

Ruch lotniczy w Europie rośnie bardzo dynamicznie i oczekuje się, że do 2036 roku ulegnie podwojeniu. Biorąc pod uwagę emisję CO<sub>2</sub> wynikającą z takiego wzrostu zainteresowania podróżami lotniczymi, branża transportowa jest zobligowana i zdeterminowana, aby zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych poprzez rozwój nowych technologii. Aby spełnić wymagania stawiane przez Unię Europejską, obecnie stosowane łopatki silników odrzutowych, a także projektowane komponenty będą pracować w stechiometrycznej temperaturze spalania. Ekstremalne temperatury występować będą również na etapach przyspieszania lotów naddźwiękowych, które są przyszłością lotnictwa cywilnego oraz wojskowego, takich jak myśliwce przechwytyjące, rakiety i drony wielozadaniowe. Bez opracowania nowych materiałów zdolnych do pracy w ekstremalnie wysokich temperaturach ciężko wyobrazić sobie przyszłość lotów naddźwiękowych i eksploracji przestrzeni kosmicznej. **Monokrystaliczne nadstopy niklu** to obecnie **niezastąpiona grupa** materiałów do zastosowań lotniczych w temperaturze do 1100–1150°C i na nich opiera się dalszy rozwój jednostek napędowych. Cechą charakterystyczną monokrystalicznych nadstopów niklu jest wysoki udział wydzieleni fazy  $\gamma'$  w temperaturze do 1000°C. Jednakże, powyżej 1000°C następuje wyraźny spadek tego udziału wynikający z niestabilności wydzieleni, wzrostu szybkości dyfuzji oraz zmiany morfologii wydzieleni, co w konsekwencji prowadzi do spadku wytrzymałości. Odporność na pełzanie monokrystalicznych nadstopów niklu zależy głównie od udziału wydzieleni  $\gamma'$ , ich morfologii i wielkości oraz składu chemicznego w temperaturze eksploatacji. Możliwości nowych silników lotniczych w których znajdują zastosowanie nadstopy niklu, są obecnie ograniczone przez stabilność fazy umacniającej  $\gamma'$ . **Opracowanie nowej generacji monokrystalicznych nadstopów niklu, które będą cechować się odpowiednią żarowytrzymałością i żaroodpornością w temperaturach roboczych powyżej 1150°C wymaga wprowadzenia dodatkowych pierwiastków, które nie były dotąd szeroko analizowane.**

Rozwój składu chemicznego i technologii wytwarzania monokrystalicznych nadstopów niklu, jest podyktowany wzrostem temperatury gazów roboczych, które napędzają łopatki turbin wysokiego ciśnienia w silnikach odrzutowych. „Czyste” wydzielenia  $\gamma'$  (Ni<sub>3</sub>Al) zaczynają koagulować już w temperaturze około 645°C, co jest bardzo niekorzystne z punktu widzenia długotrwałej pracy silników. Po dodaniu pierwiastków takich jak Ti, Ta, Hf, Re i Ir i Pt, skład wydzieleni fazy  $\gamma'$  się zmienia i są one stabilne w wyższych temperaturach. Do tej pory kontrolę stabilności wydzieleni  $\gamma'$  osiągnano głównie poprzez wprowadzanie do nadstopów niklu pierwiastków trudnotopliwych, aczkolwiek bez szczegółowego rozpatrywania wszystkich pierwiastków z grupy **platynowców** (*ang. Platinum Group Metals*). Badania nad stabilnością mikrostruktury i wytrzymałością monokrystalicznych nadstopów niklu zawierających PGM skupiały się głównie na dodatkach renu i rutenu. W kilku pracach badawczych wykazano, że dodatek **platyny** do nadstopu niklu powoduje imponujący wzrost **żarowytrzymałości i żaroodporności** w temperaturze **powyżej 1150°C**. Pomimo ogromnych możliwości jakie mogą dawać monokrystaliczne nadstopy z dodatkiem platyny, nie zostało to szczegółowo zbadane i nadal istnieje wiele luk badawczych. Aby uzyskać wysoką wytrzymałość, monokrystaliczne nadstopy niklu projektuje się tak, aby ich mikrostruktura w temperaturze pokojowej składała się z 60–75% wydzieleni  $\gamma'$  w kształcie sześciątów. Optymalny udział objętościowy wydzieleni  $\gamma'$ , korzystną morfologię i początkową wielkość można osiągnąć poprzez modyfikację składu chemicznego i wielostopniową obróbkę cieplną. **Zachowanie odpowiednio wysokiego ułamka objętościowego wydzieleni  $\gamma'$  w mikrostrukturze nadstopów niklu podczas eksploatacji w podwyższonej temperaturze jest kamieniem milowym, stanowiącym przewagę konkurencyjną w wytwarzaniu komponentów znajdujących zastosowanie w lotnictwie i kosmonautyce.**

Głównym **celem naukowym** jest opracowanie zależności **proces-mikrostruktura-właściwości** dla **monokrystalicznych** nadstopów niklu zawierających dodatek **platyny**, o bardzo wysokiej stabilności powyżej 1150°C. Przeprowadzone zostanie modelowanie komputerowe i analizy eksperymentalne zjawisk mikrostrukturalnych mających wpływ na powstawanie wydzieleni  $\gamma'$  charakteryzujących się wymaganymi parametrami stereologicznymi, stabilnością i wynikającą z tego odpornością na pełzanie.

Głównym **celem technologicznym** jest zaprojektowanie i wytworzenie w warunkach rzeczywistych monokrystalicznych nadstopów niklu zawierających Pt, charakteryzujących się wyjątkowo wysoką odpornością na pełzanie, wysoką odpornością na utlenianie i korozję wysokotemperaturową oraz stabilną mikrostrukturą w podwyższonej temperaturze. Następujące zmienne zostaną przeanalizowane w celu kontroli zmian mikrostruktury: (1) początkowa zawartość platyny w nadstopie niklu; (2) parametry obróbki cieplnej; (3) stopień degradacji mikrostruktury wraz ze wzrostem temperatury i zmiany warunków eksploatacji.

Podsumowując, **pytanie badawcze** brzmi: „Czy możemy wyprodukować monokrystaliczne nadstopy niklu zawierające Pt o stabilnej mikrostrukturze, wysokiej odporności na utlenianie, wysokiej odporności na korozję wysokotemperaturową i wytrzymałości na pełzanie przewyższającej dostępne na rynku materiały niezawierające Pt? Aby udzielić odpowiedzi, dotyczącej przydatności nowych nadstopów zawierających Pt jako łopatek turbiny silników odrzutowych zostaną one scharakteryzowane poprzez analizę ich mikrostruktury i właściwości użytkowych (tj. odporności na utlenianie, odporności na korozję i wytrzymałości na pełzanie) z dostępnymi na rynku nadstopami. **Na koniec, jako dowód słuszności koncepcji, wyprodukowane zostaną przykładowe łopatki turbiny silnika odrzutowego wykonane z autorskich monokrystalicznych nadstopów zawierających Pt, o wstępnie zdefiniowanych (zorientowanych na zastosowanie) rozmiarach i geometrii.**