

Połączony wpływ mikrostruktury i indukowanego laserowo przypowierzchniowego wzbogacania azotem na wysokotemperaturowe utlenianie stopu tytanu

Rozwój nowych materiałów na bazie tytanu do zastosowań wysokotemperaturowych wynika z potrzeby ograniczenia poboru tlenu i jego rozpuszczania w materiale podczas pracy w podwyższonych temperaturach. W ciągu ostatnich trzech dekad prace badawcze doprowadziły do opracowania zaawansowanych stopów, takich jak TIMETAL834, które zawierają pierwiastki znacząco zwiększające odporność na utlenianie w wysokiej temperaturze. Jest to jeden z najnowocześniejszych stopów komercyjnych stosowanych w lotnictwie. Mimo to temperatury pracy tego stopu mieszczą się w zakresie od średnich do wysokich, sięgając 600 °C, co ogranicza jego potencjalne zastosowanie. Wytwarzanie części ze stopów tytanu, o podwyższonej odporności na wysokie temperatury, mogłoby potencjalnie zmniejszyć masę np. silników lotniczych, które obecnie wykonywane są z nadstopów żelaza lub niklu.

Wysokotemperaturowe utlenianie stopów tytanu w powietrzu jest przede wszystkim kontrolowane przez rozpuszczanie tlenu w metalu. Niemniej jednak azot obecny w powietrzu poprawia odporność na utlenianie tych stopów poprzez ograniczenie wnikania tlenu w głąb materiału [1]. Dlatego można przypuszczać, że obróbka powierzchniowa celowo wprowadzająca azot do warstwy wierzchniej, mogłaby zwiększyć odporność tytanu na wysokotemperaturowe utlenianie. Kontrolowane wzbogacanie warstwy powierzchniowej azotem w stopach Ti można osiągnąć poprzez laserową obróbkę powierzchni w powietrzu. Przy czym należy pamiętać, że reakcje chemiczne zachodzące podczas obróbki laserowej nie podlegają tym samym zasadom, które rządzą równowagowymi procesami termicznymi, takimi jak utlenianie.

Kolejnym istotnym aspektem jest duża różnorodność mikrostrukturalna stopów tytanu typu near- α , w tym TIMETAL834. Właściwości mechaniczne i użytkowe wynikają z kluczowych cech jego mikrostruktury, takich jak wielkość, morfologia i rozmieszczenie przestrzenne faz α i β [2,3]. Charakterystyka podłoża – jego mikrostruktura, skład fazowy oraz topografia powierzchni – ma bezpośredni wpływ na skuteczność i rezultat późniejszej obróbki laserowej. Mikrostruktura podłoża determinuje także skład warstwy tlenkowej po utlenianiu, a tym samym kontroluje zachowanie materiału podczas procesu utleniania [3].

Dlatego głównym celem projektu jest analiza połączonego wpływu mikrostruktury oraz wzbogacenia powierzchni w azot poprzez obróbkę laserową (LST) w powietrzu wieloskładnikowego stopu tytanu typu near- α (TIMETAL834: Ti-5.8Al-4.0Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.35Si, % wag.) na jego utlenianie wysokotemperaturowe. Projekt będzie koncentrował się na trzech kluczowych aspektach: modyfikacji mikrostruktury, przeprowadzeniu obróbki laserowej (LST) na podłożach o zróżnicowanej mikrostrukturze (zwracając szczególną uwagę na zawartość azotu) oraz wykonaniu testów wysokotemperaturowego utleniania przed i po obróbce LST. Projekt będzie obejmował długotrwałe (do 1000 h) testy utleniania, krótkotrwałe (do 100 h) testy w zróżnicowanych atmosferach oraz eksperymenty z wykorzystaniem znakowanego powietrza w celu śledzenia drogi azotu i tlenu podczas utleniania. Badania eksperymentalne będą wspierane obliczeniami komputerowymi, w celu zrozumienia podstawowych zależności między azotem a pierwiastkami stopowymi.

Realizacja tego projektu może potencjalnie rozszerzyć zastosowanie tytanu i jego stopów w aplikacjach wysokotemperaturowych, wydłużyć ich trwałość eksploatacyjną oraz zmniejszyć masę elementów, takich jak komponenty w samolotach, silnikach lotniczych czy turbinach gazowych – co ostatecznie przyczyni się do poprawy efektywności energetycznej, zgodnie z założeniami zielonej transformacji.

- [1] I. Abdallah, C. Dupressoire, L. Laffont, D. Monceau, A. Vande Put, Corros Sci 153 (2019) 191–199.
- [2] P. Davies, R. Pederson, M. Coleman, S. Biroasca, Acta Mater 117 (2016) 51–67.
- [3] D. Kuczyńska-Zemła, M.C. Marco de Lucas, L. Lavissee, M.R. Zemła, F. Herbst, V. Pacorel, P. Kwaśniak, Corros Sci 255 (2025).