ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: HUTNICTWO z. 21 Nr kol. 654

Jerzy GIEREK
Henryk WOŹNICA
Karol DZIEDZIC

Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska

WSTĘPNA IDENTYFIKACJA FAZ W STRUKTURZE ODLEWNICZYCH, ŻAROWYTRZYMAŁYCH STOPÓW NA OSNOWIE NIKLU

Streszczenie. W pracy przedstawiono podstawowe metody badań wielofazowej struktury stopów na osnowie niklu. Zestawiono najbardziej przydatne odczynniki dla ujawnienia faz w strukturze tych stopów. Przeprowadzono badania rozmieszczenia i morfologii, selektywnie ujawnionych faz węglikowych typu MC i fazy międzymetalicznej γ'- Ni_3 (Al, Ti) w strukturze stopów w stanie lanym. Wyniki analizy potwierdzono za pomocą badań mikrotwardości i mikroanalizy rentgenowskiej. Wskazano na przydatność stosowanych metod dla określenia ilościowych parametrów strukturalnych z powierzchni zgładów.

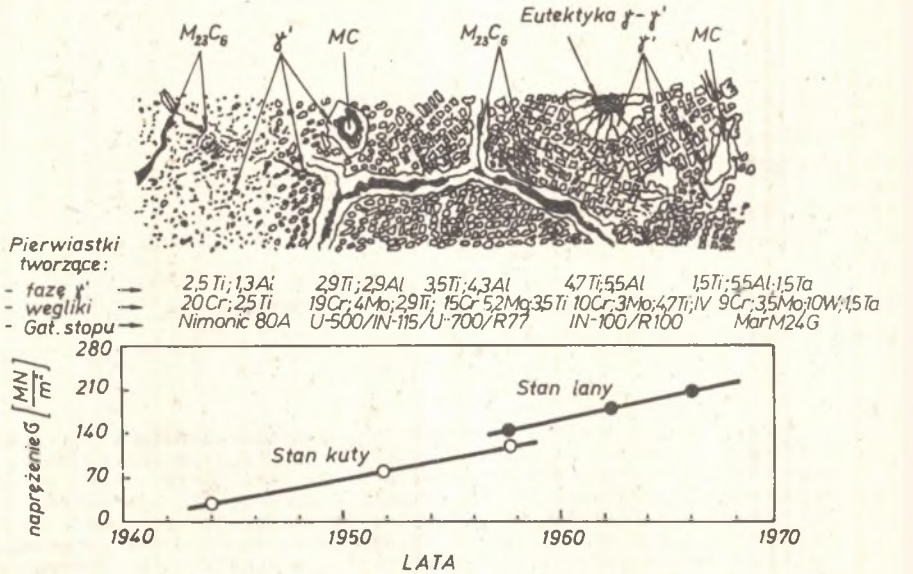
1. Wstęp

Współcześnie stosowane wieloskładnikowe stopy na osnowie niklu mogą pracować w temperaturach dochodzących do 1050°C [1]. Korzystne zespolenie wytrzymałości na pełzanie, odporności na zmęczenie cieplne i cieplno-mechaniczne, odporności na kruche pękanie oraz żaroodporności w zakresie temperatur pracy zadecydowało o szerokim rozpowszechnieniu tych tworzyw w ostatnim 30-leciu w lotnictwie, energetyce, chemii i przemyśle maszynowym.

Wysoka stabilność własności mechanicznych w zakresie temperatur pracy związana jest w głównej mierze z charakterystycznymi cechami struktury ukształtowanej w złożonym i ciągle doskonalonym procesie wytwarzania tych stopów. Poglądowy schemat ilustrujący zmiany struktury i wytrzymałości na pełzanie w okresie ich intensywnego rozwoju przedstawia rys. 1.

Podstawowymi fazami występującymi w strukturze współczesnych stopów odlewniczych są [2]:

- osnowa, tj. roztwór stały Cr, Co, Mo, W i innych dodatków w Ni,
- podstawowa faza umacniająca Ni_3 (Al, Ti, Nb),
- złożone węgliki typu MC, M_6C, $M_{23}C_6$,
- borki typu M_3B_2,
- inne fazy międzymetaliczne, np. σ, μ, χ lub Lavesa.



Rys. 1. Zmiany struktury i wytrzymałości na pełzanie stopów na osnowie niklu w latach 1940÷1970 [1]

Prognozowanie i ocena własności stopów o tak złożonym składzie fazowym stają się możliwe po uprzednim określeniu rodzaju, ilości (udziału objętościowego) morfologii i rozmieszczenia faz wpływających decydująco na umocnienie i osłabienie tych stopów. Wielofazowa budowa stopów powoduje, że selekcja poszczególnych faz dla celów badawczych jest niejednokrotnie bardzo utrudniona i wymaga stosowania skomplikowanych metod przygotowania i analizy strukturalnej próbek. Z drugiej strony, poszukiwanie i określenie przydatności stosunkowo prostych metod badawczych decyduje o efektywności badań tych stopów. Podstawowe metody badań struktury stopów na osnowie niklu ujmuje tablica 1.

Dla analizy składu fazowego tych stopów oraz identyfikacji składników strukturalnych duże znaczenie ma sposób trawienia powierzchni próbki po wypolerowaniu na podłożu z Al_2O_3, SiC lub z pastami diamentowymi. Preparatyka próbek stosowanych do obserwacji na mikroskopie świetlnym przy powiększeniu powyżej 1000 x oraz próbek stosowanych do wykonania replik wymaga szczególnie starannego przygotowania powierzchni na drodze polerowania, tak by otrzymany po następnym wytrawieniu relief powierzchni był powtarzalny i pozbawiony wszelkich zniekształceń warstwy przypowierzchniowej. Celowe jest stosowanie w tym przypadku kombinowanych metod przygotowania zgładów do obserwacji lub dalszej preparacji na drodze:

- polerowania mechanicznego,
- polerowania elektrolitycznego,
- trawienia chemicznego imersyjnego.

Tablica 1

Metody badań stopów na osnowie niklu [2]

Rodzaj badań	Metoda	Przygotowanie próbki	Otrzymywane informacje
1	2	3	4
Mikrostruktura "in situ"	mikroskop świetlny	polerowanie, trawienie	wielkość ziarna, kształt i rozmieszczenie większych cząstek
	mikroskop skaningowy	polerowanie, trawienie lub powierzchnia przełomu	morfologia i rozmieszczenie małych cząstek, topografia powierzchni
	TME	polerowanie, trawienie, repliki dwustopniowe	morfologia i rozmieszczenie małych cząstek
		wycinanie folii, ścienianie dwustronne	rozmieszczanie faz, pola odkształceń, uporządkowanie i wzajemne oddziaływanie defektów
Analiza fazowa "in situ"	mikroskop skaningowy ze spektrometrem energetycznym	polerowanie, trawienie lub powierzchnia przełomu	analiza jakościowa i półilościowa idenfyfikacja faz (pierwiastki cięższe od sodu)
	TME	wycinanie folii, ścienianie dwustronne	identyfikacja faz za pomocą mikrodyfrakcji i porównanie z danymi standardowymi
	MAR	polerowanie	analiza jakościowa i ilościowa (pierwiastki od B do U)
	spektroskop elektronowy Augera	łamanie w wysokiej próżni	segregacja i profile segregacji warstw atomów na granicach ziarn
Struktura krystaliczna i orientacja "in situ"	TME	wycinanie folii ścienianie dwustronne	struktura krystaliczna i orientacja za pomocą mikrodyfrakcji
	mikroskop skaningowy	polerowanie, trawienie lub powierzchnia przełomu	orientacja i doskonałość mikroobszarów określana za pomocą dyfrakcji elektronów odbitych (o średnicy 5 μm)
	dyfrakcja rentgenowska	polerowanie, trawienie	orientacja ziarn (o średnicy 0,1 mm)
		polerowanie elektrolityczne cienkich pręcików	precyzyjny parametr sieciowy metodą Debye-Scherrera

cd. tablicy 1

1	2	3	4
Analiza drogą izolacji faz	TME	repliki ekstrakcyjne	rozmieszczenie i identyfikacja wydzieleń za pomocą mikrodyfrakcji
	mikroskop skaningowy ze spektrometrem energetycznym	repliki ekstrakcyjne węglowe	analiza ilościowa i rozmieszczenie cząstek
	mikroanaliza i analiza rentgenowska	rozpuszczanie anodowe próbek litych i osadzanie rozpuszczonych faz (seperacja węglików fazy)	ilość faz, struktury krystaliczne i parametry sieciowe określane mikrodyfrakcją i dyfrakcją rtg. skład z analizy konwencjonalnej, mikroanalizy rtg. lub analizy spektralnej energetycznej
Mikrotwardość	mikroskop świetlny	wgniatanie penetratora	zmiany twardości faz, badania procesów zdrowienia
Segregacja B	autoradiograficzne	aktywowanie próbek polerowanych	jakościowa analiza rozmieszczenia boru

Zastosowanie takiej metodyki przygotowania zgładów dla stopu odlewniczego B1900 [3] pozwoliło uzyskać zadowalający relief dla faz występujących w osnowie. Przy polerowaniu mechanicznym na pastach diamentowych następuje wydatne zmniejszenie grubości warstewki Beilby'ego, zaś fazy węglikowe i borkowe przyjmują pewien wstępny relief. Następne polerowanie elektrolityczne w ciągu 5 s przy napięciu 25 V w roztworze zawierającym 6 ml HCl + 10 ml H_2SO_4 + 60 ml C_2H_5OH całkowicie eliminuje odkształconą warstewkę przypowierzchniową oraz zwiększa relief węglików i borków, nie doprowadzając jednocześnie do ujawnienia fazy γ'. Końcowe trawienie imersyjne w 20% roztworze odczynnika Marble'a, oddziaływając intensywniej na fazę γ' niż na osnowę γ daje w efekcie obserwacji plastyczny obraz struktury, w którym węgliki i borki występują nad powierzchnią osnowy γ, podczas gdy faza γ' ulegając wytrawieniu jest umiejscowiona poniżej osnowy γ.

Najczęściej stosowane rodzaje odczynników do trawienia elektrolitycznego i imersyjnego stopów zestawiono w tablicy 2.

W ostatnim okresie coraz większe zainteresowanie wzbudzają specjalne metody przygotowania zgładów do analizy - szczególnie ilościowej - składu fazowego. Interesujące rezultaty barwienia nalotowego wypolerowanych zgładów próbek stopu na osnowie niklu otrzymali autorzy pracy [11], którzy zastosowali do naniesienia warstewki tlenków specjalną komorę próżniową Leitza. W zależności od czasu powierzchniowego utleniania w atmosferze zjonizowanego tlenu uzyskuje się duże zróżnicowanie barw poszczególnych skła-

Tablica 2

Rodzaje odczynników stosowanych do trawienia elektrolitycznego i imersyjnego stopów

Nr odcz.	Skład odczynnika	Warunki trawienia	Sposób oddziaływania	Źródło
A. Odczynniki do trawienia elektrolitycznego				
A1	6 ml HF 8 ml HNO_3 30 ml gliceryny	napięcie 3 V gęstość prądu 0,20 A/cm^2 czas kilka do kilkadziesiąt sekund	ogólny- ujawnia fazę γ' i węgliki	[4]
A2	Murakami 10 g żelazocyjanek potasu 10 g wodorotlenek potasu 100 ml H_2O dest.	napięcie 2÷4 V, gęstość prądu 0,5 A/dcm^2 czas 5÷15 sek.	ujawnia węgliki, które ulegają zabarwieniu na kolor szary	[5]
A3	50% r-r HCl w wodzie	gęstość prądu 0,15-0,30 A/cm^2 czas 4÷5 min	ujawnia wydzielenia azotków tytanu węglików i węgloazotków	[5]
A4	10% r-r H_3PO_4 w wodzie	napięcie 3 V gęstość prądu 0,5 A/dcm^2 czas 5÷15 sek.	ujawnia fazę γ'	[8]
B. Odczynniki do trawienia imersyjnego				
B1	Marble'a 4 g $CuSO_4$ 20 ml HCl 20 ml H_2O	czas trawienia od kilka do kilkunastu sek. wg wyniku obserwacji	ujawnia granice ziarn oraz strukturę ogólną ziarn	[6]
B2	1 cz. r-ru NaOH w H_2O 1 cz. nasyconego roztworu $KMnO_4$	imersyjnie 10÷60 sek. w temp. otoczenia	stosowany do rozróżniania węglików $M_{23}C_6$ i fazy σ	[7]
B3	30 ml odcz. Adlera 70 ml C_2H_5OH	5÷20 sek. w temp. otoczenia	ogólne, fazę ZrSx barwi na brązowo, węgliki na szaro	[15]
B4	0,5 g pirosiarczyn potasu 33,4 ml HCl 66,6 ml H_2O dest.	trawić do momentu utworzenia barwnej warstewki siarczynu na podłożu bogatym w Ni	osnowa ulega zabarwieniu, wydzielenia pozostają jasne, granice ziarn i bliźniaków barwią się odmiennie	[9]
B5	2 ml HNO_3 3 ml gliceryny 95 ml C_2H_5OH	trawić w temp. otoczenia w czasie kilkunastu sekund	ujawnia selektywnie fazy z magnezem	[10]

dników strukturalnych, uzależnione od grubości warstw tlenkowych, powstałych w warunkach intensywnego bombardowania tych składników atomami tlenu. I tak dla różnych czasów barwienia uzyskuje się następujące barwy dla tej samej fazy:

5 min - jasnozielona
5 min 20 s - pomarańczowa
5 min 40 s - jasnobrązowa
6 min - fioletowa.

Badania mikrotwardości wydzieleń faz stanowią jedną z najszybszych i najprostszych metod ich wstępnej identyfikacji. Porównawcza analiza mikrotwardości danej fazy umożliwia jej identyfikację w przypadku:

- odpowiedniej wielkości wydzielenia,
- prawidłowo dobranych parametrów pomiaru (szczególnie obciążenia),
- dysponowania danymi dla porównania ich z uzyskanymi wynikami.

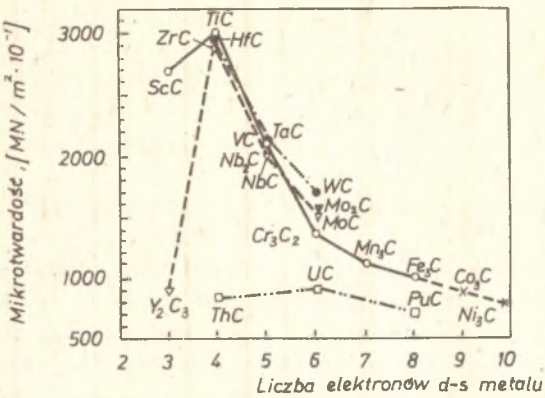
Zaleca się [12] przeprowadzanie pomiarów w szerszym zakresie obciążeń w celu ustalenia stabilnych wartości mikrotwardości i odpowiadających im optymalnych obciążeń. Niektóre z najczęściej spotykanych w stopach na osnowie niklu faz międzymetalicznych i odpowiadające im wartości mikrotwardości przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Mikrotwardość niektórych związków międzymetalicznych [12]

Faza	Obciążenie, N	Mikrotwardość HV, MPa
NiAl		3 810
Ni_3Al		3 675
Ni_3Ti		6 435
Ni_3Nb	1862	8 965
eutektyka Ni_3Al + Ni_3Nb		4 930
eutektyka Ni_3Al + Ni_3Ta		6 700

Dane odnośnie do mikrotwardości węglików metali przejściowych w zależności od ilości elektronów walencyjnych na zewnętrznych podpowłokach d^2s^2 przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Mikrotwardość węglików metali przejściowych [12]

2. Badania własne

2.1. Cel i zakres badań

W pracy podjęto badania mające na celu określenie możliwości selektywnego ujawniania faz w strukturze wieloskładnikowych, odlewniczych stopów na osnowie niklu, opracowanych i wykonanych w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej. Dla potwierdzenia otrzymanych rezultatów trawienia na określone fazy przeprowadzono badania mikrotwardości i mikroanalityczne rozkładu pierwiastków chemicznych na przekroju wydzielenie-osnowa.

Badania strukturalne wykonano na czterech stopach w stanie lanym o składzie chemicznym przedstawionym w tablicy 4.

Tablica 4

Skład chemiczny badanych stopów

Stop	Zawartość pierwiastka w % wagowych							
	C	Cr	Co	Al+Ti	W+Mo	Nb+Ta	Zr	Ni
A	0,15	12	10	8	4	1,5	0,05	osnowa
B	0,15	12	20	6	-	3,0	0,50	"
C	0,12	12	1	6	4,5	2,5	0,10	"
D	0,15	12	5	8	9	1,5	0,55	"

Do badań metalograficznych i mikroanalitycznych stosowano próbki wycięte z wlewków o wymiarach ϕ 42 x 100 mm dla stopów A i B oraz ϕ 15 x x 150 mm dla stopów C i D, przy czym zgłady wykonano na powierzchni prostopadłej do osi wlewka. Próbki szlifowano mechanicznie na papierach o

gradacji od 220 do 600, a następnie polerowano na pastach diamentowych. Polerowanie elektrolityczne przeprowadzono dla próbek, które służyły do ujawnienia fazy γ', w ciągu ok. 10 sek przy napięciu 25 V, w odczynniku analogicznym do stosowanego w pracy [3]. Rodzaj zastosowanego do trawienia zgładów odczynnika podano z uwzględnieniem oznaczeń stosowanych w tablicy 2.

Obserwacji struktury stopów w zakresie powiększeń 100-1500 x dokonano za pomocą mikroskopu świetlnego firmy Reichert typu MeF-2, zaś przy powiększeniu 3000 x na mikroskopie skaningowym firmy JEOL typu JSM-S1 o nominalnej zdolności rozdzielczej 250 Å, przy napięciu przyspieszającym 10 kV. Badania mikrotwardości ujawnionych po trawieniu faz wykonano przy użyciu odpowiedniej przystawki do mikroskopu Reichert MeF-2. Stosowano pomiar metodą Vickersa, przy obciążeniu 186,2 N. Badania rozmieszczenia pierwiastków stopowych w wybranych obszarach prowadzono za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego JXM-50A, o zdolności rozdzielczej 150 Å, przy napięciu przyspieszającym 25 kV. Określono rozkłady liniowe podstawowych pierwiastków węglikotwórczych, tj. Cr, Ti, Mo, Ta oraz tworzących fazę międzymetaliczną γ' - $Ni_3(Al, Ti)$.

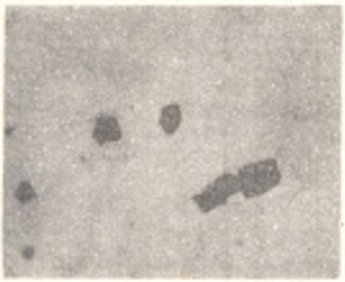
2.2. Wyniki badań

Przeprowadzone badania metalograficzne wykazały, że dla ujawniania faz węglikowych analizowanych stopów najbardziej przydatny jest odczynnik o symbolu B2. Przykłady struktur z selektywnie ujawnionymi węglikami przedstawiają rys. 3÷6.

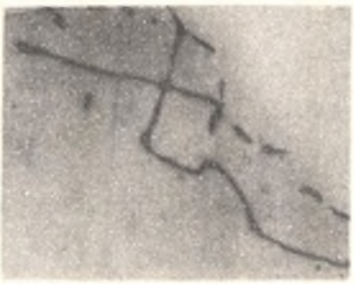
Rys. 3. Rozmieszczenie węglików w stopie A. Odcz. B2. Mikr. świetlny. Pow. 100 x

Rys. 4. Rozmieszczenie węglików w stopie C. Odcz. B2. Mikr. świetlny. Pow. 100 x

Analiza struktury pozwala jednoznacznie określić w tym przypadku charakter rozmieszczenia węglików i ich podstawowe cechy morfologiczne, takie jak kształt i wielkość. Dla stopu A obserwuje się szeregowe zgrupowania węglików (rys. 3), natomiast w stopie C - układy wydzieleń w postaci siatki (rys. 4). Porównanie cech morfologicznych wydzieleń węglików



Rys. 5. Morfologia węglików w stopie A. Odcz. B2. Mikr. świetlny. Pow. 1500 x



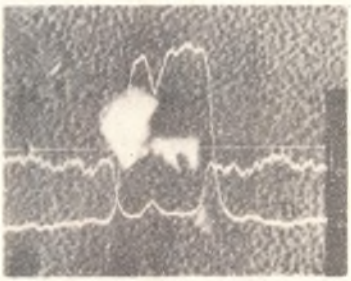
Rys. 6. Morfologia węglików w stopie C. Odcz. B2. Mikr. świetlny. Pow. 1500 x

wskazuje na całkiem odmienny charakter budowy tych faz w obydwu stopach. W stopie A węgliki mają budowę zwartą, przy czym wewnętrz wydzieleń węglików występują charakterystyczne dla nich dodatkowe cząstki, uważane za wtrącenia niemetaliczne (rys. 5) [13, 14].

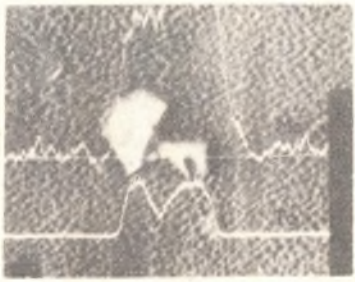
W osnowie stopu C obserwuje się węgliki o silnie rozwiniętej powierzchni rozdziału, o nieregularnym kształcie, wykrystalizowane bardzo często w postaci dendrytów (rys. 6).

Badania mikrotwardości pojedynczych, większych cząstek węglików o budowie zwartej wykazały, że są to fazy bardzo twarde o mikrotwardości ok. 3000 HV, tj. zbliżonej do wartości odpowiadających fazie MC (rys. 2).

Rozmieszczenie pierwiastków węglikotwórczych na przekroju węglika o budowie zwartej jest właściwe dla węglików typu MC. W skład wydzieleń wchodzą Ti, Mo, Ta, natomiast koncentracja Cr znacznie spada poniżej zawartości jej w osnowie, co wyklucza możliwość występowania w tym przypadku węglików typu $M_{23}C_6$ (rys. 7, 8).

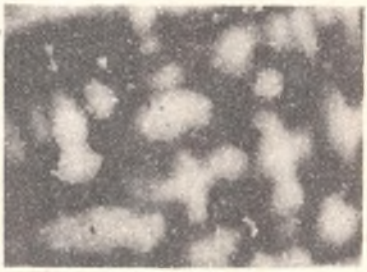


Rys. 7. Zmiana koncentracji Cr i Ti wzdłuż linii cięcia. Pow. 3000x

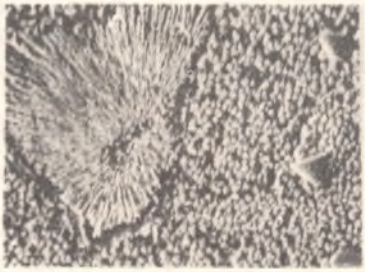


Rys. 8. Zmiana koncentracji Mo i Ta wzdłuż linii cięcia. Pow. 3000x

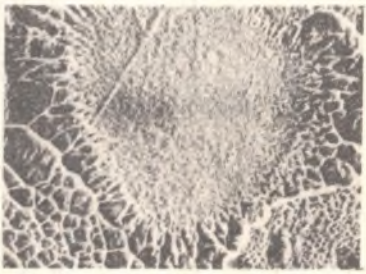
Rys. 9. Rozmieszczenie fazy γ' w stopie B. Mikroskop świetlny. Odcz. A1. Pow. 500 x



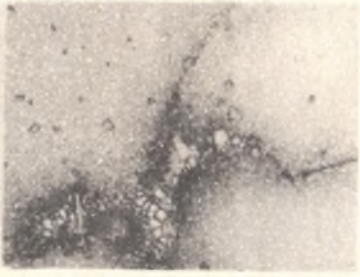
Rys. 10. Rozmieszczenie fazy γ' w stopie D. Mikroskop świetlny. Odcz. A1. Pow. 100 x



Rys. 11. Morfologia eutektyki γ-γ' w stopie B. Mikr. skaningowy. Odcz. A1. Pow. 3000 x



Rys. 12. Morfologia fazy γ' w stopie D. Mikroskop skaningowy. Odcz. A1. Pow. 3000 x



Rys. 13. Faza płytkowa w obszarze skupisk z fazą γ'. Mikr. świetlny. Odcz. B3. Pow. 500 x

Rys. 14. Faza płytkowa w obszarze jw. Mikroskop skaningowy. Odcz. B3. Pow. 3000 x

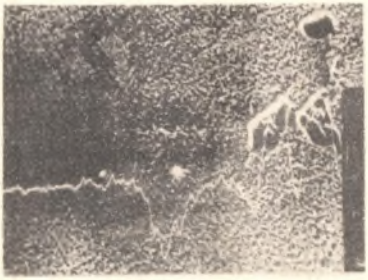
Strukturę stopów B i D, po trawieniu elektrolitycznym w odczynniku o symbolu A1, przedstawiono na rys. 9÷14. Porównawcza obserwacja struktury obydwu tych stopów wykazuje znaczne zróżnicowanie morfologii wydzieleń fazy γ', szczególnie w intensywniej trawiących się obszarach nieciągłych granic ziarn (rys. 9, 10). Stop B odznacza się większą równomiernością

rozmieszczenia fazy γ' w tych obszarach, przy czym występująca miejscami eutektyka γ-γ' cechuje się dyspersyjną budową cząstek o charakterze płytkowym (rys. 11). Dla stopu D stwierdzono większą skłonność do wydzielania fazy γ' w formie dużych skupisk, zawierających gruboziarniste cząstki tej fazy na obrzeżu i dyspersyjne wewnątrz skupisk (rys. 12). W niektórych obszarach zaobserwowano wydzielenia fazy o budowie płytkowej, umiejscowione na pograniczu dużych skupisk z gruboziarnistymi cząstkami fazy γ' (rys. 13, 14). Podobne wydzielenia obserwowano w tych obszarach dla stopu odlewniczego IN-738LC [15], zaś szczegółowa analiza mikroanalityczna składu chemicznego wykazała, że jest to faza ZrS_x. Dodatkowe obserwacje, wykonane na mikroskopie świetlnym dla zgładów trawionych w odczynniku B3, potwierdzają, że wydzielenia te mają barwę brązową, co w połączeniu z wynikami obserwacji ww. autorów pozwala przyjąć fakt występowania fazy ZrS_x w strukturze stopu D za najbardziej wiarygodny.

Badania mikrotwardości stopu B wykazały, że mikrotwardość obszarów eutektyki γ-γ' jest nieznacznie wyższa od osnowy z dyspersyjną fazą γ' i wynosi odpowiednio 470 i 450 HV. Mikrotwardość dużych cząstek fazy γ', występujących na obrzeżu skupisk w stopie D wynosi ok. 600 HV, zaś osnowy γ - ok. 550 HV.

Analiza jakościowa rozkładu Ni, Al, Ti wzdłuż linii cięcia, przebiegającej przez duże cząstki pierwotnych wydzieleń fazy γ' w stopie C, wykazała wzrost koncentracji tych pierwiastków w obszarze wydzieleń (rys. 15÷17), co potwierdza występowanie fazy typu γ'-Ni_3 (Al, Ti). Zmniejszenie koncentracji Ni i Al oraz wzrost Ti w obszarze małych cząstek występujących w pobliżu fazy γ' świadczy o obecności węglików MC.

Rys. 15. Zmiana koncentracji Ni wzdłuż linii cięcia. Pow. 1000 x



Rys. 16. Zmiana koncentracji Al wzdłuż linii cięcia. Pow. 1000 x

Rys. 17. Zmiana koncentracji Ti wzdłuż linii cięcia. Pow. 1000 x

2.3. Wnioski

Na podstawie powyższych rezultatów badań można sformułować następujące wnioski:

1. Zastosowanie trawienia selektywnego dla wielofazowych stopów na osnowie niklu umożliwia szybsze i skuteczniejsze przeprowadzenie wstępnej oceny składu fazowego stopów pod względem jakościowym.

2. Uzyskane wyniki wskazują na dużą przydatność stosowanych metod dla oceny morfologii i rozmieszczenia pierwotnych faz w strukturze stopów typu odlewniczego.

3. Dla uzyskania dokładnych danych odnośnie do trawienia na określone fazy, a w szczególności na węgliki, konieczne jest przeprowadzenie badań uzupełniających, np. metodą mikroanalizy rentgenowskiej.

4. Otrzymane wyniki badań są zachęcające dla dokonania dalszej oceny parametrów strukturalnych metodami metalografii ilościowej na powierzchni zgładów.

LITERATURA

[1] MEETHAM G.W.: The Metallurgist and Material Technology, 1976, 11, s. 590.

[2] STICKLER R.: Phase Stability in Superalloys, w monografii pod red. Sahma P.R., Speidela M.O. "High-Temperature Materials in Gas Turbines" Elsevier Scien. Publ. Comp., Amsterdam-London-New York, 1974.

[3] DANESI W.P. i inni: Trans. ASM, 1966, t. 59, s. 506.

[4] KOTVAL P.S. i inni: Met. Transaction, 1972, 2, s. 453.

[5] BETTERIDGE W., HESLOP J.: The Nimonic Alloys, Arnold, London, 1974.

[6] KOZYRSKI G.J. i inni: Izw. AN SSSR, Mietałły, 1975.

[7] WALLACE W. i inni: Met. Trans. 1976, 6, s. 992.

[8] HOFFELNER W. i inni: Mikrochimica acta, 1977, Supl. 7, s. 432.

[9] TITOW F.M. i inni: Zawodskaja Łaboratorija, 1976, 9, s. 1104.

[10] GRIEBCOWA T.M. i inni: Zawodskaja Łaboratorija. 1976, 1, s. 45.

[11] GRAEF I., HARTMANN K.H. i in.: Praktische Metallographie, 1977, 14, ss. 87-98.

[12] GRIGOROWICZ W.K.: Twiordost' i mikrotwiordost' mietałłow, Izd. Nauka, Moskwa, 1976.

[13] MACIEJNY A. i inni: Materiały V Konf. n.t. Mikroskopii ciała stałego, Warszawa-Jadwisin, 1978.

[14] BIEBER C.G., DECKER R.F.: Żaroprocznyje matieriały, tł. ros. Izdat. "Metałłurgija", Moskwa 1969.

[15] THIEN V. i inni: Mikrochimica acta, 1977, Suppl. 7, ss. 389-403.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАЗ В ЛИТЕЙНОЙ СТРУКТУРЕ ЖАРОСТОЙКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

Р е з ю м е

В статье рассматриваются основные методы исследования многофазной структуры сплавов на основе никеля. Были составлены самые пригодные реактивы для выявления фаз в структуре этих сплавов. Произведено исследование размещения и морфологии выявленных селективно карбидных фаз типа MC и межметаллической фазы γ'-$Ni_3(Al,Ti)$ в структуре сплавов в литом состоянии. Результаты анализа потвердились при помощи исследований микротвёрдости и рентгеновского микроанализа. Указывается на пригодность применяемых методов для определения количественных структурных параметров с поверхности шлифа.

PRELIMINARY PHASE IDENTIFICATION IN THE STRUCTURE OF CASTING, HEAT-RESISTANT NICKEL-BASE-ALLOYS

S u m m a r y

The paper contains the basic methods of analysis for multiphase structure nickel-base-allcys. The most suitable reagents for phase identification in the alloy structures have been collected. Arrangement and morphology of selectively detected carbide phase, type MC as well as intermetallic phase γ'-$Ni_3(Al,Ti)$ in the alloy structure at a cast state were studied. The results of analysis were proved by means of microhardness studies and X-ray microanalysis. The suggested method for identification of quantitative structurel parameters from the polished section surface was considered to be useful.