Streszczenie

Wpływ parametrów wytwarzania technologią SLM oraz obróbki poprocesowej na strukturę i właściwości aplikacyjne wybranych stopów na bazie miedzi.

Autor: mgr inż. Bartosz Jóźwik
Promotor: dr hab. inż. Santina Topolska, Prof. Pol. Śl.
Opiekun pomocniczy: dr inż. Marcin Polak

Głównym celem doktoratu było opracowanie zestawów parametrów procesowych w technologii SLM dla trzech stopów na bazie miedzi: CuSn10P, CuNi2SiCr oraz CuCr1Zr, umożliwiających otrzymanie elementów o gęstości względnej w zakresie 99 ± 1%, a także opracowanie parametrów obróbki poprocesowej prowadzącej do poprawy właściwości użytkowych elementów w porównaniu ze stanem surowym.

Dysertacja rozpoczyna się od przeglądu literaturowego, który przedstawia główne grupy technologii przyrostowych, stopień ich rozpowszechnienia i znaczenie rynkowe, aby przedstawić tło naukowe i aplikacyjne dla podjętych badań. Następnie podana zostaje definicja strategii druku oraz jej sposób implementacji w oprogramowaniu dostarczonym przez producenta. Opisane zostają aspekty fizyczne technologii SLM, charakterystyka stosowanego źródła ciepła i sposób jego interakcji z materiałem wsadowym, z którego wynikają otrzymywane właściwości materiałowe. W dalszym ciągu uwaga zostaje skupiona na dostępnej literaturze poświęconej zastosowaniu technologii przyrostowych do przetwórstwa miedzi i jej stopów. Przegląd literaturowy kończy się na opisie wybranych obróbek cieplnych, chemicznych i mechanicznych, które stosowane są dla wyrobów produkowanych przyrostowo, dzięki czemu wyłonione zostają metody obróbki poprocesowej, mogące poprawić finalne właściwości elementów badanych w ramach doktoratu.

Część badawcza rozpoczyna się od sformułowania celu pracy, tezy badawczej oraz pytań badawczych, a następnie opisana zostaje metodyka badawcza od projektowania procesu przyrostowego, przez obróbki poprocesowe, po badanie właściwości materiałowych. W przypadku każdego stopu opisany zostaje eksperyment mający na celu wyznaczenie wpływu parametrów procesowych: mocy lasera, szybkości skanowania

i szerokości *hatch distance* na mikrostrukturę drukowanych elementów, dążący do otrzymania próbek o maksymalnej gęstości, zbliżonej do gęstości teoretycznej. W przypadku stopu CuNi2SiCr podjęto się również alternatywnych metod optymalizacji opartych o celowo wprowadzoną porowatość, czy dążących do redukcji minimalnego rozmiaru drukowanego elementu. Istotnym aspektem poruszanym w badaniach był wpływ recyrkulacji proszku na jakość otrzymywanych elementów, a także obróbka poprocesowa: cieplna, cieplno-mechaniczna, chemiczna i wibrościerna, mająca za zadanie poprawić finalne właściwości produktu końcowego, takie jak chropowatość czy wytrzymałość mechaniczna. W przypadku optymalizacji procesu druku dla stopu CuCr1Zr, wykorzystano narzędzia programistyczne w języku Python do wykonania macierzy *Design of Experiment*, statystycznej analizy danych oraz utworzenia modelu regresji liniowej opisującego wpływ parametrów procesowych oraz ich wzajemnej interakcji na gęstość uzyskiwanych próbek. Wśród najważniejszych wyników badań można wyróżnić uzyskanie zestawów parametrów procesowych dla każdego z materiałów, pozwalających na osiągnięcie co najmniej 99,40% gęstości względnej stopów zmierzonej metodą hydrostatyczną. Dla stopu CuNi2SiCr opracowano dodatkowo strategię opartą o spiekanie przeznaczoną do wytwarzania porowatych, periodycznych struktur komórkowych oraz alternatywną strategię przeznaczoną do wytwarzania ścianek o grubości poniżej 100 µm. Ponadto zostały opracowane parametry obróbki cieplnej dla stopów przeznaczonych do utwardzania wydzieleniowego, zwiększającej twardość i przewodność elektryczną, oraz obróbki chemicznej i wibrościernej nacelowanej na zmniejszenie chropowatości drukowanych powierzchni. Wykorzystano również model regresji liniowej do opisu wpływu parametrów procesowych na uzyskiwaną gęstość dla materiału CuCr1Zr, uzyskując współczynnik R^2 równy 0,918.

Podsumowanie pracy stanowił opis praktycznych zastosowań wykonanych badań takich jak prototypy radiatorów, podłoży katalitycznych i elementów ekranujących promieniowanie elektromagnetyczne. Wymiernym efektem pracy było wykonanie celi pomiarowej spektrometru dielektrycznego o udokumentowanym działaniu tłumiącym oraz zgłoszenie do urzędu patentowego technologii chemicznego polerowania wydruków ze stopów miedzi wspomaganego ultradźwiękami. Wymienione rozwiązania techniczne odznaczają się wysokim poziomem gotowości technologicznej i stanowią istotny wkład w potencjał technologiczny jednostki zatrudniającej doktoranta.

Słowa kluczowe: wytwarzanie przyrostowe, selektywne przetapianie wiązką lasera, stopy miedzi, optymalizacja procesu technologicznego, obróbka poprocesowa