

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TK12022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Charakterystyka mikrostrukturalna oraz badania wytrzymałościowe stali Maraging M300 wytworzonej technikami przyrostowymi

Judyta Sienkiewicz¹, Paweł Płatek¹, Jacek Janiszewski¹, Marek Polański², Marcin Sarzyński¹, Kamil Cieplak¹, Janusz Kluczyński³, Krzysztof Grzelak³

¹Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna

²Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna

³Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna

email: judyta.sienkiewicz@wat.edu.pl, pawel.platek@wat.edu.pl, jacek.janiszewski@wat.edu.pl, marek.polanski@wat.edu.pl, marcin.sarzyński@wat.edu.pl, kamil.cieplak@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: W niniejszej pracy przedstawiono wybrane wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu MAT4AM dotyczących badań technologicznych oraz badań właściwości wytrzymałościowych materiałów wytworzonych przyrostowo z proszku stali Maraging M300 przewidzianych do zastosowań obronnych. Przy użyciu technik SLM (Selective Laser Melting) i LENS (Laser Engineered Net Shaping) wytworzono próbki, dzięki którym określono wpływ parametrów technologicznych na mikrostrukturę materiału, a następnie wykonano badania właściwości mechanicznych dla wybranego zestawu parametrów technologicznych. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że wysoka wytrzymałość mechaniczna i dobre właściwości plastyczne próbek wytworzonych ze stali Maraging M300 za pomocą technik przyrostowych czynią ją interesującą dla przemysłu obronnego, jak również innych gałęzi przemysłu cywilnego.

SŁOWA KLUCZOWE: technologie addytywne, Additive Manufacturing, SLM, LENS, mikrostruktura, właściwości mechaniczne

1. Wprowadzenie

Stale maraging charakteryzują się właściwościami, takimi jak wysoka wytrzymałość, plastyczność (ciągliwość) oraz dobra spawalność [1]. Ze względu na wysoką ciągliwość i dobrą spawalność, są one również atrakcyjnymi materiałami dla technik wytwarzania addytywnego [1-3].

Stale wytwarzane technikami addytywnymi posiadają odmienne właściwości w porównaniu do tych samych stali otrzymywanych technikami konwencjonalnymi. W przypadku stali maraging, procesy wytwarzania addytywnego pozwalają na uzyskanie materiału o np. wyższej wytrzymałości na rozciąganie (R_m do 2200 MPa). Warto również zauważyć, że właściwości stali zależą od mikrostruktury, która kształtuje się podczas wytwarzania, a także obróbki cieplnej. Ponadto na właściwości próbek wytworzonych metodami addytywnymi może mieć wpływ kierunek pobierania próbek do badań, tj. czy próbki były pobierane w kierunku prostopadłym czy równoległym do kierunku budowy [4].

Celem niniejszej pracy jest a) badanie procesów przyrostowych poprzez wykonanie próbek z zaprojektowanych materiałów w różnych kształtach i rozmiarach przy zastosowaniu różnych parametrów wytwarzania, skutkujących uzyskaniem różnych szybkości nagrzewania i chłodzenia oraz b) opracowanie charakterystyk materiałowych poszczególnych stopów, które zostaną wykorzystane przy projektowaniu parametrów procesów produkcyjnych z zastosowaniem technologii przyrostowych.

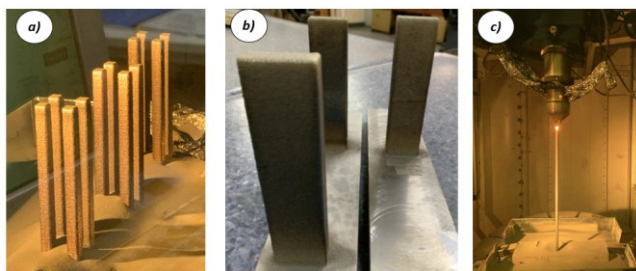
2. Wytworzenie próbek do badań

Do wytworzenia materiału M300 wykorzystano dwie techniki przyrostowe – SLM oraz LENS. Za pomocą obydwu technik wytworzono próbki materiałowe pozwalające na przeprowadzenie badań w zakresie: doboru parametrów technologicznych oraz określenia właściwości mechanicznych z uwzględnieniem różnych metodyk badawczych. W celu przeanalizowania wpływu geometrii wytwarzanych detali na porowatość, jakość mikrostruktury wytwarzanego materiału jak również na wytrzymałość mechaniczną przyjęto, że poszczególne rodzaje próbek materiałowych będą wykonywane w dwóch wariantach: cienkościennym (o grubości nie przekraczającej 2,5 mm) oraz monolitycznym.

Na rysunku 1 i rysunku 2 przedstawiono widok ogólny zaproponowanych przygotówek materiałowych niezbędnych do wykonania próbek do badań właściwości mechanicznych. Zostały one poddane zarówno obróbce cieplnej, jak i dalszej obróbce mechanicznej (wycinanie elektroerozyjne oraz szlifowaniu).

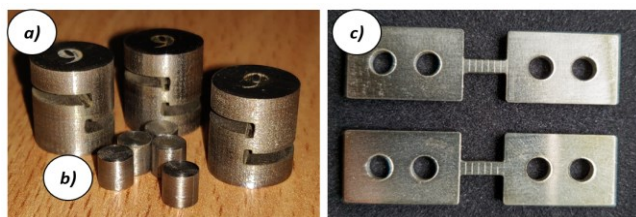


Rys. 1. Widok ogólny wykonanych prefabrykatów ze stali maraging M300 za pomocą techniki SLM do przygotowania próbek i przeprowadzenia badań właściwości mechanicznych: a) – cienkościenne do testów rozciągania, b) – monolitycznych do testów rozciągania i ściskania, c) – do testów ścinania



Rys. 2. Widok ogólny prefabrykatów ze stali maraging M300 wykonanych za pomocą techniki LENS do przygotowania próbek i przeprowadzenia badań właściwości mechanicznych: a) – pręty na próbki do testów rozciągania, b) – prefabrykaty monolityczne do wykonania próbek do testów rozciągania, ściskania oraz ścinania, c) – pręt kwadratowy o długości 500 mm do wykonania próbek do testów rozciągania

Na rysunku 3 przedstawiono widok ogólny gotowych próbek materiałowych wykorzystanych w prowadzonych badaniach mechanicznych.



Rys. 3. Widok ogólny gotowych próbek wytrzymałościowych wykonanych ze stali maraging M300: a) – próbka na ścinanie, b) – próbka na ściskanie, c) – próbka na rozciąganie

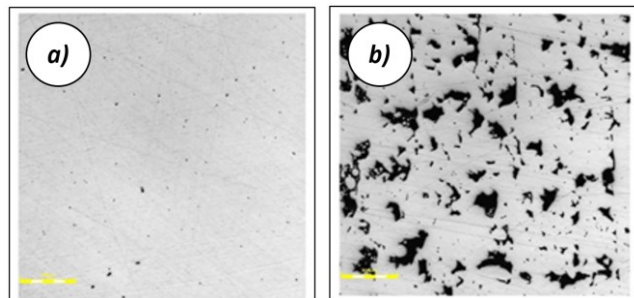
3. Wyniki badań

Przeprowadzono ocenę porowatości, mikrostruktury oraz wytrzymałości mechanicznej wytworzonego za pomocą techniki przyrostowej SLM oraz LENS materiału w postaci stali Maraging M300. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe wyniki badań porowatości próbek materiałowych wytworzonych za pomocą techniki SLM. Na podstawie przedstawionych zdjęć metalograficznych, można zauważyć, znaczący wpływ poszczególnych grup parametrów technologicznych na porowatość materiału. Na podstawie uzyskanych wyników dokonano ich doboru w sposób umożliwiający zminimalizowanie negatywnego efektu porowatości.

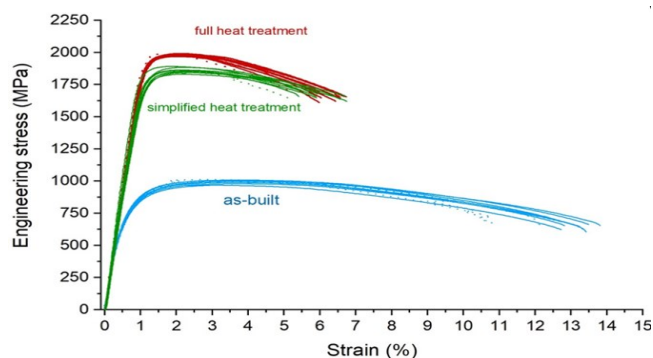
Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe wyniki wytrzymałości mechanicznej stali Maraging M300 wytworzonej za pomocą techniki LENS z uwzględnieniem wpływu dodatkowej obróbki cieplnej. Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych stwierdzono, istotny wpływ zaproponowanej obróbki cieplnej na wytrzymałość mechaniczną stali Maraging M300. Ponadto w dalszej kolejności przeprowadzono badania mające na celu określenie udarności analizowanych wariantów materiału poddanych obróbce cieplnej.

Na podstawie przeprowadzonej oceny porowatości oraz analizy mikrostruktury materiałów wytworzonych za pomocą technik przyrostowych SLM oraz LENS stwierdzono konieczność prowadzenia dalszych prac celem zminimalizowania porowatości materiału i ujednorodnienia jego struktury. Ponadto w przypadku techniki SLM zauważono istotne różnice w mikrostrukturze w zależności od geometrii wytwarzanych próbek (cienka ścianka, próbka monolityczna). W zależności od porowatości materiału uzyskiwano zróżnicowane wyniki wytrzymałości

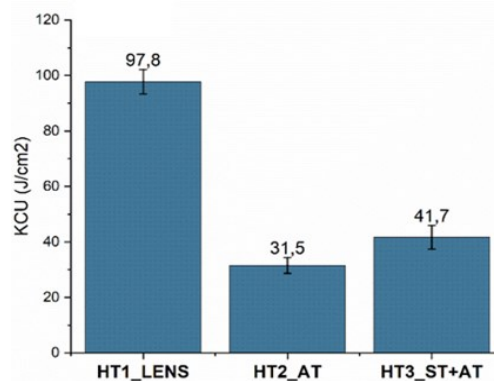
mechanicznej materiału. Na podstawie zaproponowanej obróbki cieplnej dla stali Maraging M300 zauważono znaczące podwyższenie wytrzymałości mechanicznej kosztem plastyczności materiału.



Rys. 4. Analiza porowatości próbek materiałowych ze stali Maraging M300 wykonanych za pomocą techniki SLM: a) – b) wybrane zdjęcia metalograficzne prezentujące analizowany efekt porowatości



Rys. 5. Wyniki testów jednoosiowego rozciągania próbek materiałowych wytworzonych za pomocą techniki LENS w warunkach obciążenia quasi-statycznego – wpływ obróbki cieplnej na wytrzymałość mechaniczną



Rys. 6. Wyniki testów udarnościowych próbek materiałowych wykonanych za pomocą techniki LENS z uwzględnieniem wpływu dodatkowej obróbki cieplnej - porównanie ilościowe parametru udarności

Literatura

- [1] K. Kempen, E. Yasa, L. Thijs, J. P. Kruth, and J. van Humbeeck (2011). Microstructure and mechanical properties of selective laser melted 18Ni-300 steel. *Physics Procedia*, vol. 12, no. PART 1, pp. 255-263.
- [2] M. Cabeza, G. Castro, P. Merino, G. Pena, and M. Román (2012). Laser surface melting: A suitable technique to repair damaged surfaces made in 14 Ni (200 grade) maraging steel. *Surface and Coatings Technology*, vol. 212, pp. 159-168.
- [3] E. A. Jäggle, Z. Sheng, P. Kürnsteiner, S. Ocylok, A. Weisheit, and D. Raabe (2017). Comparison of maraging steel micro- and nanostructure produced conventionally and by laser additive manufacturing. *Materials*, vol. 10, no. 1.
- [4] G. Meneghetti, D. Rigon, D. Cozzi, W. Waldhauser, and M. Dabalà, (2017). Influence of build orientation on static and axial fatigue properties of maraging steel specimens produced by additive manufacturing. *Procedia Structural Integrity*, vol. 7, pp. 149-157.