



ALUMINIDKOWE POWŁOKI TERMICZNE NA STOPY NIKLU ALUMINIDE THERMAL BARRIER COATINGS FOR MAR 247 NICKEL SUPERALLOY

Kukła D.^{1*}, Kopec M.^{1,2*}

¹ Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, ul. Pawińskiego 5b, 02-106 Warszawa

² Imperial College London, London SW7 2AZ, UK

*Kontakt korespondencyjny: mkopec@ippt.pan.pl dkukla@ippt.pan.pl

1. Wprowadzenie i metodyka badań

Stopy niklu charakteryzują się doskonałymi właściwościami eksploatacyjnymi w wysokich temperaturach, w tym odpornością na korozję, wysoką temperaturę i pełzanie dlatego są powszechnie stosowane w silnikach lotniczych. Rosnące wymagania przemysłu lotniczego dążące do poprawy sprawności silników podczas pracy w wysokiej temperaturze skutkują nadmiernym wykorzystaniem stopów niklu. Dlatego w celu wydłużenia żywotności łopatek turbin i innych elementów silnika powszechnie stosuje się warstwy ochronne. Wśród obiecujących rozwiązań, które mogłyby poprawić właściwości wysokotemperaturowe elementów silnika, można wskazać zastosowanie materiałów międzymetalicznych typu Ni-Al jako materiału powłokowego. Z rozpoznanych uwarunkowań technologiczno-eksploatacyjnych tylko dwie fazy NiAl i Ni₃Al stanowią potencjalną bazę do formowania osnowy stopu intermetalicznego, mogącego przenieść wysokie obciążenia mechaniczne w agresywnych środowiskach korozyjno-erozyjnych, również w wysokiej temperaturze. Intermetale na osnowie fazy Ni₃Al, w porównaniu z powszechnie stosowanymi nadstopami na bazie Ni, mają znacznie lepszą wytrzymałość zmęczeniową w wysokiej temperaturze. Stąd też dużą szansą wykorzystania potencjalnie bardzo korzystnych właściwości aluminidków NiAl i Ni₃Al (szczególnie na gorących elementach turbin silników lotniczych), jest zastosowanie ich w formie powłok ochronnych wytworzonych z użyciem zaawansowanej technologii wspomaganego nasycania dyfuzyjnego pod obniżonym ciśnieniem poprzez chemiczne osadzanie z fazy gazowej.

Stop niklu MAR 247 został wytworzony w procesie odlewania z równomierną krystalizacją w formach ceramicznych. Próbnę odlewania przeprowadzono w piecu próżniowym ALD. Próbkę o równoosiowej mikrostrukturze (EQ) hartowano w piecu w celu uzyskania wymaganej mikrostruktury. Powłoki aluminidkowe wytworzono w procesie niskoaktywnej aluminizacji metodą chemicznego naparowywania próżniowego (CVD) z użyciem układu Ion-Bond. Procesy CVD przeprowadzono na 50 próbkach stopu MAR 247 w atmosferze ochronnej azotu/wodoru w czasie 1–12h oraz temperaturze 1040°C i ciśnieniu wewnętrznym 150 mbar. Charakterystykę mikrostrukturalną i analizę składu chemicznego powłok zbadano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego HITACHI SU70 z detektorem EDS. Pomiary mikrotwardości powłok wykonano na twardościomierzu ZWICK metodą Vickersa. Badanie zużycia ślizgowego wykonano metodą trzy rolki /stożek zgodnie z Polską Normą (PN-83/H04302). Przyczepność powłok oceniano za pomocą Micro-Combi-Tester z progresywnie narastającą siłą od 0 do 100 N. Badania żaroodporności przeprowadzono w temperaturze 1100°C w czasie 24h bez zastosowania atmosfery ochronnej. Wysokotemperaturową próbę zmęczenia przeprowadzono z użyciem maszyny wytrzymałościowej MTS 810 sterowanej siłą przy stałej amplitudzie naprężenia w zakresie 350 MPa do 650 MPa z częstotliwością 20 Hz i temperaturze 900°C.

2. Najważniejsze wyniki

Chemiczne osadzanie z fazy gazowej dla stopu niklu MAR 247 prowadzono z użyciem zoptymalizowanych warunków procesu tj. w temperaturze 1040°C przez 12h w ochronnej atmosferze wodoru. Wykazano, że proces ten pozwala uzyskać pełnowartościową powłokę NiAl o grubości w zakresie od 20 μm do 30 μm. Zastosowanie powłoki poprawiło właściwości mechaniczne materiału, takie jak twardość i zużycie, prawie dwukrotnie w stosunku do rodzimego materiału stopu niklu MAR 247. Powłoki aluminidkowe wykazywały bardzo dobrą przyczepność podczas testów zarysowania, ponieważ po teście nie zaobserwowano rozpadu warstwy na powierzchni powłoki. Badania żaroodporności wykazały, że powłoka z utlenionego aluminium charakteryzowała się doskonałą trwałością i szczelnością zgorzeliny ochronnej, gdyż nie zaobserwowano odprysków zgorzeliny na powierzchni badanej powłoki. Struktura fazowa zgorzeliny składała się głównie z faz międzymetalicznych NiAl i NiAl₂O₄ oraz stabilnego tlenku α-Al₂O₃, który poprawia odporność na korozję stopów niklu. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że technologię CVD o zoptymalizowanych parametrach można z powodzeniem zastosować do poprawienia właściwości mechanicznych i fizyko-chemicznych dla zwiększenia wydajności stopów niklu.

3. Dyskusja i wnioski

Optymalizacja parametrów CVD dla stopu niklu MAR247 pozwoliła uzyskać skuteczną powłokę termiczną o równomiernej grubości. Powłoka charakteryzowała się bardzo dobrą przyczepnością i odpornością termiczną. Technologia CVD ze starannie określonymi parametrami została z powodzeniem zastosowana do poprawienia właściwości mechanicznych stopu niklu MAR 247. Stwierdzono istotne polepszenie odpowiadzi wytrzymałościowej o około 200 MPa podczas cyklicznego obciążenia w temperaturze 900°C. Potwierdzono, że zastosowanie warstwy aluminidkowej może skutecznie chronić materiał rodzimy przed takimi procesami jak utlenianie, korozja czy zużycie, a tym samym wydłużyć jego żywotność.

4. Literatura

- [1] Kukła D., Kopec M., Kowalewski Z.L., Politis D.J., Józwiak S., Senderowski C., Thermal barrier stability and wear behavior of CVD deposited aluminide coatings for MAR 247 nickel superalloy, *Materials*, ISSN: 1996-1944, DOI: 10.3390/ma13173863, Vol.13, No.17, pp.3863-1-11, 2020
- [2] Kopec M., Kukła D., Yuan X., Rejmer W., Kowalewski Z.L., Senderowski C., Aluminide thermal barrier coating for high temperature performance of MAR 247 nickel based superalloy, *Coatings*, ISSN: 2079-6412, DOI: 10.3390/coatings11010048, Vol.11, No.1, pp.48-1-12, 2021