ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: MECHANIKA z. 89 Nr kol. 966

Jerzy CYBO
Stanisław JURA
Jerzy CHMIELA

APROKSYMACJA CECH STEREOLOGICZNYCH WTRĄCEŃ NIEMETALICZNYCH W STALIWIE

Streszczenie. Uwzględniając, iż w szeregu danych literaturowych operuje się aproksymacją funkcji Gaussa w odniesieniu do rozkładu wielkości wtrąceń niemetalicznych, w niniejszej pracy wykorzystano parametry jednej z tych funkcji do analitycznego opisu cech stereologicznych zanieczyszczeń w staliwie. Cechy te podano w alternatywnym ujęciu ilości i wielkości WN oraz w funkcji takich parametrów, jak: wskaźnik sumarycznej liczby wtrąceń, ich średnia logarytmiczna cięciwa i zróżnicowanie wielkości zanieczyszczeń. Wymienione parametry zaleca się wyznaczyć numerycznie dla analizowanego rozkładu wtrąceń niemetalicznych. Podane relacje pozwalają na określenie cech stereologicznych tak dla poszczególnych klas wielkości WN, jak i wartości wypadkowej cech dla całego zbioru zanieczyszczeń.

Ustalenia teoretyczne uzupełniono weryfikacją statystyczną obliczeń opartą na pomiarach cech stereologicznych za pomocą urządzenia Quantimet 720. Wykazała ona odpowiednią dokładność i wiarygodność aproksymacji cech podanym w pracy sposobem, potwierdzając możliwość takiego opisu charakterystyki ilościowej wtrąceń niemetalicznych w staliwie.

1. Wprowadzenie i cel pracy

Podstawowe cechy stereologiczne elementów struktury stopu definiuje się w metalografii ilościowej na podstawie momentów zwykłych (trzeciego i drugiego rzędu) funkcji opisującej przestrzenny rozkład wielkości badanych mikrocząstek. Sprowadza się to w konsekwencji do wyrażenia analizowanych cech za pomocą parametrów tego rozkładu. Metodykę obliczania tych ostatnich - opartą na pomiarach (na powierzchni zgładu) sumy cząstek, ich powierzchni właściwej i udziału objętościowego - przedstawia bardzo dokładnie praca J. Rysia [1] .

Wspomniany wcześniej pomiar głównych cech stereologicznych bazuje w metalografii na ustaleniu liczby przecięć badanej fazy z liniami testującymi, która to metoda wynika z zasady tzw. siecznych przypadkowych i całkowitego rzutu na płaszczyźnie. Ponieważ pomiary cech realizuje się z reguły za pomocą automatycznego analizatora obrazu typu Quantimet, często rozszerza się zakres tych pomiarów o równoczesne ustalenie liczby płaskich przekro-

jów cząstek w poszczególnych klasach wielkości. Zarówno w przypadku analizy powierzchniowego, jak i przestrzennego rozkładu wielkości badanych elementów, analityczną postawę rozważań stanowi funkcja Gaussa. Pomijając w tym miejscu motywację, w szeregu pracach operuje się jednak formułami aproksymującymi tę funkcję. Cytowane w literaturze badania wykazują przy tym, że te same dane empiryczne można opisać z identyczną dokładnością za pomocą wzoru Gaussa, Couschy'ego czy funkcji logistycznej [2]. Z przedstawionych w [3,4] rozważań wynika, iż właściwą aproksymację rozkładu normalnego zapewnia także formuła (1):

$$f(x) = \frac{Z \exp[Z(m-x)]}{\{1 + \exp[Z(m-x)]\}^2}, \tag{1}$$

której funkcja pierwotna przyjmuje postać:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)\,dx = \frac{1}{1 + \exp[Z(m-x)]}, \tag{2}$$

gdzie:

x - wartość bieżąca zmiennej X,
m - wartość średnia zmiennej,
Z - parametr zdefiniowany przez usytuowanie punktów przegięcia λ funkcji f(x):

$$Z = \frac{\ln A}{\lambda} = \frac{\ln(2+\sqrt{3})}{\lambda}, \tag{3}$$

przy czym postulat właściwej aproksymacji rozkładu normalnego jest spełniony, gdy λ pozostaje w stosunku do odchylenia standardowego σ (w funkcji Gaussa) w relacji:

$$\sigma = \beta \cdot \lambda = (1,2121 \div 1,3606)\,\lambda\,. \tag{4}$$

W odniesieniu do rozkładu cięciw wtrąceń w staliwie, które w dominującej części posiadają kształt kulisty, a ponadto wykazują logarytmiczno-normalny rozkład wielkości (X=lnC), w pracy [3,4] zastosowano w tej sytuacji opis zbioru WN za pomocą funkcji:

$$N_A = N_{As} \cdot \int_{\ln C_a}^{\ln C_b} \frac{Z \exp[Z(\overline{\ln C} - \ln C)]}{\{1+\exp[Z(\overline{\ln C} - \ln C)]\}^2} \, d(\ln C) = N_{As} \frac{1}{1+\exp[Z(\overline{\ln C} - \ln C)]} \Bigg|_{\ln C_a}^{\ln C_b} \tag{5}$$

oraz

$$N_A = U \frac{Z \exp[Z(\overline{\ln C} - \ln C)]}{\{1+\exp[Z(\overline{\ln C} - \ln C)]\}^2}, \qquad [mm^{-2}], \tag{6}$$

przy czym średnią cięciwę wtrąceń $\overline{C}$ aproksymowano za pomocą wzoru:

$$\overline{C} = \exp\left[\overline{\ln C} + \frac{1}{2}\left(\frac{\beta \ln A}{Z}\right)^2\right], \tag{7}$$

gdzie:

N_A - ilość wtrąceń o cięciwie C na powierzchni 1 mm^2,

U - wskaźnik sumarycznej ilości wtrąceń N_{As} określony przez:

$$U = \int_{-\infty}^{+\infty} N_A \cdot d(\ln C) = N_{As} \cdot \Delta \ln C, \qquad \left[\frac{mm}{mm^2}\right], \tag{8}$$

$\Delta \ln C = \ln \frac{C_b}{C_a}$ - szerokość badanych klas WN,

Z - zróżnicowanie wielkości wtrąceń (zdefiniowane przez punkty przegięcia λ funkcji N_A wg (3),

$\overline{\ln C}$ - średnia logarytmiczna cięciwa wtrąceń,

$\ln C$ - bieżąca wielkość zmiennej $X = \ln C$.

Parametry $U, Z, \overline{\ln C}$ funkcji aproksymującej powierzchniowy rozkład wielkości wtrąceń w staliwie proponuje się w [3] wyznaczać numerycznie. Zastosowany opis zbioru WN zapewnia przy tym wysokie testy statystyczne [3,4] :

współczynnik korelacji	$R = 0{,}996 \div 0{,}956$
odchylenie standardowe	$S[N_A(\overline{\ln C})] = 4 \div 16\ mm^{-2}$
względny błąd oszacowania	$\gamma = 3{,}8 \div 8\%$
	$\alpha = 0{,}05.$

Uwzględniając w tej sytuacji, iż w szeregu przypadkach analizowany jest powierzchniowy rozkład wielkości wtrąceń w ujęciu funkcji aproksymujących (np. wzór (5,6), celem pracy jest stwierdzenie poprawności i dokładności opisu cech stereologicznych fazy niemetalicznej za pomocą parametrów takiej funkcji w konfrontacji z wartościami pomierzonymi na QMT.

2. Aproksymacja cech stereologicznych wtrąceń niemetalicznych w staliwie

Zgodnie z zasadami metalografii ilościowej cięciwa "C" przeciętego przez zgład wtrącenia jest równa połowie liczby przecięć "n" jego konturu z liniami testującymi, skąd dla powierzchni 1 mm^2 zawierającej N_A wtrąceń można zapisać:

$$n = 2\,C \cdot N_A, \qquad [mm^{-1}] \tag{9}$$

W tej sytuacji podstawowe cechy stereologiczne fazy niemetalicznej można też podać w postaci operującej jedynie ilością i wielkością zanieczyszczeń[x1]:

- obwód właściwy

$$L_A = \frac{\pi}{2}\,n = \pi C N_A, \qquad \left[\frac{mm}{mm^2}\right] \tag{10}$$

- powierzchnia właściwa

$$S_V = 2n = 4CN_A, \qquad \left[\frac{mm^2}{mm^3}\right] \tag{11}$$

- udział objętościowy

$$V_V = \frac{\pi}{4}\,C^2 N_A, \qquad \left[\frac{mm^3}{mm^3}\right] \tag{12}$$

[x1] W pracy [5] można znaleźć podobnie zdefiniowane cechy L_A, S_V, V_V.

- odległość między wtrąceniami

$$L_V = \frac{\pi(1-V_v)}{L_A} = \frac{1}{CN_A} - \frac{\pi C}{4} \simeq \frac{1}{CN_A} \qquad [mm] \qquad (13)^{x2}$$

- ilość cząstek w objętości stopu

$$N_v = 6\pi^2 V_v \left(\frac{N_A}{S_v}\right)^3 = \frac{6\pi^3}{4^4} \cdot \frac{N_A}{C}, \qquad [mm^{-3}] \qquad (14)$$

Relacje te są równoważne w sensie ustaleń ilościowych klasycznemu zapisowi metalograficznemu prezentowanemu po pierwszym znaku równości. Wzory (10÷14) mogą w tym przypadku określać wypadkową wartość cech stereologicznych zanieczyszczeń lub wielkość cech dla poszczególnych klas wtrąceń. W pierwszym z tych przypadków należy wprowadzić do tych relacji sumaryczną ilość wtrąceń N_{As} na powierzchni 1 mm^2 oraz średnią ich wielkość $\overline{C}$. W sytuacji analizy wartości cech w kolejnych klasach wtrąceń - jaka często ma miejsce przy ocenie efektów rafinacji stopu - N_A, C oznaczają wielkości odpowiadające badanej klasie WN.

Wprowadzając relacje (7,8) do wzorów (10÷14) można te ostatnie zapisać w postaci określającej wypadkowe cechy stereologiczne wtrąceń za pomocą parametrów $(U, Z, \overline{\ln C})$ funkcji zbioru wtrąceń [3] :

$$L_{As} = \frac{U}{\Delta \ln C} \exp\left[\overline{\ln C} + \frac{1}{2}\left(\frac{\beta \ln A}{Z}\right)^2\right] \qquad (15)$$

$$S_{Vs} = \frac{4U}{\Delta \ln C} \exp\left[\overline{\ln C} + \frac{1}{2}\left(\frac{\beta \ln A}{Z}\right)^2\right] \qquad (16)$$

$$V_{Vs} = \frac{\pi U}{4\Delta \ln C} \exp 2\left[\overline{\ln C} + \frac{1}{2}\left(\frac{\beta \ln A}{Z}\right)^2\right] \qquad (17)$$

$$L_{Vs} = 1/\left\{\frac{U}{\Delta \ln C} \exp\left[\overline{\ln C} + \frac{1}{2}\left(\frac{\beta \ln A}{Z}\right)^2\right]\right\} \qquad (18)$$

[x2] Ostateczna postać wzoru (13) wynika z faktu, iż przy analizie wtrąceń niemetalicznych może być odrzucony składnik C/4, gdyż jego wielkość jest pomijalnie mała.

$$N_{Vs} = \frac{6\pi^3}{4^4} \frac{U}{\Delta \ln C} \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\beta \ln A}{Z}\right)^2 - \overline{\ln C}\right] \tag{19}$$

Wartości cech (10÷14) odpowiadające poszczególnym klasom WN można natomiast zapisać w ujęciu parametrycznym przy użyciu wzoru (6):

$$L_A = \pi C \frac{UZ\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]}{\left\{1+\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]\right\}^2} \tag{20}$$

$$S_V = 4C \frac{UZ\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]}{\left\{1+\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]\right\}^2} \tag{21}$$

$$V_V = \frac{\pi}{4} C^2 \frac{UZ\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]}{\left\{1+\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]\right\}^2} \tag{22}$$

$$L_V = \frac{\left\{1+\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]\right\}^2}{C\, UZ \exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]} \tag{23}$$

$$N_V = \frac{6\pi^3}{4^4 C} \frac{UZ \exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]}{\left\{1+\exp\left[Z(\overline{\ln C} - \ln C)\right]\right\}^2} \tag{24}$$

3. Ocena aproksymacji cech stereologicznych wtrąceń w staliwie

W celu przeprowadzenia oceny aproksymacji cech stereologicznych WN przez wzory (10÷24) badaniom poddano wtrącenia niemetaliczne z 25 wytopów staliwa L20G2. Realizowano je przy zastosowaniu urządzenia Quantimet 720, wyznaczając ilość WN w poszczególnych klasach[x3] wielkości oraz określając średnie cechy stereologiczne zanieczyszczeń [3].
Na podstawie pomiarów N_A oraz wzorów (10÷14) wyznaczono wartości cech stereologicznych dla poszczególnych klas WN, które dla jednego z wytopów zamieszczono w tablicy 1 (w liczniku).

[x3] Szerokość (rozstęp) ośmiu klas wynosiła
$\Delta \ln C = 0{,}446 \cdot 10^{-3}$ mm dla badanego zakresu cięciw $C = (0{,}56 \div 20)10^{-3}$ mm.

Korzystając ze wzoru (6) wyznaczono numerycznie parametry funkcji zbioru wtrąceń, które dla przykładowego wytopu wynoszą:[x4]

$$U = 129{,}67 \qquad \left[\frac{10^{-3}\,mm}{mm^2}\right]$$

$$Z = 3{,}244 \qquad \left[\frac{1}{10^{-3}\,mm}\right]$$

$$\overline{\ln C} = 0{,}978 \qquad \left[10^{-3}\,mm\right]$$

Wprowadzając wartości tych parametrów do wzorów (20÷24), aproksymowano tym samym cechy stereologiczne dla poszczególnych klas wtrąceń, tablica 1 (w mianowniku).

Tablica 1

Wielkość cech stereologicznych WN dla poszczególnych klas cięciw obliczona wg pomiaru N_A na QMT 720 i wzorów (10÷14) (w liczniku) oraz aproksymacja tych cech za pomocą parametrów funkcji zbioru wtrąceń wg wzorów (20÷24) (w mianowniku)

Średnia cięciwa klasy C $[10^{-3}\,mm]$	L_A $\left[\frac{mm}{mm^2}\right]$	Cecha stereologiczna WN			
		S_V $\left[\frac{mm^2}{mm^3}\right]$	$V_V \cdot 10^4$ $\left[\frac{mm^3}{mm^3}\right]$	L_V $[mm]$	$N_V \cdot 10^{-3}$ $[mm^{-3}]$
0,84	$\frac{0{,}06}{0{,}03}$	$\frac{0{,}07}{0{,}03}$	$\frac{0{,}12}{0{,}05}$	$\frac{56{,}4}{124{,}8}$	$\frac{18{,}27}{8{,}24}$
1,41	$\frac{0{,}18}{0{,}19}$	$\frac{0{,}23}{0{,}24}$	$\frac{0{,}65}{0{,}70}$	$\frac{17{,}0}{16{,}9}$	$\frac{21{,}51}{21{,}65}$
2,11	$\frac{0{,}58}{0{,}61}$	$\frac{0{,}74}{0{,}78}$	$\frac{2{,}07}{2{,}20}$	$\frac{5{,}4}{5{,}1}$	$\frac{30{,}34}{31{,}70}$

[x4] Parametry te realizują opis zbioru WN przy zachowaniu statystyki:
$R = 0{,}991$, $S\,N_A(\overline{\ln C})] = 6$, $\gamma_{0,05} = 4{,}2\%$.

1	2	3	4	5	6
3,24	1,00 / 0,97	1,27 / 1,23	7,08 / 6,80	3,1 / 3,2	22,00 / 21,31
4,93	0,59 / 0,68	0,74 / 0,87	6,20 / 6,40	5,4 / 4,6	5,56 / 6,48
7,33	0,37 / 0,33	0,47 / 0,41	5,57 / 4,90	8,5 / 9,7	1,59 / 1,39
10,99	0,28 / 0,24	0,35 / 0,30	3,59 / 2,90	11,4 / 12,1	0,52 / 0,37
16,5	0,34 / 0,06	0,43 / 0,07	4,41 / 1,40	9,3 / 54,1	0,28 / 0,05

Traktując ilość i wielkość wtrąceń we wzorach (10÷14) jako wartości N_{As} oraz $\overline{C}$, obliczono tym sposobem cechy wypadkowe, które zamieszczono w wierszu a) tablicy2. Sumując natomiast wielkości cech poszczególnych klas WN (mianownik kolejnych kolumn w tablicy 1) uzyskano wynik zamieszczony w wierszu b) tablicy2. Korzystając jednocześnie ze wzorów (15÷19), wypadkowe cechy aproksymowane parametrami funkcji zbioru wtrąceń ujęto w wierszu c) tablicy2, której wiersz d) zawiera wynik bezpośredniego pomiaru tych cech na QMT 720.

Tablica 2

Wartość wypadkowych cech stereologicznych obliczonych (a,b,c) dla wtrąceń z przykładowego wytopu staliwa L20G2 w porównaniu z wielkościami pomierzonymi na QMT (d) oraz ich procentowe różnice δ

Cecha średnia / wiersz	L_{As} $\left[\frac{mm}{mm^2}\right]$	δL_{As} [%]	S_{Vs} $\left[\frac{mm^2}{mm^3}\right]$	δS_{Vs} [%]	$V_{Vs} \cdot 10^2$ $\left[\frac{mm^3}{mm^3}\right]$	δV_{Vs} [%]	L_{Vs} [mm]	δL_{Vs} [%]	N_{Vs} $[mm^{-3}]$	δN_{Vs} [%]
a)	3,26	9,4	4,16	9,7	0,235	5,8	0,968	7,9	94190	9,1
b)	3,10	4,0	3,95	4,2	0,253	14,2	-	-	91190	11,9
c)	2,81	5,7	3,58	5,5	0,216	2,7	1,110	5,5	91940	11,2
d)	2,98	-	3,79	-	0,222	-	1,052	-	103600	-

Analizując zestawienie cech stereologicznych obliczonych dla kolejnych klas cięciw (tabl. 1), można stwierdzić bardzo dużą zgodność opisu cech wzorami (10÷14) oraz (20÷24), co jest świadectwem poprawnej aproksymacji cech przez te ostatnie. Jedynie w przypadku klas skrajnych - dla wtrąceń bardzo małych i bardzo dużych - obserwuje się istotne różnice. Jest to jednak zrozumiałe, gdyż klasy te są zawsze obarczone największym błędem pomiaru na QMT i z tego względu często odrzuca się je przy analizie metalograficznej. Potwierdzeniem właściwej aproksymacji cech stereologicznych (zarówno wypadkowych, jak i dla poszczególnych klas cięciw WN) jest konfrontacja cech wypadkowych (obliczonych trzema sposobami) z wartościami pomierzonymi bezpośrednio na QMT, tablica 2. Niewielkie różnice procentowe δ są tego wyrazem.

Uwagi powyższe zweryfikowano dodatkowo poddając analizie regresji liniowej relacje aproksymujące cechy stereologiczne wtrąceń z 25 wytopów staliwa L20G2. W przypadku rozkładu wielkości cech wynik aproksymacji według wzorów (20÷24) korelowano z pomiarem N_A na QMT i następnym obliczeniem cech na podstawie równań (10÷14). Przykładowe zestawienie takiego opracowania dla cięciwy $C = 4,93 \cdot 10^{-3}$mm ujęto w tablicy 3. Cechy stereologiczne wypadkowe aproksymowane wzorami (15÷19) korelowano z bezpośrednim ich pomiarem na QMT. Wyniki zestawiono w tablicy 4. W obu tablicach współczynniki korekcyjne oznaczają: B_1 - mnożnik wzoru aproksymacyjnego, B_0 - wyraz wolny. Przykładową interpretację równań (18) i (23) stanowią rysunki 1 oraz 2. Pozwalają one na określenie odległości między wtrąceniami przy znanych wartościach parametrów funkcji opisującej zbiór zanieczyszczeń $(U, Z, \overline{\ln C})$.

Rysunek 1 dotyczy wypadkowej "wolnej ścieżki" (L_{Vs}) w analizowanym zbiorze WN, natomiast rys. 2 określa odległość między wtrąceniami (L_V) o danej cięciwie C.

Tablica 3

Korelacja między opisem rozkładu cech (dla cięciwy $C=4,93\cdot10^{-3}$mm wg wzorów (20÷24) i pomiarem na QMT + (10÷14)

Cecha stereologiczna	Współczynniki korekcyjne wzorów (20÷24)		Współczyn. korelacji	Odchylenie standardowe
	B_1	B_o x1	R	S x1, x2
L_A $\left[\frac{mm}{mm^2}\right]$	0,852	- 0,015	0,944	0,063
S_V $\left[\frac{mm^2}{mm^3}\right]$	0,852	- 0,020	0,944	0,080
V_V $\left[\frac{mm^3}{mm^3}\right]$	0,852	$-2\cdot10^{-5}$	0,944	$7,7\cdot10^{-5}$
L_V [mm]	1,007	- 0,709	0,944	0,80
N_V $[mm^{-3}]$	0,852	- 148,1	0,944	600

x1 - wymiar B_o i S podano w jednostkach danej cechy

x2 - względny błąd oszacowania wynosi $\gamma_{0,05}$ = 5÷6%

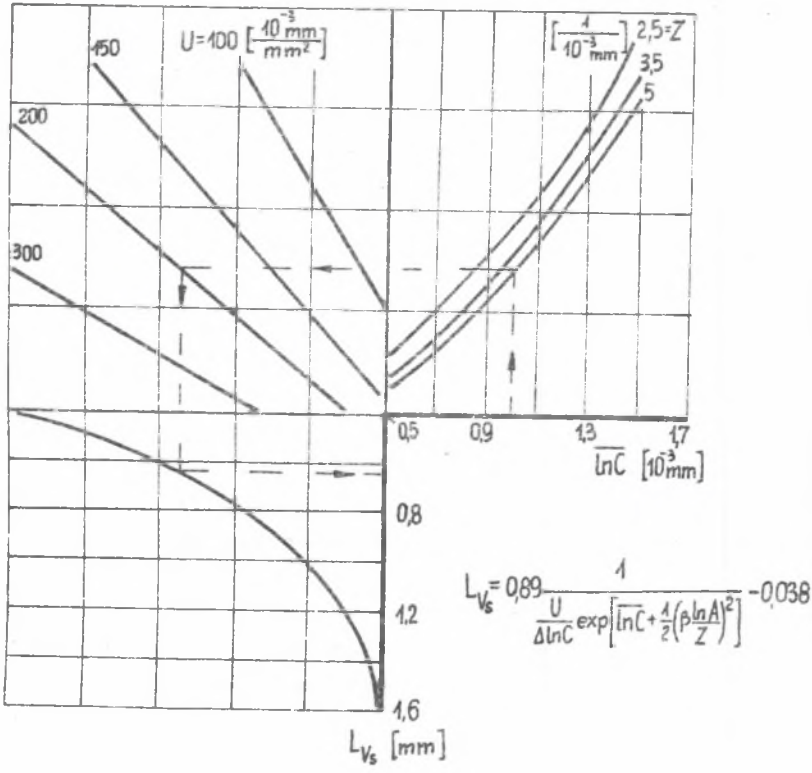
Tablica 4

Korelacja między aproksymacją wypadkowych cech stereologicznych wg wzorów (15÷19) oraz pomiarem cech na QMT 720

Cecha stereologiczna	Współczynniki korekcyjne wzorów (15÷19)		Współcz. korelacji	Odchylenie standardowe
	B_1	B_o x1	R	$S^{x1,x2}$
L_{Vs} $\left[\frac{mm}{mm^2}\right]$	1,11	0,157	0,941	0,288
S_{Vs} $\left[\frac{mm^2}{mm^3}\right]$	1,11	0,200	0,941	0,366
V_{Vs} $\left[\frac{mm^3}{mm^3}\right]$	1,00	$4,3\cdot10^{-4}$	0,931	$5,2\cdot10^{-4}$
L_{Vs} [mm]	0,89	- 0,038	0,912	0,113
N_{Vs} $[mm^{-3}]$	0,62	28655	0,906	8717

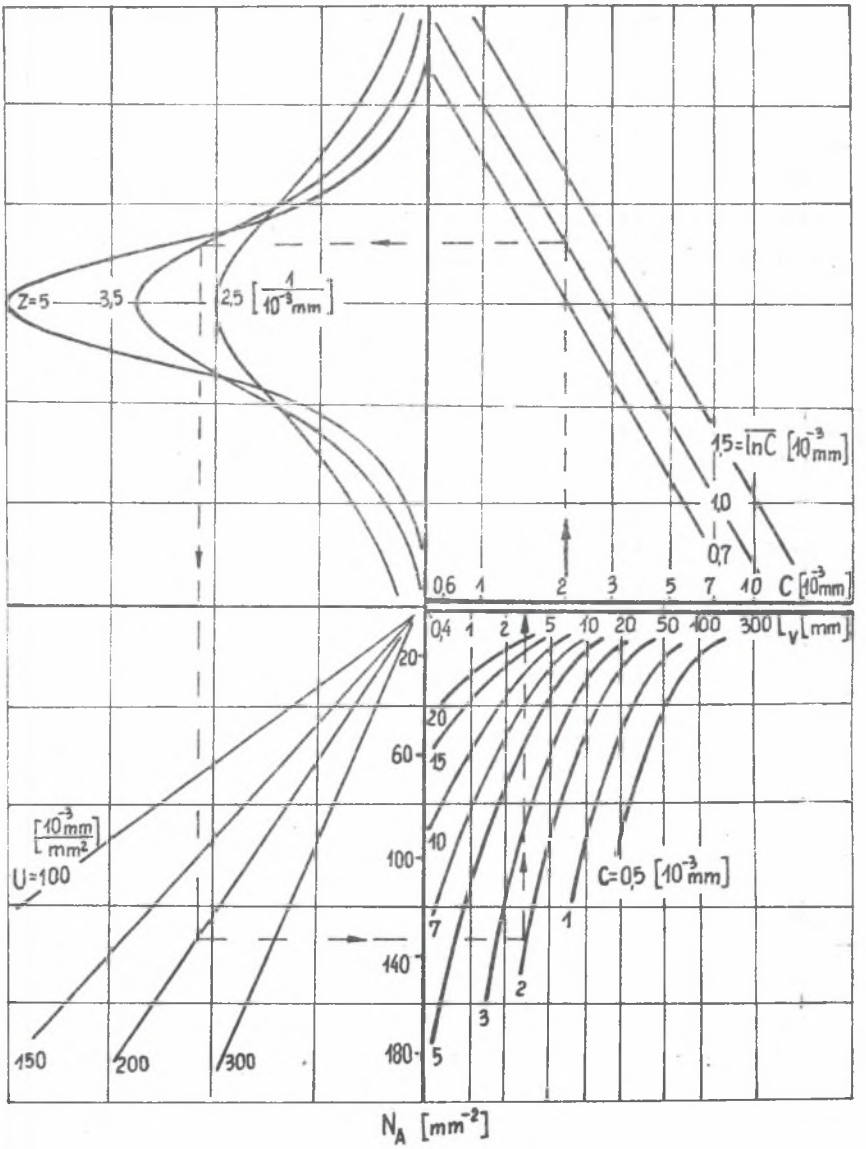
x1 - wymiar B_o i S podano w jednostkach danej cechy

x2 - względny błąd oszacowania wynosi $\gamma_{0,05}$ = 3,8÷8%.



Rys. 1 Ocena średniej odległości między wtrąceniami w ujęciu parametrów funkcji zbioru wtrąceń (według wzoru (18))

Fig. 1 Evaluation of the mean distance between inclusions in formulation of the function parameters of the inclusion set (according to the formula (18))



Rys. 2 Odległość między wtrąceniami o danej cięciwie C w ujęciu parametrów funkcji zbioru wtrąceń (według wzoru (23))

Fig. 2 Distance between the inclusions of the given chord C in formulation of the inclusion set function parameters (according to the formula (23))

WYKAZ OZNACZEŃ STOSOWANYCH W PRACY

C - cięciwa wtrąceń

$\overline{C}$ - średnia cięciwa badanego zbioru wtrąceń

$\ln C$ - wartość bieżąca zmiennej $X = \ln C$

$\overline{\ln C}$ - wartość średnia zmiennej $X = \ln C$

$\Delta \ln C$ - szerokość klas (cecha podziału zmiennej $X = \ln C$)

N_A - liczba wtrąceń o cięciwie C na powierzchni 1 mm^2

N_{As} - sumaryczna liczba wtrąceń na powierzchni 1 mm^2

U - wskaźnik sumarycznej liczby wtrąceń

Z - zróżnicowanie wielkości wtrąceń: ($U, Z, \overline{\ln C}$ - parametry funkcji opisującej zbiór wtrąceń)

L_A^* - obwód właściwy wtrąceń

S_v - powierzchnia właściwa wtrąceń

V_v - udział objętościowy fazy niemetalicznej

L_v - odległość między wtrąceniami

N_v - liczba wtrąceń w objętości 1 mm^3 stopu

* - W przypadku analizy wartości wypadkowej cech stereologicznych dla całego zbioru wtrąceń oznaczenia L_A ÷ N_v zawierają w pracy dodatkowy indeks "s". Oznaczenia bez tego indeksu dotyczą wartości danej cechy określanej dla wtrąceń o wielkości C.

4. Podsumowanie

Wyniki przedstawione w tablicy 1 i 2 oraz testy statystyczne w tablicach 3 i 4 wskazują na dużą zbieżność i dokładność aproksymacji cech stereologicznych z wartościami pomierzonymi. W związku z faktem, iż omawiane metody opisu cech obarczone są względnym błędem oszacowania (γ=3,8÷8%) nie większym niż błąd pomiaru realizowanego na QMT (z reguły γ_{QMT} = 10÷20%), dokładność tych metod można uznać za wystarczającą do aproksymowania charakterystyki zbioru wtrąceń.

Sytuacja ta jest jednocześnie wyrazem:

- właściwego opisu rozkładu powierzchniowego wielkości wtrąceń za pomocą funkcji aproksymacyjnej (6),
- prawidłowości opisu wielkości cech stereologicznych za pomocą parametrów funkcji zbioru wtrąceń, a jednocześnie świadczy o możliwości stosowania analizowanych wzorów (10÷24) w zagadnieniach wymagających podobnej interpretacji.

5. LITERATURA

[1] Ryś J.: Wstęp do metalografii ilościowej. Śląsk, Katowice 1970.

[2] Feller W.: Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa. PWN, Warszawa 1981.

[3] Cybo J.: Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej IPT US, 1984 (nie publikowane).

[4] Cybo J., Jura S.: Zmiana udarności staliwa w funkcji temperatury oraz charakterystyki zbioru wtrąceń. Inżynieria Materiałowa Nr 1, 1986.

[5] Standish N., Simpson I.: Determination of Size - Frequency Distributions of Nonmetallic Inclusions in As-Cast Metals. Metallography t. 10, Nr 4, 1977.

АППРОКСИМАЦИЯ СТЕРЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЛИТОЙ СТАЛИ

Р е з ю м е

Учитывая то, что в ряду литературных данных оперируют аппроксимацией функции Гаусса по отношению к распределению величины неметаллических включений, в настоящей работе используются параметры одной из тех функций для аналитического описания стереологических свойств загрязнений в литой стали. Эти свойства представлены во взаимноисключающем выражении количества и величины НВ, а также в функции таких параметров, как показатель суммарного числа включений, их логарифмическая средняя хорды и дифференцирование величины загрязнений. Перечисленные параметры рекомендуется определять численно для анализированного разложения неметаллических включений. Представленные реляции дают возможность определить стереологические черты, как для отдельных классов величины НВ, так и результирующей величины свойств для всего множества загрязнений. Теоретические определения были дополнены статистической верификацей рассчётов, основанной на измерении стереологических свойств при помощи устройства КВАНТИМЕНТ 720. Она показала соответствующую точность и достоверность аппроксимации свойств представленным в работе

методом, подтверждая возможность такого описания количественной характеристики неметаллических включений в литой стали.

APROXIMATION OF STEREOLOGICAL FEATURES OF NON-METALLC IN CAST STEEL

S u m m a r y

Taking into account that in a number of data appearing in professional literature an approximation of Gauss function in used in relation to the non-metallic quantities distribution, the parameters of the one of these functions have been applied to an analytic description of the steorological features of impurities in cast steel. These features have been stated in an alternative formulation of the quanity and magnitude of WN and as a function of such parameters as: the index of the total number of the inclusions, their mean logarithmic chord and diversification of the impurities magnitude.
It is recommended to determine the above mentioned parameters numerically for the analysed distribution of the non-metallic inclusions.
The relations that have been given allow to determine the stereological features both for the particular classes of the WN magnitude and for the resultant value of the features for the whole set of impurities.
The theoretical conclusions have been supplemented by statistical verification of the calculations based on the stereological feature measurements by means of the Quantimet 720 apparatus. It has proved suitable accuracy and reliability of the feature approximation in the way mentioned in the paper confirming possibility of such a description of the quantitative characteristic of the non-metallic inclusions in cast steel.