

Ocena mikrostruktury wybranych stopów niklu

Microstructure assessment of selected nickel alloys

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki oceny mikrostruktury wybranych stopów niklu, tzn. 600, 617 i 625. Stosując mikroskopię świetlną poddano ocenie obserwowane mikrostruktury w odniesieniu do ich składu chemicznego. Przedstawiono również typowe mechanizmy utwardzania występujące w stopach niklu.

Słowa kluczowe: stopy niklu, mikrostruktura, skład chemiczny

Abstract

The paper presents the results of selected nickel base alloys assessment - 600, 617 and 625. Using light microscopy observed microstructure were compared with chemical composition of tested alloys. The typical for nickel base alloys strengthening mechanisms are presented.

Keywords: nickel base alloys, microstructure, chemical composition

Wstęp

Wymagania pracy urządzeń w podwyższonej temperaturze i korozyjnym środowisku stawiają inżynierom-konstruktorom i technologom zadanie doboru materiałów inżynierskich wykazujących wysokie właściwości mechaniczne. Takie wymagania spełniają m.in. stopy na osnowie niklu, co powoduje, że są one stosowane m.in. w przemyśle lotniczym, kosmicznym, chemicznym, ale i w energetyce [1÷4]. Szczególne zainteresowanie tymi materiałami inżynierskimi wynika również z ich unikalnych właściwości związanych z zachowaniem wysokiej wytrzymałości i odporności na pełzanie w wysokiej temperaturze (nawet do 1100°C) oraz odporności na korozję w agresywnych środowiskach [4, 5].

Mechanizmy umocnienia w stopach niklu

Stopy niklu są stopami wieloskładnikowymi w których mogą zachodzić przemiany fazowe zmieniające ich właściwości mechaniczne w okresie eksploatacji. Ponieważ odkształcenie plastyczne w stopach niklu zachodzi przez ruch dyslokacji na drodze poślizgu w uprzywilejowanych płaszczyznach krystalograficznych i o najgęstszym ułożeniu atomów lub bliźniakowanie mechaniczne, czyli nagły poślizg dyslokacji w niewielkim obszarze mikrostruktury, to poprawę właściwości mechanicznych (umocnienie) uzyskuje się np. przez dodanie odpowiednich składników stopowych blokujących płaszczyzny poślizgu. Podstawowymi mechanizmami umocnienia tych stopów są: roztworowe,

Dr inż. Lechosław Tuz; mgr inż. Krzysztof Pańcikiewicz; prof. dr hab. inż. Edmund Tasak – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; **dr hab. inż. Janusz Adamiec, prof. PŚI** – Politechnika Śląska, Katowice.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: ltuz@agh.edu.pl

dyslokacyjne, przez rozdrobnienie ziarna i wydzieleniowe (dyspersyjne).

Umocnienie roztworowe występuje, gdy pole odkształceń sprężystych wokół atomów domieszki w roztworze oddziałuje z polem odkształceń dyslokacji. Skutkiem jest utrudnienie jego ruchu. Wraz ze wzrostem różnicy w promieniach atomów osnowy i domieszki następuje zwiększenie naprężenia blokującego ruch dyslokacji, czyli efekt umocnienia.

W przypadku umocnienia cząstkami innej fazy uzyskuje się efekt umocnienia wydzieleniowego, dyspersyjnego lub fazą o uporządkowaniu dalekiego zasięgu. Wykorzystuje się cząstki innej fazy, często tlenki lub wtrącenia niemetaliczne, które są wprowadzane na etapie procesu produkcji stopu lub wydzielają się później np. w procesie obróbki cieplnej. Istotnym jest, aby osnowa była miękka i ciągliwa, a wydzielenia twarde. Przy czym wydzielenia powinny być drobne, ułożone stosunkowo gęsto i równomiernie w całej objętości osnowy i nie mieć ostrych krawędzi. Nierównomierne ułożenie wydzieleni np. utworzenie ciągłej błonki po granicach ziarn osnowy lub ostre krawędzie mogą być przyczyną zarodkowania mikropęknięć, a w efekcie zniszczenia elementu.

Umocnienie dyslokacyjne następuje podczas odkształcania plastycznego i jest wynikiem zwiększania się gęstości dyslokacji. Ten mechanizm związany jest z poruszającymi się dyslokacjami w płaszczyznach poślizgu, które przecinają się tworząc skupiska. Rozdrobnienie ziarna powoduje z kolei wytworzenie bariery poślizgu dla dyslokacji powodując wzrost granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie. Zależność granicy plastyczności od wielkości ziarna opisuje empiryczne równanie Halla-Petcha.

Materiał do badań

Do badań użyto trzech stopów niklu utwardzanych roztworowo o oznaczeniach 600, 617 i 625. Próbkę do badań wycięto z blach o grubości 5 mm. Obserwacje mikrostruktury przeprowadzono stosując mikroskopię świetlną na zglądach metalograficznych trawionych elektrolitycznie.

Analizie poddano skład chemiczny stopów w odniesieniu do mikrostruktury w aspekcie zjawisk korozyjnych mogących zachodzić w materiale podstawowym. Przedstawione wyniki stanowią rezultat badań wstępnych.

Skład chemiczny tych stopów zawarto w tablicach I-III. Stopy te są stopami wieloskładnikowymi różniącymi się zawartością głównych pierwiastków stopowych tzn. niklu, kobaltu, chromu i molibdenu. Stop 600 zawiera dużą zawartość niklu, który zapewnia wysoką odporność stopu na korozję w środowisku bogatym w elementy zarówno organiczne jak i nieorganiczne, jak również na korozję naprężeniową wywołaną m.in.

naprężeniami i jonami chloru. Chrom z kolei powoduje poprawę odporności na korozję w podwyższonej temperaturze (tworzy się warstwa tlenków), jak również chroni go przed negatywnym działaniem siarki. Jego obecność sprzyja również formowaniu się węglików M_7C_3 , a w połączeniu z molibdenem $M_{23}C_6$, powodujących poprawę właściwości mechanicznych stopu o ile nie tworzą ciągłej siatki po granicach ziarn. Z kolei w stopie 617, obniżono zawartość niklu, zwiększając zawartość chromu i dodatek kobaltu. Co więcej, chrom i aluminium w tym stopie powodują wzrost odporności na utlenianie i nawęglanie w podwyższonej temperaturze tworząc warstwę ochronną na powierzchni (Cr_2O_3 , Al_2O_3) i zapobiegają wnikaniu tlenu w głąb materiału. Dodatek molibdenu pozwala na stosowanie go w środowisku wilgotnym. Połączenie molibdenu i kobaltu powoduje roztworowy charakter umacniania stopu.

Stop 625 jest stopem niklowo-chromowo-molibdowym. W składzie chemicznym występuje również niob, który w połączeniu z molibdenem zapewnia uzyskanie korzystnych właściwości wytrzymałościowych bez konieczności prowadzenia obróbki cieplnej.

Tablica I. Skład chemiczny stopu 600, %wag.
Table I. Chemical composition of alloy 600, wt. %

Ni	Cr	Fe	C	Mn	S	Si	Cu
Min 72	14 ±17	6 ±10	Max 0,15	Max 1,0	Max 0,015	Max 0,5	Max 0,5

Tablica II. Skład chemiczny stopu 617, %wag.
Table II. Chemical composition of alloy 617, wt. %

Ni	Cr	Co	Mo	Al	C	Fe
Min 44,5	20 ±24	10 ±15	8 ±10	0,8- 1,5	0,05 ±0,15	Max 3,0
Mn	Si	S	Ti	Cu	B	
Max 1,0	Max 1,0	Max 0,015	Max 0,6	Max 0,5	Max 0,006	

Tablica III. Skład chemiczny stopu 625, %wag.
Table III. Chemical composition of alloy 625, wt. %

Ni	Cr	Mo	Nb	Al	C	Fe
Min 58	20 ±23	8 ±10	3,15 ±4,15	Max 4,4	Max 0,1	Max 5,0
Mn	Si	S	P	Ti	Co	
Max 0,5	Max 0,5	Max 0,015	Max 0,015	Max 0,4	Max 1,0	

Charakterystyka mikrostruktury

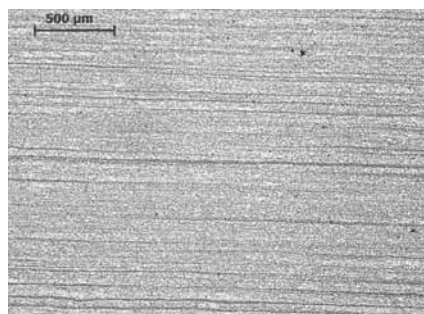
Obserwacje mikrostruktury przeprowadzono stosując mikroskopię świetlną na zglądach metalograficznych. Do badań użyto blachy walcowane na zimno,

stąd we wszystkich obserwowano pasmowość, związaną z segregacją składu chemicznego wynikającą z procesu wytworzenia blachy.

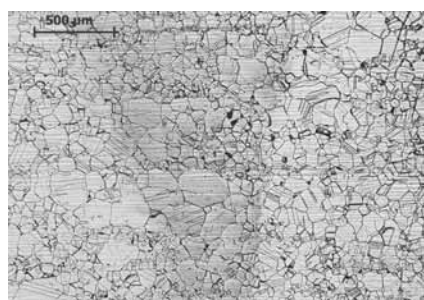
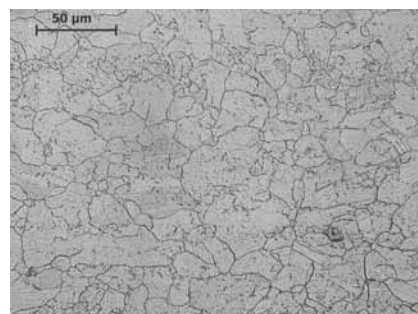
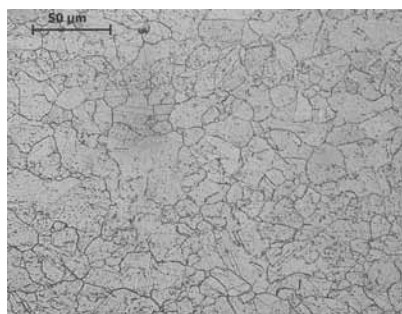
Mikrostrukturę stopu 600 przedstawiono na rysunku 1. Obserwowana struktura stopu jest mikrostrukturą austenityczną.

Mikrostrukturę stopu niklu 617 przedstawiono na rysunku 2. Stop ten charakteryzuje znacznie większym ziarnem w porównaniu do stopu 600 i 625. W stopie tym widoczne są wydzielenia węglików i azotku tytanu wewnątrz ziarn. Obserwowana struktura jest strukturą austenityczną.

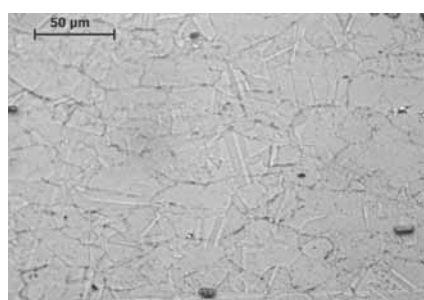
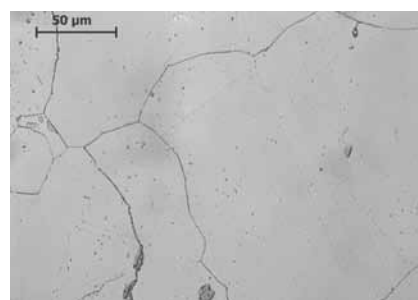
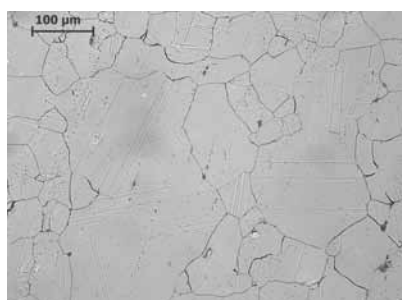
W stopie 625 obserwowano strukturę austenityczną z wyraźnymi bliźniakami wyżarzania. W poszczególnych pasmach segregacji próbka odmiennie się trawiła, widoczne są duże ziarna z niewielką ilością drobnych cząstek będących wtrąceniami niemetalicznymi lub wydzieleniami węglików. Szczególnie widoczne są one w pasmach segregacji oraz ułożone są po granicach ziarn. W stopie tym ujawniono istnienie podwójnych granic ziarn sprzed procesu walcowania (z widocznymi wydzieleniami) i po procesie walcowania (wolne od wydzieleni).



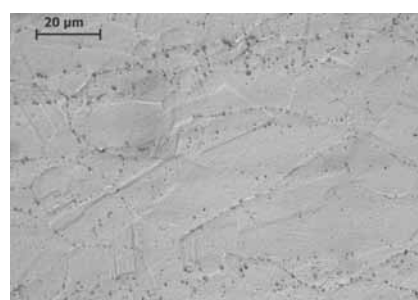
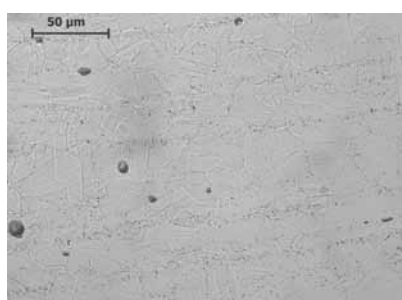
Rys. 1. Mikrostruktura stopu 600
Fig. 1. Microstructure of alloy 600



Rys. 2. Mikrostruktura stopu 617
Fig. 2. Microstructure of alloy 617



Rys. 3. Mikrostruktura stopu 625
Fig. 3. Microstructure of alloy 625



Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analiza wykazały na austeniczny charakter mikrostruktury stopów niklu typu 600, 617 i 625 w stanie dostawy. Zaobserwowano, że w obszarze ziarna i po granicach formują się wydzielenia, które mogą mieć bezpośredni wpływ na właściwości mechaniczne badanych sto-

pów, w szczególności w pracy w podwyższonej temperaturze, jak również podczas ich spawania.

Wykonane badania mają charakter wstępny. Badane materiały poddane zostaną oddziaływaniu cyklu cieplnego spawania i jego wpływowi na właściwości mechaniczne złączy spawanych i ocenie skłonności do pęknięć gorących.

Literatura

- [1] Song K.H., Nakata K., Effect of precipitation on post-heat-treated Inconel 625 alloy after friction stir welding, *Materials and Design*, 31 (2010), pp. 2942÷2947;
- [2] Yenya C., Koc-akb M., Fracture analysis of laser beam welded superalloys Inconel 718 and 625 using the fitnet procedure, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 85 (2008), pp. 532÷539;
- [3] Yilbas B.S., Akhtar S.S., Karatas C., Laser surface treatment of Inconel 718 alloy: Thermal stress analysis, *Optics and Lasers in Engineering*, 48 (2010), pp. 740÷749;
- [4] Pakieła Z, Microstructure and mechanical properties of Inconel 625 superalloy, *Obróbka Plastyczna Metali*, t. XXI, 3 (2010), pp. 143÷154;
- [5] Huang C.A., Wang T.H., Han W.C, Lee C.H., A study of the galvanic corrosion behavior of Inconel 718 after electron beam welding, *Materials Chemistry and Physics*, 104 (2007), pp. 293÷300;

Podziękowanie

Praca finansowana w ramach projektu PBS1/A5/13/2012, pt.: „Technologia spawania laserem rur ożebrowanych ze stali austenitycznych i stopów niklu przeznaczonych do pracy w kotłach o parametrach nadkrytycznych i ultra nadkrytycznych” przez NCBiR

PRÓBA ŁAMANIA ZŁĄCZY SPAWANYCH ATLAS PRZEŁOMÓW JACEK SŁANIA KRZYSZTOF STANISZEWSKI

Cena

Cena 1 egzemplarza książki:
**Próba łamania złączy spawanych
Atlas przełomów** wynosi:
60 zł (w tym 5% VAT)

**W celu zamówienia książki
w Redakcji należy wypełnić formularz
zamieszczony obok i przesłać go
w formie faksu, skanu lub listu na adres:**

REDAKCJA – Przegląd Spawalnictwa AW SIMP
ul. Świętokrzyska 14a, 00-050 Warszawa
tel.: 22 827 25 42, faks: 22 336 14 79
e-mail: pspaw@ps.pl

Wpłaty należy dokonać na rachunek bankowy:
Bank BPH S.A. Oddział w Warszawie
45 1060 0076 0000 3200 0043 1836

**Zamawiam książkę *Próba łamania złączy spawanych
Atlas przełomów* w Redakcji Przegląd Spawalnictwa
w liczbie egz.**

Imię i nazwisko

Firma

Adres

NIP

Kontakt do osoby zamawiającej:

Oświadczam, że jestem podatnikiem VAT i upoważniam firmę do wystawienia faktury bez podpisu

Podpis