] Wesołowski K.: Metaloznawstwo, t.II, Warszawa 1957.
- [2] Kriształ M.A.: Diffuzjonnyje processy w żelaznych spławach, Metalurgizdat Moskwa 1963.
- [3] Błanter M.E.: Diffuzjonnyje processy w autenicie i prokalnojemnost legirowannoj stali, Autoreferat dysertacji MJS 1949 (podano za [2]).
- [4] Peschke M., Huttman A.: Archiv Eisenhütten-wesen t. 9, 1955 str. 305.
- [5] Wells C., Mehl R.: Metals Technology, 1940, nr 8.
- [6] Ham J.S. i współpr.: Tran ASM t. 31. 1945 nr 4 str. 877 i t. 32 1945 r. nr 2 str. 331.
- [7] Smoluchowski R.: Phys. Review. 1943 nr 11-12 str. 438
- [8] Bugakow W.Z.: Diffuzija w mietalłach i spławach w twierdój fazie, Moskwa 1960.
- [9] Królikowski Z.: Dyfuzja składników przy odwęglaniu stali chromowej ŁH15 (praca doktorska) Gliwice 1965.
- [10] Orszulik P.: Sprawdzenie rozkładu węgla w odwęglonej stali ŁH15 (praca przejściowa wykon. pod kier. Z. Królikowskiego) - Gliwice 1966 r.
- [11] Gulajew A.P.: Metaloznawstwo (tłum. z j. ros.). WGH - Katowice 1959.

КОЭФФИЦИЕНТ ДИФфуЗИИ УГЛЕРОДА В ЛЕГИРОВАННОМ АУСТЕНИТЕ
СОДЕРЖАЩИМ 1,5% ХРОМА

Резюме

Произведен анализ влияния температуры, структуры кристаллической сетки растворителя и образующегося раствора, содержания углерода и легирующих компонентов в аустените и т.п. на коэффициент диффузии углерода в стали. На основании химического анализа тонких слоев отобранных из образцов стали ЛН15 обезуглероживаемых при постоянных температурах были определены коэффициенты диффузии углерода для различных падений его концентрации, а затем были определены постоянные диффузии D_0 и теплоты активации. Дается пример применения определенных величин для расчета глубины вредного обезуглероживания стали ЛН15.

DIFFUSIVITY OF CARBON IN ALLOY AUSTENITE CONTAINING 1,5%Cr

Summary

The influence of temperature, crystal structure of a solvent and arising solid as well as carbon content and alloying elements in austenite on the diffusivity of carbon in steel has been analysed. On the basis of chemical analysis of thin layers taken of from the specimens of steel LN15, decarburized at constant temperature, the diffusivity of carbon for its various concentration gradients has been determined and the diffusion constant " D_0 " as well as the heat of activation " Q " have been calculated. In the paper is given an example of application the determined diffusivity values for calculation the depth of detrimental decarburization in steel LN15.