Seria: Hutnictwo z. 11

Nr kol. 518

Jan CWAJNA, Marek HETMANCZYK Adolf MACIEJNY

Instytut Inżynierii Materiałowej

OCENA PRZYDATNOŚCI METOD METALOGRAFII ILOŚCIOWEJ STOSOWANYCH W BADANIACH PARAMETRÓW ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO WEGLIKÓW W STALACH SZYBKOTNĄCYCH

<u>Streszczenie</u>. W pracy dokonano oceny trzech metod stosowanych do wyznaczania parametrów rozkładu przestrzennego węglików w stalach szybkotnących: metody siecznych przypadkowych w przestrzeni, metody "zliczeń" i metody par siecznych równoległych. Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że optymalną z punktu widzenia dokładności wyników i pracochłonności pomiarów jest metoda siecznych przypadkowych w przestrzeni. Dla jednoznacznej ilościowej charakterystyki fazy węglikowej w stalach szybkotnących zaproponowano wprowadzenie dwóch wskaźników: sfercidyzacji i koalescencji węglików.

1. Wprowadzenie

Powszechnie używane w metalografii porównawcze metody badania fazy węglikowej umożliwiają szybką, jednakże obarczoną dużym błędem,ocenę segregacji węglików. Metody te nie pozwalają także na określenie zawartości węglików w stali i podstawowych parametrów ich rozkładu przestrzennego [1]. Procentowy udział wagowy węglików w stali można określić metodą izolacji elektrochemicznej. Jest to jednak metoda skomplikowana i pracochłonna,nie dająca mimo to wszystkich potrzebnych informacji o fazie węglikowej. Dokładną charakterystykę wielkości, kształtu i rozmieszczenia węglików w stalach umożliwiają metody statystyczne, pozwalające oszacować parametry bu-. dowy przestrzennej stopów za pomocą pomiarów i zliczeń wykonywanych na

- zgładach metalograficznych. Podstawowymi parametrami charakteryzującymi strukturę stali szybkotnącej w płaskim i przestrzennym układzie, wyznaczonymi metodami metalografii ilościowej są:
- ilość węglików przypadająca na 1 mm² zgładu "n" [mm⁻²], wyznaczana najcześciej metodą Jeffrisa z poprawką Sołtykowa [2],
- objętość względna węglików "V_v" określana metodą planimetryczną [2,3,4], metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni [1, 2, 3, 4] lub metodą punktową [2, 3, 4],
- powierzchnia właściwa granic węglików S_v wyznaczana najczęściej metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni [1],

liczba względna węglików - ilość węglików w jednostce objętości N_v [mm⁻³] wyznaczana metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni z formuły Spectora [1], metodą "zliczeń" ze wzoru Sołtykowa [2, 6] lub metodą par siecznych równoległych [7].

Znając wartości n, V_v, S_v i N_v, moźna wyznaczyć pozostałe parametry rozkładu przestrzennego węglików [11]:

- długość właściwą granic węglików (granic międzyfazowych) ze wzoru [2]:

$$L_{a} = \frac{\pi}{4} S_{v} \left[\frac{mm}{mm^{2}} \right]$$
(1)

- średnią krzywiznę powierzchni węglików H wg wzoru [2, 5]:

$$\overline{H} = \pi^2 \frac{n}{2L_a} = \frac{2\pi_n}{S_v} \left[mm^{-1} \right]$$
(2)

- dyspersję krzywizny powierzchni D(H) ze wzoru [5]:

$$D(H) = \frac{4\pi N_{v}}{S_{v}} - H^{-2} [mm^{-2}]$$
(3)

- średnią średnicę węglików D z uogólnionego równania Mirkina [2]:

$$\overline{D} = \frac{n}{N_{\rm V}} \quad [mm] \tag{4}$$

- odchylenie standardowe średnie 6_D z równania [2]:

$$5_{\overline{D}} = \sqrt{\frac{S_{v}}{N_{v}} - D^{-2}} \quad [mm]$$
 (5)

- parametry rozkładu logarytmo-normalnego wielkości węglików ze wzorów [2]:

$$G_{lnD}^{2} = \ln \left[1 + \left(\frac{\overline{G}}{\overline{D}} \right)^{2} \right]$$
(6)

$$\overline{\ln D} = \ln \overline{D} - \frac{1}{2} \quad 6 \quad \frac{2}{\ln D} \tag{7}$$

- liczebność kul N, w i-tej klasie średnic wg wzoru [2]:

$$N_{i} = \frac{N \cdot \Delta}{D_{i} G_{1nD} \sqrt{2\pi}} exp - \frac{(lnD - lnD_{i})^{2}}{2 \cdot G^{2}}$$
(8)

gdzie:

Δ - szerokość klasy średnic (cecha podziału), mm,

D, - średnica węglików i-tej grupy, mm.

W warunkach przemysłowych zachodzi często konieczność precyzyjnego określenia różnic struktury w kilku gatunkach stali lub w jednej stali poddanej różnym zabiegom technologicznym. Obecnie brak jest jednoznacznych kryteriów ilościowych pozwalających na przeprowadzenie takiej oceny. W przypadku porównywania fazy węglikowej pomocne mogą być dwa wskaźniki, charakteryzujące zróżnicowanie kształtu i wielkości węglików: - wskaźnik koalescencji

$$R_{\rm D} = \frac{\underline{6} \, \underline{D}}{\overline{D}} \cdot 100\% \tag{9}$$

- wskaźnik sferoidyzacji węglików:

$$R_{\overline{H}} = \frac{\sqrt{D(H)}}{\overline{H}} \cdot 100\%$$
 (10)

Znajomość wskaźnika R_H pozwala ocenić przebieg procesu sferoidyzacji; im mniejsza jest jego wartość, tym pełniejsza jest sferoidyzacja węglików. Wskaźnik R_D określa natomiast przebieg procesu koalescencji węglików. Im jego wartość jest mniejsza, tym mniejsze jest zróżnicowanie wielkości węglików w materiale. Wskaźnik R_D i R_H łącznie określają przebieg procesu koagulacji węglików.

Wyznaczenie parametrów rozkładu przestrzennego węglików wymaga wykonania szeregu pracochłonnych pomiarów i obliczeń. Stąd w ostatnim okresie obserwuje się szybki rozwój aparatów i urządzeń ułatwiających pomiary, rejestrację i obliczanie odpowiednich danych. Ich konstrukcja i zasady działania przedstawione zostały w obszernej monografii Fischmeistera [8] i innych publikacjach [3, 4, 9, 10, 11, 12]. Spośród tych urządzeń największe możliwości badawcze posiadają telewizyjne analizatory metalograficzne typu Quantimet 720 [3], Micro-Videomat [12], Quasimat [4] i QMS [4], ale i one mają pewne braki, np. szczególne wymagania odnośnie wielkości, kształtu i sposobu przygotowania próbek, jak również ograniczenia związane ze zdolnością rozdzielczą mikroskopu [13]. Uzasadnia to celowość dalszych prac nad doskonaleniem klasycznych metod obliczeń.

W dotychczasowych badaniach parametrów rozkładu przestrzennego węglików w stalach szybkotnących stosowano szereg różnych metod metalografii ilościowej, co utrudnia porównywanie wyników poszczególnych prac i może być przyczyną rozbieżności w ocenie wpływu parametrów fazy węglikowej na własności użytkowe narzędzi [1, 2, 3, 5, 6, 10].

W chwili obecnej zarówno producenci jak i użytkownicy stali szybkotnących są żywotnie zainteresowani udoskonaleniem stosowanego dotychczas powszechnie opisu jakościowego struktury oraz wprowadzeniem do przemysza procyzyjnych metod ilościowej oceny struktury.

2. Badania własne

2.1. Cel 1 zakres badań

W pracy podjęto próbę szczegółowej oceny metod metalografii ilościowej stosowanych do określania parametrów rozkładu przestrzennego węglików w stalach szybkotnących i wytypowania optymalnej metody z punktu widzenia precyzji pomiarów oraz pracochłonności badań.

Analizie poddano trzy metody: metodę siecznych przypadkowych w przestrzeni [1, 2], metodę "zliczeń" [2, 6] i metodę par siecznych równoległych [7, 13].

2.2. Materiał do badań

Badania przeprowadzono na sześciu stalach szybkotnących typu 6 - 5 - 2 dostarczonych w stanie zmiękczonym przez różnych producentów krajowych i zagranicznych. Oznaczenie tych stali, producentów, kształt i wymiary próbek przedstawiono w tablicy 1. W stanie dostawy badane stale nie wykazywa-

Tablica 1

Numer stali	Gatunek stali (oznaczenie obowiązujące w kraju pro- ducenta)	Producent → kraj	Numer wytopu	Kształt i wymiary próbek
1	s 6-5-2	RFN	20986	pręty Ø 10,5
2	D - Ma 5	Szwecja	7 13 09	pręty Ø 10,5
3	SW7M	H.BAILDON Polska	BHH - 2804 3 0	pręty Ø 7,0
4	S 6-5-2	Austria	15625	pręty Ø 9,5
5	SW7M	H.BAILDON Polska	BHH - 220976	pręty Ø 10,0
6	S 6-5-2	Francja	3990	pręty Ø 5,5

Materiał do badań

ły segregacji węglików, posiadając strukturę składającą się ze skoagulowanych węglików MC, M₆C i M₂₃C₆ o zmiennej wielkości rozmieszczonych w osnowie ferrytycznej (rys. 1÷6) [13].

Ocenę parametrów rozkładu przestrzennego węglików przeprowadzono na próbkach przygotowanych zgodnie z metodyką przedstawioną w pracy [1] - polegającą na hartowaniu stali z temperatury 1080°C w celu rozpuszczenia w osnowie w czasie austenityzowania bardzo drobnych węglików typu $M_{23}C_6$ (rys. 7-12), które trudno byłoby precyzyjnie zliczyć bądź zmierzyć na mikrofotografiach wykonanych na mikroskopie świetlnym.



Rys. 1. Struktura stali nr 1 (RFN) w stanie dostawy. Węgliki o zróźniccwanym kształcie i wielkości w osnowie ferrytycznej. Trawiono nitalem. Powiększenie 700x



Rys. 2. Struktura stali nr 2 (Szwecja) w stanie dostawy. Węgliki c zbliżonej wielkości, miejscami tworzące skupiska, w osnowie ferrytycznej. Trowiono nitalem. Powiększenie 700x



Rys. 3. Struktura stali nr 3 (Baildon) w stanic dostawy. Widoczne duże węgliki o rozwiniętej powierzchni oraz skupiska drobnych węglików w osnowie ferrytycznej. Trawiono nitalem. Powiększenie 700x



Rys. 4. Struktura stali nr 4 (Austria) w stanie dostawy. Widoczne duże węgliki o regularnych kształtach tworzące miejscami szeregowe układy, w osnowie ferrytycznej. Trawiono nitalem. Powiększenie 700 x



Rys. 5. Struktura stali nr 5 (Baildon) w stanie dostawy.Widoczne duże węgliki o nieregularnych kształtach oraz skupiska drobnych węglików w osnowie ferrytycznej. Trawiono nitalem. Powiększenie 700x



Rys. 6. Struktura stali nr 6 (Francja) w stanie dostawy. Węgliki o nieregularnych kształtach i zróżnicowanej wielkości w osnowie ferrytycznej.Trawiono nitalem. Powiększenie 700x

Struktury badanych stali po hartowaniu: 1080⁰C/90 sekund (przykłady mikro-fotografii wykorzystanych w badaniach parametrów rozkładu przestrzennego węglików)





STAL 1

1850x

1850x

Rys. 7

Rys. 8



STAL 3

1850x

1850x

STAL 4

STAL 2

1850x

Rys. 11

STAL 5



Rys. 10

STAL 6

1850x

Rys. 12





2.3. Metodyka badań

Pomiary do obliczeń parametrów rozkładu przestrzennego węglików przeprowadzono na mikrofotografiach wykonanych w polu jasnym na mikroskopie MeF-2 REICHERT przy powiększeniu mikroskopowym 650x. Odbitki fotograficzne wykonano na formatach 9x12 (powiększenie całkowite 1850x) oraz 12x18 (powiększenie całkowite 3000x). Obliczenia parametrów rozkładu przestrzennego węglików wykonano przy pomocy kalkulatora elektronicznego HEWLETT-PACKARD HP 9810 A. Klucz kodowy i mnemoniczny kalkulatora, programy obliczeń dla każdej metody oraz program służący do wykreślania krzywej rozkładu średnic węglików przedstawione zostały w pracy [13]. Modele matematyczne stosowanych metod, sposób prowadzenia pomiarów i obliczeń zostały szczegółowo wyjaśnione w przytoczonych pozycjach literatury dotyczącej przedmiotu badań.

2.4. Wyniki badań

2.4.1. Wyniki obliczeń parametrów roz= kładu przestrzennego węglików metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni

Pomiary przeprowadzono na mikrofotografiach o powiększeniu całkowitym 3000x jako, że na mikrofotografiach o powiększeniu 1850x występowała duża ilość drobnych węglików, na których trudno było zmierzyć precyzyjnie cięciwy. Dla wszystkich stali mierzono lupą pomiarową cięciwy odcięte przez węgliki na siecznej o łącznej długości 2,1 mm. Zestawienie tabelaryczne obliczonych parametrów fazy węglikowej badanych stali zamieszczono w tablicy 2. Krzywe rozkładu średnic węglików pokazano na rys. 13.

Tablica 2

Numery stali	1	2	3	4	5	6
	2	3	4	2	D	/
Il. węglików/1mm ² n = N _i D _i [mm ⁻²]	370584	548 1 59	884969	471012	504006	488091
Objętość względna ∛ _v [%]	28,3	30,3	35,1	20,5	30,1	24,2
Powierzchnia właści- wa S _v [mm ⁻¹]	1133,3	1563,8	2154,2	1026,7	1530,2	1132,3
Długość właściwa granic węglików L _a [mm ⁻¹]	890,1	1228,2	1691,9	806,3	1192,3	882,6

Zestawienie parametrów fazy węglikowej badanych stali wyznaczonych metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni

cd.	tablicy	2
-----	---------	---

î	2	3	4	5	6	7
Śrecnia krzywizna po- wierzebni węglików Ē [mm ⁻¹]	2,1	2,2	2,6	2,9	2,1	2,7
Dyspersja krzywizny powierzchni (D/H) (D(H) [μm ⁻¹]	2,6 1,6	1,2 1,1	2,1 1,4	1,6 1,3	1,2 1,12	3,7 1,9
Względny współ. krzy- wizny powierzchni $R_{\rm H} = \frac{\overline{D(H)}}{\overline{H}}$ [%]	77,8	49,7	56,0	44,5	53,8	70,7
llość węglików/1 mm ³ N _v [mm ⁻³]	611,1. • 10 ⁶	753,0. • 10 ⁶	1500,5. • 10 ⁶	1058,6. • 10 ⁶	676,6. • 10 ⁶	998,6. • 10 ⁶
Średnia średnica węglików υ [μm]	0,61	0,73	0,60	0,14	0,74	0,49
Odchylenie standard⊙we średnie Gp [µm]	0,47	0,36	0,33	0,33	0,40	0,34
Względny współcz. zmienności średnic $R_{\rm D} = \frac{G_{\rm D}}{D}$ [%]	77,8	49,7	56,0	74,8	53,6	70,7
Parametry rozkła-2 du logarytmo- ^G lnD	0,47	0,21	0,27	0,44	0,25	0,40
kości węglików InD	- 0,74	-0,43	-0,66	-0,03	-0,42	~0,92



33

Rys. 13

2.4.2. Wyniki obliczeń parametrów rozkładu przestrzennego węglików metodą "zliczeń"

Pomiary i zliczenia wykonano na tych samych co w poprzedniej metodzie mikrofotografiach przy powiększeniu 1850x i 3000x.

Parametry fazy węglikowej wyznaczone metodą "zliczeń" na mikrofotografiach o powiększeniu 3000x ujęto w tablicy 3.

Tablica 3

Zestawienie parametrów fazy węglikowej badanych stali wyznaczonych metodą "zliczeń" na mikrofotografiach przy powiększeniu 3000x

Numery stali	1	2	3	4	5	6
Il. weglików 1 mm ² $n = \sum N_i D_i [mm^{-2}]$	370031	527763	870 13 0	468504	497308	481320
Objętość względna V _v [%]	28,2	29,5	34,9	21,2	29,7	24,0
Powierzchnia właści- wa S _v [mm ⁻¹]	1133,3	1552,4	2154,3	1026,7	1535,3	123,8
Długość właściwa granic węglików L _a [mm ⁻¹]	890,1	1219,2	1691,9	806,3	1205,8	882,6
Średnia krzywizny pow. węglików Ħ [um ⁻¹]	2,1	2,4	2,5	2,9	2,0	2,7
Dyspersja krzywizna powierzchni D(H) VD(H) [µm ⁻¹]	2,2 1,5	1,8 1,3	1,5 1,2	6,3 2,5	0,7 0,9	5,2 2,3
Względny współ.krzy- wizny powierzchni $R_{\rm H} = \frac{\sqrt{D({\rm H})}}{{\rm H}} [\%]$	72,9	57,9	48,2	87,9	42,4	85,1
Il. węglików/1mm ³ N _v [mm ⁻³]	581,7. • 10 ⁶	902 ,1. • 10 ⁶	1381.0. • 10 ⁰	1190,8. • 10 ⁶	596,9. 10 ⁶	1116,0. • 10 ⁶
Średnia średnica węglik. D [μm]	0,64	0,69	0,64	0,39	0,70	0,43
Odchyl.standardowe śred. D [µm]	0,46	0,37	0,33	0,35	0,35	0,37
Względny współczyn- nik zmienności średnic <u>B. = ⁶D</u> [%]	74,1	57,9	48,2	87,9	42,4	85,1

cd. tablicy 3

Numery stali		1	2	3	4	5	6
Parametry roz- kładów logary-	⁶² lnD	0,43	0,29	0,21	0,57	0,16	0,54
tmo-normalnego wielkości węg- lików	lnD	-0,67	-0,59	-0,55	-0,22	- ∂ , 26	-1,11



Rys. 14

Tablica 4

Numery stali	1	2	3	4	5	6
llość węglików/1mm ² n = $\sum N_i D_i [mm^2]$	282041	414518	487204	332 258	450430	437634
°bjętość względna V [%]	32,0	35,0	47,9	29,5	41,7	31,2
Powierzchnia właści- wa S _v [mm ⁻¹]	1116,7	1356,7	1960,0	960,0	1 646,6	1 313 , 3

Zestewienie parametrów fazy węglikowej badanych stali wyznaczonych metoją "zliczeń" na mikrofotografiach przy powiększeniu 1850x

cd.	te	зЪ1	ŕ	27	4

Numery stali	1	2	3	4	5	6
Długość właściwa granic węglików L _a [mm ⁻¹]	877,0	1065,5	1539,4	753,9	1293	1031,5
Średnia krzywiz- na powierzchni węglików Ħ [μm ⁻¹]	1,59	1,92	1,56	2,17	1,72	2,09
Dyspersja krzywizny powierzchni D(H) $\sqrt{D(H)}$ [μ m ⁻¹]	0,92 0,96	1,79 1,31	0,35 0,59	4,77 2,18	0,50 0,95	2,15 1,47
Względny współ krzywizny po- wierzchni $R = \frac{D(H)}{H}$ [%]	60,4	69,7	38,1	100,4	55,4	70,0
Il. węglików/1mm ³ N _v [mm ⁻³]	305,3. • 10 ⁶	591,2. • 10 ⁶	435,7• • 10 ⁶	723,5. 10 ⁶	505,8. • 10 ⁶	682,7. • 10 ⁶
Średnia średnica węglików D [μm]	0,92	0,76	1,12	0,40	0,89	0,64
Odchylenia standar- dowe średnie ^G D [μm]	0,56	0,49	0,42	0,46	0,49	0,45
Względny współczyn- nik zmienności średnic $R_{\rm D} = -\frac{6_{\rm D}}{-1}$ [%]	60,8	69,7	38,8	100,4	54,2	70 ,1
Parametry roz- kładu logaryt- InD	0,31	0,39	0,14	0,68	0,27	0,39
wielkości węg- lików	-0,23	-0,55	-0,04	-1,13	-0,25	-0,64

Krzywe rozkładu średnic węglików przedstawiono na rys. 14. Stwierdzono,że parametry fazy węglikowej uzyskane tą metodą nieznacznie różnią się od parametrów wyznaczonych metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni(tablica 2 i rys. 13). Zestawienie parametrów fazy węglikowej, obliczonych na podstawie pomiarów wykonanych na mikrofotografiach o powiększeniu 1850x, zamieszczono w tablicy 4. Krzywe rozkładu średnic węglików pokazano na rys. 15.

Stwierdzono, że obliczone przy stosowaniu tej metody badawczej parametry fazy węglikowej różnią się znacznie od wyników uzyskanych przy powiększeniu mikrofotografii 3000x.



Rys. 15

2.4.3. Wyniki pomiarów rozkładu przestrzennego węglików metodą par siecznych równoległych

Pomiary wykonano na tych samych mikrofotografiach co w metodzie siecznych przypadkowych w przestrzeni.

Wyznaczone metodą par siecznych równoległych parametry fazy węglikowej wszystkich badanych stali zdecydowanie różniły się od wyznaczonych pozostałymi metodami. Przykładem są parametry fazy węglikowej stali nr 4 ujęte w tablicy 5. Zostały one obliczone na podstawie wyników pomiarów ilości węglików przecinanych przez pary siecznych równoległych w odległości $d = 0, d = 0,667 \times 10^{-3}$ mm, 2d 8d

Tablica 5

Zestawienie parametrów fazy węglikowej stali nr 4 obliczonych metodą par siecznych równoległych

Ilość węg- lików na 1 mm ² zgładu n	Obj. wzgl. V _v	Powierzch- nia właś- ciwa S _v	Dług. właści- wa gra- nic węg- lików L	Il. weg- lików na 1mm ³ N _v	Średn. średni ca węg lików D	Odchyle- nie stan dard. średn. ^G D	Względny współcz. zmien- ności średnic R _D = D
[mm ⁻²]	[%]	[_mm-1]	[1]	[mm=3]	[µm]	[µm]	[%]
240942,5	78,0	1440,4	1130,8	218,54 • • 10 ⁶	1,10	0,94	85

2.1. Analiza wyników

Ocene wyników badań parametrów rozkładu przestrzennego fazy weglikowej uzyskanych metodami: siecznych przypadkowych w przestrzeni, "zliczeń" przy powiekszeniu 3000x i 1850x oraz par siecznych równoległych przeprowadzono w oparciu o test "t" Studenta [14] dla średnich średnic węglików. Porównanie wyników uzyskanych za pomocą metody siecznych przypadkowych 15 przestrzeni i metoda "zliczeń" przy powiększeniu mikrofotografii 3000x (tablica 6) nie wykazało istotnych różnic między średnimi średnicami węglików wyznaczonymi tymi metodami. Wartości t_{obl.} były dla wezystkich stali mniejsze od wartości $t_{cr} = 0.001$ podanych w tablicy 6 14. Również pozostałe parametry fazy weglikowej wyznaczone omawianymi metodami były do siebie bardzo zbliżone (tablice 2 i 3). Można więc stwierdzić, że dyskutowane metody prowadzą do uzyskania nie różniących się istotnie wyników i mogą być traktowane jako zmienne. Błąd systematyczny metody siecznych przypadkowych w przestrzeni, ze względu na wykonywanie jedynie pomiaru długości cięciw, powinien być mniejszy od błędu popełnionego w metodzie "zliczeń", w której dokonuje się zliczenia trzema różnymi metodami i mierzy powierzchnie analizowanego zgładu metalograficznego. Ze wzorów Sołtykowa i Mirkina 2 wynika, że minimalne błędy popełnione przy wyznaczeniu n, Sv i V. mogą spowodować bardzo dużą niedokładność określenia pozostałych parametrów fazy węglikowej.

Tablica 6

Wyniki testu "t" dla średniej średnicy węglików obliczonej metodami: a) siecznych przypadkowych w przestrzeni; b) "zliczeń" przy powiększeniu mikrofotografii 3000x

Nr sta- li	Me- to- da	Średnia średnica węglików D̄ [μm]	Odchylenia standar- dowe średnie ^G D [μm]	II. pomia- rów (śred- nia il. przecięć na 1 mm dług.sie- cznej) n	tobl.	tos≖0,001	Różnica między średnicami węgli- ków określonych metodami a i b
1	ea b	0,6361 0,6064	0,4642 0,4718	588.33 588,33	1,10 1,10	3,291	nieistotna
2	a b	0.7279	0,3621 0,3621	776.19	2,03	3,291	nieistotna
3	a b	0,5897 0,6393	0.3304 0,3284	1077.14 1077,14	2,49	3,291	nieistotna
4	a b	0.4449 0,3934	0,3327 0,3459	513.33 513,33	2,45	3,291	nieistotna
5	a b	0,7449 0,8030	0,3971 0,3531	767,62 767,62	3,04	3,291	nieistotna
6	a b	0,4887 0,4310	0,3445	<u>561,90</u> 561,90	2,68	3,291	nieistotna

Porównanie średnich średnic węglików wyznaczonych metodą "zliczeń"przy powiększeniu mikrofotografii 3000x i 1850x przy powocy testu "t" pozwoliko stwierdzić występowanie istotnych różnic między nimi (tablica 7), a także dużych różnic między pozostałymi parametrami (tabl. 3 i 4). Bóżnice te spowodowane zostały głównie trudnością dokładnego zliczenia dużej ilości drobnych węglików przy powiększeniu mikrofotografii 1850x. Prowadzi to do wniosku, że w stalach szybkotnących metoda "zliczeń" daje dobre wyniki przy dużych powiększeniach mikrofotografii, przekraczających 3000x.

Toblica 7

Wyniki testu "t" dla średniej średnicy węglików wyznaczonej motodą "zliczeń":

Nr sta- li	Me- to- da	Średnia średni- ca węg- lików D [µm]	Odchyle- nie stan- dardowe średnie GD [µm]	Ilość po- miarów(śred- nia ilośó przecięć na 1 mm dług. siecznej)	t _{obl} .	tor=0,001	Różnice między średnicami węg- lików określ. metodami a i b
1	a b	0,6361 0,9176	0,4642 0,5576	583.33 587,62	9,38	3,291	istotna
2	a b	0,6905 0,7611	0,3709 0,4887	776,19 678,33	3,06	3,291	nieistotna
3	a b	0.6393 1,1183	0.3284 0,4259	1077,14 980,00	29,94	3,291	istotna
4	a b	0.3934 0,4580	0,3459 0,4598	513,33 480,00	2,48	3,291	nieistotna
5	a b	0.7030 0,7909	0.3531 0,4930	767.62 823,33	4,18	3,291	istotna
6	a b	0.4310 0.6410	0.3668 0,4488	561,90 656,66	8,94	3,291	istotna

a) przy powiększeniu mikrofotografii 3000x;
b) przy powiększeniu mikrofotografii 1850x

Istotne różnice pomiędzy średnimi średnicami węglików stwierdzono przy porównaniu wyników uzyskanych metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni i metodą par siecznych równoległych (tablice 8, 2, 5). Obliczona wartość "t" dla średnich średnic węglików była czterokrotnie większa od tw=0.001 odczytanego z tablicy 6 [14]. Wydaje się, że mała dokładność metody siecznych przypadkowych w przestrzeni wynika już z niezbyt precyzyjnego jej modelu matematycznego zaproponowanego przez Duwaljana [7], szczególnie w odniesieniu do obliczeń współczynnika "C₁". W obecnej formie metodą par siecznych równoległych jest mało przydatna do oceny parametrów rozkładu przestrzennego węglików w stalach szybkotnących.

Przedstawione w pracy metody metalografii ilościowej są bardzo czasoi pracochłonne. Wynika to głównie z konieczności wykonywania szeregu żmudnych i dość skomplikowanych obliczeń. Znaczne zwiększenie dokładności

tych obliczeń, ich skrócenie i uproszczenie uzyskano dzięki zastosowaniu kalkulatora elektronicznego HEWLETT-PACKARD. Programy obliczeń wykorzystane w niniejszej pracy mogą być zastosowane do opracowania wyników pomiarów rozkładu przestrzennego cząstek sferoidalnych stopów metali i materiałów kompozytowych.

Tablica 8

Wyniki testu "t" dla średniej średnicy węglików stali nr 4 wyznaczonej metodami:

a) siecznych przypadkowych w przestrzeni; b) par siecznych równoległych

Nr sta- li	Me- to- da	Średnia śred- nica węglików Σ [μm]	Odchylenia standardowe średnie σ _D [μm]	Ilość pomia- rów n	tobl.	^t α=0,001	Uwagi
4	a	0,4449	0,3327	513,33	13,10	3,291	różnica istotna
	b	1,1825	0,9400	371,41			

3. Wnioski

40

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Metoda siecznych przypadkowych w przestrzeni jest optymalną metodą wyznaczania parametrów rozkładu przestrzennego węglików w stalach szybkotnących, zapewniającą wystarczającą dla praktyki przemysłowej dokładność wyników, przy pracochłonności nie większej niż w pozostałych metodach.

2. Metoda "zliczeń" daje wyniki nie różniące się istotnie od wyników uzyskiwanych metodą siecznych przypadkowych w przestrzeni jedynie przy wykonywaniu pomiarów na mikrofotografiach stali szybkotnących powiększonych powyżej 3000x.

3. Metoda par siecznych równoległych w swej dotychczasowej postaci jest mało przydatna do badań rozkładu przestrzennego węglików w stalach szybkotnących.

4. Przy porównywaniu fazy węglikowej stali szybkotnących proponuje się wykorzystanie wskaźników charakteryzujących kształt i wielkość cząstek:

wskaźnika sferoidyzacji

$$R_{\rm H} = \frac{10({\rm H})}{\bar{\rm H}} \cdot 100\%$$

 $R_{\rm D} = \frac{6_{\rm D}}{\overline{\rm D}} \cdot 100\%$

wskaźnika koalescencji

LITERATURA

- Ryś. J., Marchwica J., Szopa J.: Ilościowa ocena fazy węglikowej w stalach szybkotnących. Materiały Konferencji N-T Huty Baildon, Katowice, 1974.
- [2] Ryś J.: Wstęp do metalografii ilościowej. Wyd. "Śląsk" Katowice, 1970.
- [3] Weinberg F.: Pribory i mietody fiziczieskowo mietałłowiedienija, tłumaczenie z j. angielskiego. Jzd.-wo "Mir", Moskwa 1973.
- [4] Gifkins R.C.: Optical Microscopy od Metals. Sir Jsaac Pifman and Sons Ltd. Melbourne and London, 1970.
- [5] Sołtykow S.A., Duwaljan A.W.: Odcienka dispersii kriwizny granicznych powierchnostiej sfiericzieskich czastic. Zaw.Łab. nr 6, 1973.
- [6] Praca zbiorowa: Zbadanie skłonności stali szybkotnących do rozwoju ziarna w procesie hartowania w zależności od warunków nagrzewania do przeróbki plastycznej oraz "sposobu wyżarzania. Instytut Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, Katowice, 1974-1975.
- [7] Duwaljan A.W.: Opriedielenije kolicziestwa mikroczastic w objemie spława mietodom parnych siekuszczich. Zaw.Ław. nr 5, 1972.
- [8] Fischmeister H.F.: Prak. Metallog, 2 nr 6, 251, 1965.
- [9] Przybyłowicz K., Bolechała P.: Ilościowy rentgenowsko-metalograficzny analizator faz, Hutnik, nr 5, 1973.
- [10] Rose A., Mathesius H.A., Hougardy H.P.: Messung von Karbidmengen und Grössenverteilungen der Karbide in einigen Werkzeugstählen mit dem quantitativen Fernsehmikroskop. Archiw für das Eisenhüttenwesen 4, 1969.
- [11] Kriemniew Ł.Sk, Adamskij A.M.: Ustrojstwo dla opriedielienija objema faz w stali. Zaw.Łab. nr 2, 1072.
- [12] Grigoriew H.: Nowa aparatura do metalograficznych badań ilościowych. Metaloznawstwo i obróbka cieplna, nr 4, IMP, 1973.
- [13] Cwajna J.: Ocena metod metalografii ilościowej stosowanych w badaniach stali szybkotnących typu 6-5-2. Praca dyplomowa, I.I.M. Katowice, 1975.
- [14] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT Warszawa, 1973.

ОШЕНКА ПРИГОДНОСТИ МЕТОДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАРЕИДОВ В БЫСТОРЕЖУЩИХ СТАЛЯХ

Резютме

В работе сделано оценку трёх методов, использованных для определения параметров пространственного распределения карбидов в быстрорежущих сталях: метод случайных секущих в пространстве, метод "считывания" и метод парных секущих. На основании анализа полученных результатов установлено, что метод случайных секущих в пространстве оптимальный с точки зремия точности получаемых результатов и трудоёмкости измерений.

Для однозначной количественной характеристики карбидной фазы в быстрорежущих сталях предложено введение двух показателей сфероидизации и коалесценции карбидов. THE ESTIMATION OF THE UTILITY OF QUANTITATIVE METALLOGRAPHY METHODS USED IN THE INVESTIGATIONS OF SPATIAL DISTRIBUTION PARAMETERS OF CARBIDES IN HIGH-SPEED STEELS

Summary

In this paper, three methods used for determination of carbides distributions parameters in high-speed steels have been estimated: linear analysis, "counting" method and method of secants parallel couples.

On the basis of the analysis of the obtained results it has been found that the linear method is the optimal from the point of view of the accuracy of the results and work-consuming of the measurements.

Two new coefficients for precise characteristic of carbides phase in hing-speed steels: i.e. the coefficient of carbides spheroidization and coagulation, have been suggested.