

mgr inż. Janusz KLUCZYŃSKI  
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn  
Wydział Inżynierii Mechanicznej  
Wojskowa Akademia Techniczna

## STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt. *"Kształtowanie właściwości wytrzymałościowych elementów ze stali 316L wytworzonych przyrostową techniką SLM"*

Wytwarzanie przyrostowe jest jedną z najnowszych, najszybciej rozwijających się i najbardziej perspektywicznych technologii. Jedną z największych jej zalet decydujących w głównej mierze o skali zainteresowania potencjalnych użytkowników jest możliwość względnie prostego i zautomatyzowanego wytwarzania elementów konstrukcyjnych o skomplikowanych kształtach. Zastosowanie tej techniki do wytwarzania elementów ze stali 316L otwiera nowe możliwości wytwarzania zaawansowanych części konstrukcyjnych o dużym potencjale aplikacyjnym w obszarze medycyny i inżynierii biomedycznej, przemysłu chemicznego oraz przemysłu morskiego.

Jedną z zasadniczych kwestii podjętych w pracy był dobór parametrów przyrostowego wytwarzania i obróbki cieplnej, jako zabiegu post-procesowego, w celu znalezienia związku między zmianami wartości parametrów stapania proszku stali 316L, a swoistą odpowiedzią na wprowadzone modyfikacje w postaci zmiany właściwości użytkowych elementów wytworzonych przyrostowo. Prace prowadzono w taki sposób, aby rozpatrywane warianty parametrów wytwarzania i zabiegów post-procesowych spełniały wymagania niezbędne do przemysłowej aplikacji.

Zmiana parametrów wytwarzania przyrostowego znajduje odzwierciedlenie przede wszystkim w wynikach badań porowatości i mikrotwardości stali 316L wytworzonej techniką SLM. Największy wpływ na porowatość wytworzonego przyrostowo materiału ma odległość między wektorami naświetlania oraz prędkość naświetlania.

We wszystkich elementach modelowych wystąpiły naprężenia ściskające. Najwyższe wartości naprężeń własnych wynoszące  $\sigma_1 = -142$  MPa i  $\sigma_2 = -151$  MPa zostały zarejestrowane w próbce charakteryzującej się największą porowatością. Wartości naprężeń własnych w próbce wytworzonej przy użyciu najwyższej gęstości energii naświetlania były niższe i wyniosły  $\sigma_1 = -44$  MPa i  $\sigma_2 = -95$  MPa.

Zauważono związek między gęstością energii naświetlania i modułem sprężystości wzdłużnej wyznaczonym na podstawie statycznej próby rozciągania, gdzie wraz ze wzrostem gęstości energii naświetlania zwiększa się wartość modułu.

Na podstawie analizy wyników badań niskocyklowego zmęczenia zarejestrowano znaczące różnice w polu powierzchni otrzymanych pętli histerezy zwłaszcza w zakresie amplitud odkształcenia całkowitego wynoszącym 0,30% - 0,45%, co bezpośrednio przekłada się na ilość energii potrzebnej do odkształcenia danego elementu. Analiza mikrobudowy powierzchni przelomów zmęczeniowych wykazała, że wytworzone przyrostowo próbki cechują się bardziej złożoną morfologią od próbek referencyjnych (z walcowanej blachy). Obserwowana warstwowość mikrostruktury próbek wytworzonych przyrostowo wpłynęła na występowanie uskoków i wielopłaszczyznowość ich pęknięcia.

Rozpatrzono trzy warianty zabiegów cieplnych: izostatyczne prasowanie na gorąco (HIP), przesycanie oraz przeprowadzone po sobie HIP i prasowanie. Zastosowanie zabiegu obróbki cieplnej w postaci HIP spowodowało całkowity zanik charakterystycznej warstwowości struktury wytworzonych przyrostowo elementów. W wyniku zastosowania HIP, znaczącemu zmniejszeniu uległa również liczba pustek, w szczególności w próbkach o dużej porowatości. Powolne chłodzenie po wyżarzaniu podczas HIP wpłynęło na wzrost ziarna w obu rozpatrywanych płaszczyznach.

Przesycanie spowodowało zwiększenie liczby i wielkości pustek w porównaniu do mikrostruktury materiału obserwowanej po zabiegu HIP, co szczególnie widoczne było w próbkach o zwiększonej porowatości w stanie przed obróbką cieplną (z  $\rho=0,879\%$  do  $\rho=2,41\%$  (174%) w płaszczyźnie xy oraz z  $\rho=0,957\%$  do  $\rho=1,840\%$  (92%) w płaszczyźnie yz).

Wartości amplitudy naprężenia  $\sigma_a$  w funkcji liczby nawrotów obciążenia wykazały znacznie mniejsze zmiany amplitudy naprężenia w całym przedziale liczby cykli zmian obciążenia N niż w przypadku próbek nieobrobionych cieplnie (mniejsza skłonność do osłabienia materiału). W części wytworzonych przyrostowo i obrobionych cieplnie próbek etap cyklicznego osłabienia ma charakter przejściowy i w zakresie 7% - 25%  $N_f$  przy wartościach  $\varepsilon_{ac} = 0,30, 0,35, 0,40$  i  $0,45\%$  oraz 85% - 90% przy  $\varepsilon_{ac} = 0,50\%$ . Uzyskane przebiegi odkształceń elementów wytworzonych przyrostowo i poddanych dodatkowej obróbce cieplnej wskazują na znaczący udział składowej plastycznej w procesie niszczenia próbek.

.....