

# Oddziaływanie warunków procesu lutowania na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne połączeń elementów konstrukcji silników lotniczych

Kamil Krystek

## STRESZCZENIE

W pracy zrealizowano badania umożliwiające analizę wpływu zmian kluczowych parametrów procesu lutowania piecowego elementów blaszanych z nadstopów niklu na mikrostrukturę oraz właściwości wytworzonych złączy. Do badań przyjęto dwa nadstopy niklu – Hastelloy X oraz Inconel 718 – lutowane stopami lutowniczymi na osnowie niklu – Vitta-Braze 1996 (Ni-13Cr-4,5Fe-4,5Si-2,7B) oraz Palnicro 36M (Ni-36Pd-10,5Cr-3B-0,5Si), odpowiednio. Proces lutowania prowadzono w warunkach przemysłowych. Wytypowano trzy najbardziej newralgiczne czynniki mogące zakłócić jego prawidłowy przebieg: przerwanie operacji nagrzewania na różnych jego etapach, zmiana czasu wygrzewania w temperaturze lutowania oraz zmiana szerokości szczeliny lutowniczej. Plan badawczy podzielono na trzy segmenty, dedykowane jednemu z wymienionych czynników. Do badań przyjęto ustandaryzowany pakiet próbek, które montowano z blach, wg założeń opracowanych dla złączy zakładkowych.

W pierwszym segmencie badań procesy lutowania przerywano na wybranych etapach nagrzewania, po czym wsad chłodzono do temperatury pokojowej, a następnie poddawano go ponownemu lutowaniu. Badano złącza po przerwaniu lutowania oraz po jego poprawie. Kolejną część planu badawczego dotyczyła oceny wpływu czasu lutowania (w zakresie 1-60 min) na proces kształtowania mikrostruktury i właściwości fizycznych złączy badanych konfiguracji materiałów. Natomiast w trzecim segmencie badań analizie poddano oddziaływanie szerokości szczeliny lutowniczej (w zakresie 0,05-0,5 mm) na wybrane cechy złączy. W każdym segmencie badań, w przypadku nadstopu Inconel 718 uwzględniano również jego stan umocniony wydzieleniowo. Przeprowadzone badania obejmowały obserwacje makro- i mikrostruktury (SEM), analizę składu chemicznego w mikroobszarach (SEM/EDS), próby ścinania i odrywania złączy, a także próby rozplątności lutu. Podjęto się również analizy składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) oraz oceny zjawisk cieplnych występujących podczas nagrzewania lutu oraz pary materiałowej lut/materiał rodzimy metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC).

Zrealizowany program badawczy pozwolił zgromadzić dane umożliwiające ocenę zmian mikrostruktury oraz właściwości użytkowych złączy lutowanych próżniowo blach z nadstopów Hastelloy X i Inconel 718, w zmiennych warunkach procesu technologicznego. Dokonano charakterystyki ewolucji mikrostruktury złączy w zależności od zmiany kluczowych parametrów i przebiegu lutowania, z uwzględnieniem opisu składników fazowych poszczególnych stref mikrostruktury materiału rodzimego i lutu (dyfuzyjnej, krystalizacji izo- i atermicznej). Przeprowadzono również ocenę wpływu parametrów procesu na warunki płynięcia lutu oraz właściwości mechaniczne złączy. Otrzymane wyniki stanowią podstawę opracowania procedur jakościowo-technologicznych, wdrożonych do praktyki produkcyjnej w celu ustandaryzowania postępowania w przypadku wystąpienia zdarzeń zakłócających przebieg procesu lutowania podzespołów silników lotniczych.

**Słowa kluczowe:** nadstopy, lutowanie próżniowe, umacnianie wydzieleniowe, mikrostruktura, silniki lotnicze