

PIOTR BAŁA

Stopy z układu Ni-Ta-Al-M o dużym stężeniu węgla

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań stopów z układu Ni-Ta-Al-M o dużym stężeniu węgla, zaprojektowanych z myślą o dobrych własnościach tribologicznych w wysokiej temperaturze. Pomimo dostępnych licznych materiałów narzędziowych do pracy na gorąco istnieje potrzeba poszukiwania nowych materiałów o unikatowych własnościach, które mogą pracować w szczególnie trudnych warunkach, tj. w wysokiej temperaturze, agresywnym chemicznie środowisku i silnym zużyciu tribologicznym.

Głównym celem pracy było zaprojektowanie, wytworzenie oraz ocena stabilności mikrostruktury i własności tribologicznych stopów z układu Ni-Ta-Al-M o dużym stężeniu węgla pod kątem ich aplikacji, jako materiału do pracy w wysokiej temperaturze. Zaprojektowano i wykonano odlewy czterech stopów z układu Ni-Ta-Al-C-M. Ich składy chemiczne zaprojektowano tak, aby umocnienie osnowy uzyskać w wyniku wydzielenia fazy γ' , a udział objętościowy węglików pierwotnych wynosił ponad 20%. Kluczowe dla realizacji założeń projektowych było występowanie w danym układzie eutektyki węglkowej. Węglik powinien pozostać stabilny w mikrostrukturze niezależnie od obróbki cieplnej, wpływając korzystnie na odporność na ścieranie. Zdecydowano się na osnowę niklu ze względu na brak przemiany alotropowej, której wystąpienie mogłoby zdestabilizować mikrostrukturę i własności podczas wysokotemperaturowej eksploatacji. Projektując skład stopów założono, iż powstaną węglik pierwotny tantalu typu MC (oraz w stopach z chromem dodatkowo węglik chromu). Zawartość tantalu dobrano tak, aby związał on węgiel w postaci węglików oraz utworzył wraz z aluminium i niklem fazę γ' . Zawartość aluminium i innych pierwiastków wchodzących w skład fazy γ' dobrano tak, aby temperatura solvus fazy γ' była w zakresie 1000–1100°C. Dlatego stężenie aluminium wynosi zaledwie 3% mas. Wyżej wymieniony zakres pozwala na pracę do 1000°C oraz możliwość przesycania w zakresie bezpiecznym bez występowania nadtopień w miejscach występowania eutektyki węglkowej.

Stop z układu Ni-Ta-Al-C zaprojektowano tak, aby uzyskać w mikrostrukturze węglik pierwotny MC, grafit oraz znikomy udział fazy γ' , celem określenia stabilności węglików w obecności grafitu. Tak samo zaprojektowano stop z układu Ni-Ta-Al-C-Co, gdzie oczekiwano większego udziału fazy γ' , aby sprawdzić stabilność węglików w obecności grafitu i fazy γ' oraz niewęglotwórczego kobaltu. Stopy z układów Ni-Ta-Al-C-Co-Cr oraz Ni-Ta-Al-C-Cr zaprojektowano tak, aby uzyskać węglik tantalu (MC) i węglik chromu oraz duży udział fazy γ' .

W stanie po odlaniu w mikrostrukturze badanych stopów występują duże ziarna z charakterystyczną budową dendrytyczną. Można wyróżnić pierwotne dendryty z drugorzędowymi

rozgałęzieniami. W stopach Ni-Ta-Al-C i Ni-Ta-Al-C-Co w obszarach międzydendrytycznych rozmieszczone są węgliki tantalum typu MC oraz grafit, natomiast w stopach Ni-Ta-Al-C-Co-Cr i Ni-Ta-Al-C-Cr węgliki tantalum typu MC oraz węgliki chromu typu Cr₇C₃. We wszystkich stopach występuje faza γ' , choć jej udział objętościowy w stopach Ni-Ta-Al-C i Ni-Ta-Al-C-Co jest nieduży.

Na podstawie badań kalorymetrycznych przeanalizowano wpływ wygrzewania ze stanu lanego w zakresie 750–850°C na mikrostrukturę badanych stopów, aby potwierdzić skłonność do rozpuszczania węglików pierwotnych w badanych stopach w tym zakresie temperatury. W wyniku wyżarzania w stopach Ni-Ta-Al-C i Ni-Ta-Al-C-Co obniża się udział objętościowy węglików oraz zwiększa się udział grafitu, w tym szczególnie w stopie Ni-Ta-Al-C-Co. W stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr rozpuszczeniu ulega część węglików chromu, a w stopie Ni-Ta-Al-C-Cr węgliki są najbardziej stabilne, gdyż stwierdzono tylko nieznaczne zmniejszenie udziału objętościowego węglików pierwotnych chromu po wygrzewaniu w temperaturze 850°C przez osiem godzin.

Przesycanie z coraz wyższej temperatury w stopach Ni-Ta-Al-C i Ni-Ta-Al-C-Co powoduje rozpuszczanie węglików pierwotnych, rozrost byłych obszarów dendrytycznych i nieznaczny wzrost udziału objętościowego grafitu. W stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr rozpuszczeniu ulega część węglików chromu oraz tantalum, natomiast w stopie Ni-Ta-Al-C-Cr nieznacznie obniża się udział węglików pierwotnych chromu. Badane stopy można przesycać z temperatury powyżej 1020°C, a przy zastosowaniu odpowiednio długiego czasu wytrzymania nawet z temperatury 1020°C, gdyż jest ona wystarczająca do rozpuszczenia fazy γ' . Dla stopów Ni-Ta-Al-C i Ni-Ta-Al-C-Co ze względu na mały udział fazy γ' oraz niestabilność mikrostrukturalną stosowanie przesycania nie pozwoli na poprawę własności. Natomiast stopy Ni-Ta-Al-C-Co-Cr i Ni-Ta-Al-C-Cr powinno się przesycać z temperatury 1100°C. Rozpuszczeniu ulegnie faza γ' i, szczególnie w stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr, część węglików pierwotnych. Pozwala to jednak na lokalne zniwelowanie różnic w mikrostrukturze wynikających z procesu krystalizacji.

Zastosowanie przesycania i starzenia w stopach Ni-Ta-Al-C-Co-Cr i Ni-Ta-Al-C-Cr pozwala na wzrost twardości (własności wytrzymałościowych) na skutek wydzielania fazy γ' oraz węglików wtórnych. W stopach tych, niezależnie od obróbki cieplnej, nie stwierdzono wydzielania się grafitu.

Zaprojektowany w ramach niniejszej pracy stop Ni-Ta-Al-C-Cr ma stabilne węgliki pierwotne i cechuje się dobrymi własnościami mechanicznymi w wysokiej temperaturze. Wykazuje bardzo dobre własności tribologiczne zarówno w niskiej, jak i wysokiej temperaturze oraz ma niski współczynnik rozszerzalności cieplnej. Po obróbce cieplnej będzie mógł pracować przynajmniej do temperatury 850°C i nawet chwilowe przegrzanie nie powinno powodować skokowych zmian własności.