

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Opracowanie technologii przetapiania stopów niklu z zastosowaniem modyfikowania nanocząstkami proszków

Development of the technology of remelting nickel alloys with the use of nanopowder modifications

Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

Wyniki badań Results

WPROWADZENIE

Stopy niklu nie są wytwarzane w Polsce; nie prowadzi się również uszlachetniających przetopów odzyskowych. Dlatego istotnym problemem jest zagospodarowanie odpadów poprodukcyjnych (braki, elementy układów wlewowych itp.). Ponowne użycie stopów wymaga uzupełnienia niektórych dodatków (zwłaszcza śladowych) oraz zabiegu modyfikowania, w celu uszlachetnienia stopu. Z punktu widzenia właściwości użytkowych zarowytrzymałych stopów na osnowie niklu, pożądane jest optymalne zespolenie dobrych właściwości mechanicznych w podwyższonej i wysokiej temperaturze. Korzystny zespół właściwości można uzyskać m. in. drogą odpowiedniego doboru wielkości, orientacji i jednorodności ziarna. Dlatego ważnym problemem badawczym jest określenie siły i kierunku oddziaływania podstawowych parametrów technologii odlewania i krzepnięcia odlewów na kształtowanie cech morfologicznych makro- i mikrostruktury.

INTRODUCTION

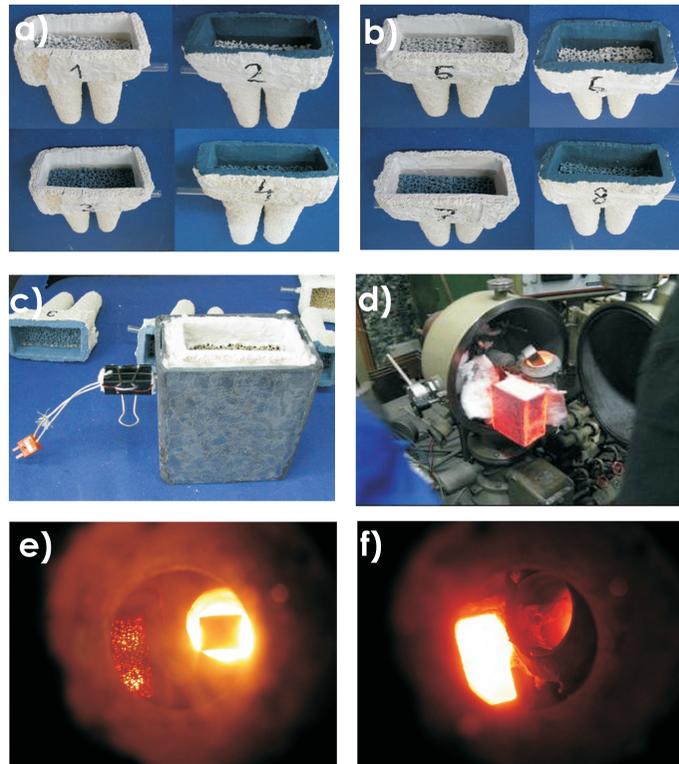
Nickel alloys are not produced in Poland, neither are the recovery remelting processes carried out. Therefore, an important issue is the management of production waste (scrap, components of gating systems, etc.). Reusing alloys requires making up for the content of certain additives (especially trace elements), and inoculation to refine the alloy structure. From the point of view of the performance properties of the creep-resistant nickel base alloys, it is recommended to obtain an optimum combination of mechanical properties at elevated and high temperatures. A preferred combination of properties can be obtained, among others, by appropriate selection of the grain size, orientation and homogeneity. Therefore, an important research problem is to determine the intensity and direction of the impact of the basic parameters of casting technology and solidification regime on the formation of morphological features of macro- and microstructure.

PLAN EKSPERYMENTU (część II)

Celem badań było sprawdzenie wpływu sposobu modyfikowania (tylko powierzchniowego, tylko objętościowego oraz łącznego powierzchniowego i objętościowego) oraz warunków odlewania na właściwości mechaniczne (Rm i HB) odlewów próbnych. W tym celu przeprowadzono badania w oparciu o ułamkowy eksperyment dwupoziomowy 24-1.

Wytop	Zmienna niezależna			
	A	B	C	D
1	(-)	(-)	(-)	(-)
2	(+)	(-)	(-)	(+)
3	(-)	(+)	(-)	(+)
4	(+)	(+)	(-)	(-)
5	(-)	(-)	(+)	(+)
6	(+)	(-)	(+)	(-)
7	(-)	(+)	(+)	(-)
8	(+)	(+)	(+)	(+)

A: powierzchnia formy, (-) biała (bez modyfikatora), (+) niebieska (z powłoką modyfikującą).
B: filtr ceramiczny, (-) biały, bez modyfikatora, (+) niebieski, z powłoką modyfikującą.
C: temperatura odlewania, (-) 1420°C, (+) 1480°C
D: warunki stygnięcia odlewu, (-) forma bez izolacji cieplnej, (+) forma ocieplana mata izolacyjną.



Rysunek 1
Figure 1

a) Formy ceramiczne dla wytopów 1 do 4
a) Ceramic mould for 1 to 4 melts

b) Formy ceramiczne dla wytopów 5 do 8
b) Ceramic mould for 5 to 8 melts

c) Forma ceramiczna przygotowana do badań
c) Ceramic mould ready for tests

d) Forma w komora pieca indukcyjnego, przed zamknięciem pokrywy
d) Mould in the chamber of induction furnace before closing the lid

e) Topienie wsadu i nagrzana forma
e) Melting the charge and heated form

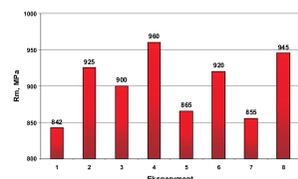
f) Po odlewaniu
f) After melting

g) Gotowe odlewy po przygotowaniach do badań
g) Ready castings prepared for tests

Tablica 1
Table 1

Skład chemiczny wlewka „master heat” i poszczególnych wytopów
Chemical composition the ingot „master heat” and individual melts

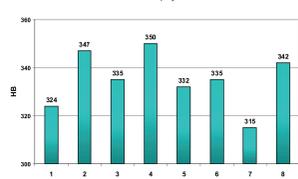
Nr. wytopu	wlewek	reszta	Zawartość % masowy									
			Ni	Si	Mn	Cr	Nb	Mo	Cu	Fe	Co	Ti
1.	72,66	0,005	0,002	13,15	2,74	4,49	0,002	0,063	0,058	0,976	6,082	
2.	72,70	0,006	0,004	12,78	2,75	4,51	0,002	0,068	0,066	0,977	5,904	
3.	72,30	0,005	0,004	12,95	2,74	4,65	0,002	0,076	0,065	0,960	5,890	
4.	72,60	0,006	0,003	12,75	2,74	4,51	0,002	0,065	0,067	0,969	5,983	
5.	72,78	0,005	0,003	12,75	2,73	4,55	0,002	0,068	0,063	0,975	5,798	
6.	72,85	0,006	0,004	12,70	2,72	4,49	0,002	0,073	0,066	0,967	5,778	
7.	72,33	0,011	0,002	13,00	2,74	4,49	0,002	0,073	0,057	0,983	6,033	
8.	72,55	0,008	0,004	12,84	2,69	4,58	0,002	0,078	0,057	0,922	5,990	



Rysunek 2
Figure 2

Wyniki wytrzymałości na rozciąganie i twardości Brinella

The results of tensile strength and Brinell hardness



OCENA WPŁYWU PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH FORMY I WARUNKÓW ODLEWANIA NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE (Rm i HB)

Ocenę wpływu zmiennych zależnych (zmiennie A, B, C i D) na wytrzymałość na właściwości mechaniczne przeprowadzono metodą analizy regresji wielokrotnej. Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,1$. O sile oddziaływania danego parametru technologicznego decyduje wartość prawdopodobieństwa p, zaś o kierunku wpływu (zmniejszenie lub zwiększenie) znak przy współczynniku b_0 (- lub +). Obliczenia przeprowadzono wykorzystując licencjonowany program Statistica, firmy StatSoft v.7.1

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FORMS AND CASTING CONDITIONS ON MECHANICAL PROPERTIES (Rm and HB)

The effect of dependent variables (variables A, B, C and D) on mechanical properties was evaluated by multiple regression analysis. The level of significance $\alpha = 0.1$ was adopted. How strong the impact of the examined technological parameter will be depends on the value of probability p, while the direction of influence (decrease or increase) depends on the sign preceding the coefficient b_0 (- or +). Calculations were carried out using a licensed StatSoft V.7.1 Pl. Statistica software.

Parametr	Wyniki obliczeń			
	Rm		HB	
	b_0	p	b_0	p
Wyraz wolny	1150	0,0218	406	0,0133
A	34	0,0197	7,48	0,0422
B	26,5	0,0403	1,55	0,5383
C	-0,22	0,2511	-0,082	0,1679
D	0,10	0,4952	0,062	0,2020
R ²	0,8395	0,0218		

Parametr	Results of calculations			
	Rm		HB	
	b_0	p	b_0	p
Absolute term	1150	0,0218	406	0,0133
A	34	0,0197	7,48	0,0422
B	26,5	0,0403	1,55	0,5383
C	-0,22	0,2511	-0,082	0,1679
D	0,10	0,4952	0,062	0,2020
R ²	0,7393	0,0218		

1. Wartość skorygowanego współczynnika determinacji $R^2 = 0,8395$ oznacza, że około 84% wyników można wytłumaczyć przez model opisany zależnością:

$$R_m = 1150 -/+ (34) \cdot A -/+ (26,5) \cdot B - 0,22 \cdot D + 0,1 \cdot T_f, [\text{Mpa}]$$

2. Wartość skorygowanego współczynnika determinacji $R^2 = 0,7393$ oznacza, że tylko około 74% wyników można wytłumaczyć przez model opisany zależnością:

$$HB = 406 -/+ (7,48) \cdot A -/+ (1,55) \cdot B - 0,082 \cdot D + 0,062 \cdot T_f, [\text{Mpa}]$$

1. The value of the adjusted coefficient of determination $R^2 = 0,8395$ indicates that approximately 84% of the results can be explained with a model described by the following relationship:

$$R_m = 1150 -/+ (34) \cdot A -/+ (26,5) \cdot B - 0,22 \cdot D + 0,1 \cdot T_f, [\text{Mpa}]$$

2. The value of the adjusted coefficient of determination $R^2 = 0,7393$ indicates that only approximately 74% of the results can be explained with a model described by the following relationship:

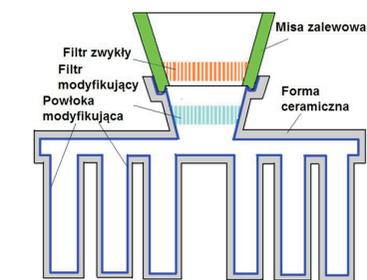
$$HB = 406 -/+ (7,48) \cdot A -/+ (1,55) \cdot B - 0,082 \cdot D + 0,062 \cdot T_f, [\text{Mpa}]$$

MODYFIKACJA POWIERZCHNIOWA I OBJĘTOŚCIOWA STOPOW IN-713C i MAR-247

Badania prowadzono dla nadstopów niklu IN-713C i MAR-247 (odpady poprodukcyjne: braki, elementy układów wlewowych itp.). Wytopy prowadzono w indukcyjnym piecu próżniowym typu IS 5/III, firmy Leybold – Heraeus. Zastosowano tygiel ubijany z masy MPI na osnowie MgO. Topienie prowadzono w próżni o wysokości 10-2Tr. Przed odlaniem do komory wprowadzono argon o ciśnieniu około 400Tr. Ilość wsadu 8,5 kg. Przed odlewaniem stop przegrzewano do temperatury około 1500°C. Temperaturę kąpieli w tyglu mierzono termoelementem zanurzeniowym Pt-PtRh10 oraz dodatkowo pirometrem laserowym. Temperatura odlewania wynosiła około 1460°C. Łączny zabieg modyfikowania powierzchniowego i objętościowego wymaga umieszczenia w zbiorniku wlewowym dodatkowego filtra, zawierającego glinian kobaltu i dodatki aktywnych składników. Dodatkowym efektem rozwiązania będzie podwójna filtracja stopu.

SURFACE AND VOLUME MODIFICATION IN-713C AND MAR-247 ALLOYS

Studies were conducted on an IN-713C nickel and MAR-247 superalloy (post-production waste :rejects, parts of the gating system, etc.). Melting was carried out in a vacuum induction furnace, model IS 5/III, made by Leybold – Heraeus. The crucible made from rammed MPI refractory material based on MgO was used. Melting was carried out in vacuum 10-2Tr high. Before pouring, argon at a pressure of about 400 Tr was introduced to the furnace chamber. The charge weight was 8,5 kg. Before pouring, the alloy was overheated to a temperature of 1500°C. The temperature of the melt in crucible was measured with a Pt-PtRh10 immersion thermocouple, and additionally with laser pyrometer. The temperature on pouring was 1460°C. Total treatment to modify surface and bulk requires placing in the tank filler additional filter, cobalt aluminate containing active ingredients and additives. An additional effect of double filtration solutions will melt.



Rysunek 3
Figure 3

Schemat koncepcyjny formy odlewniczej.
Conceptual scheme of the mould.



Rysunek 4
Figure 4

Przygotowanie form odlewniczych.
Preparation of casting forms.

MELTING AND CASTING

The study was conducted on IN-713C nickel superalloy, which besides nickel also contained: 0.03% Co, 13.26% Cr, 5.85% Al, 4.10% Mo, 0.85% Ti, 2.27% (Nb + Ta), and 0.12% C. Melts were carried out in an induction furnace type VSG-02 (made by Balzers), in an Al2O3 crucible. The charge weight was about 1.2 kg. Melting took place under a protective atmosphere of argon. Moulds, before being placed in furnace chamber, were baked in an electric resistance oven heated to a temperature of 1000°C. The temperature of the liquid metal and of the ceramic mould was controlled by a Pt-PtRh10 immersion thermocouple. The casting temperature for individual melts was consistent with the conditions of the experiment (1420 or 1480°C). Because of the small amount of liquid alloy, immediately after turning the furnace off, the temperature of pouring could drop below the required level. For melt No. 8, due to thermocouple failure, the temperature of pouring was exceeded by more than 100°C.