

Tytuł: Opracowanie i wytworzenie certyfikowanych materiałów odniesienia proszków stali i stopów niklu na potrzeby kontroli jakości procesu produkcji z zastosowaniem technologii przyrostowych

Autor: Piotr Knapik

Promotor: prof. dr hab. inż. Piotr Konieczka

Opiekun ze strony przedsiębiorstwa: dr. inż. Michał Kubecki

Słowa kluczowe: certyfikowane materiały odniesienia, technologie przyrostowe, metalurgia proszków, stabilność i niepewność pomiaru

Streszczenie

Rozwój technologii przyrostowych z metali stworzył nowe wyzwania dla metrologii chemicznej, zwłaszcza w zakresie zapewnienia jakości i wiarygodności procesów wytwórczych. Materiały odniesienia odgrywają w tym obszarze istotną rolę, umożliwiając wzorcowanie metod, walidację procedur i kontrolę wyników. Certyfikowane wzorce w postaci proszków metalicznych są jednak nadal trudno dostępne, a oferowane materiały lite i wiórowe nie odpowiadają specyfice druku 3D.

Celem pracy było opracowanie i certyfikacja dwóch materiałów odniesienia w formie proszków: stali nierdzewnej 316L i stopu niklu Inconel 718. Są to materiały szeroko stosowane w technologiach przyrostowych, takich jak Powder Bed Fusion, Directed Energy Deposition i Metal Binder Jetting, w sektorach o wysokich wymaganiach jakościowych, m.in. w lotnictwie i energetyce.

W celu zapewnienia metrologicznej spójności przypisywanych wartości przeprowadzono badanie międzylaboratoryjne z udziałem ośmiu niezależnych laboratoriów, stosujących różne techniki analityczne. Wyniki oceniono odpornymi metodami statystycznymi. Wartości certyfikowane przypisano wyłącznie tym pierwiastkom, dla których spełniono wymagania dotyczące liczby i jakości danych uzyskanych w badaniu międzylaboratoryjnym. Obejmowały one główne składniki stopowe oraz wybrane zanieczyszczenia, m.in. Cr, Ni, Mo, Mn, Co, Cu, C, S, Si i N w stali 316L oraz Ni, Cr, Mo, Nb, Al, Ti, Fe, C, S, Si i N w Inconel 718. Budżet niepewności oszacowano jako sumę składowych wynikających z charakterystyki, jednorodności i stabilności, z zastosowaniem współczynnika rozszerzenia $k = 2$.

Stabilność proszków oceniono na podstawie testów transportowych oraz długoterminowego monitorowania podczas przechowywania. W obu przypadkach nie stwierdzono istotnych zmian składu chemicznego. Na tej podstawie ustalono okres ważności materiałów odniesienia: 70 miesięcy dla stali 316L i 75 miesięcy dla stopu Inconel 718.

Praca potwierdziła możliwość opracowania stabilnych, jednorodnych i metrologicznie wiarygodnych materiałów odniesienia w postaci proszków metalicznych, dostosowanych do wymagań technologii przyrostowych. Uzyskane rezultaty wypełniają lukę w dostępności tego typu wzorców, umożliwiając spójne analizy chemiczne proszków wykorzystywanych w druku 3D i potwierdzając, że przyjętą strategię certyfikacji można zastosować także do innych materiałów proszkowych. Opracowane materiały odniesienia zostały wdrożone do oferty sprzedażowej Sieci Badawcza Łukasiewicz – Górnośląskiego Instytutu Technologicznego.