

Modelowanie stanu naprężeń w mikrostrukturze umacnianego wydzieleniowo stopu Al 2024

Anna Staszczuk^{1,a)}, Jacek Sawicki^{1,b)}, Mariusz Stegliński^{1,c)}

¹*Institute of Materials Engineering, Lodz University of Technology
Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź*

^{a)}Autor korespondencyjny: anna.staszczuk@p.lodz.pl

^{b)}jacek.sawicki@p.lodz.pl

^{c)}mariusz.steglinski@p.lodz.pl

Streszczenie. Umacniany wydzieleniowo stop aluminium 2024 znajduje zastosowanie jako materiał na części samolotów. Za mechanizm umocnienia stopu odpowiedzialna jest obecność wydzieleni twardszej fazy powstałych w wyniku procesu starzenia. Wielkość, rozkład oraz kształt cząstek fazy umacniającej ma wpływ na wynikowe właściwości stopu. Metody numeryczne pozwalają na symulacje oddziaływania tych cząstek z osnową materiału, które dostarczają informacji na temat mechanizmów zachodzących podczas obciążania umocnionego stopu. Wydzielenia w utwardzonym stopie aluminium mają różne cechy, które można scharakteryzować takimi własnościami jak ich gęstość liczbowa, średni promień, ich właściwości mechaniczne i koherencja/niekoherencja z osnową. Symulacja numeryczna za pomocą wszechstronnej metody Automatów Komórkowych pozwala ocenić, w jaki sposób te cechy wpływają na koncentracje naprężeń w materiale. Wyniki symulacji przyczynią się do lepszego zrozumienia procesu dwuetapowego starzenia i lepszego prognozowania wyników procesu umocnienia

WSTĘP

Stopy aluminium poddawane są obróbce cieplnej, aby polepszyć ich właściwości mechaniczne. Proces dwuetapowego starzenia stopu Al 2024 prowadzi do pojawienia się w strukturze stopu wydzieleni o budowie dwufazowej, składających się z płaszczki i rdzenia [1]. Udowodniono, że mogą one lepiej oddziaływać na właściwości stopu niż jednofazowe. Aby w pełni zrozumieć w jaki sposób wpływają one na mechanizm umocnienia należy poznać zachowanie mikrostruktur zawierających wydzielenia w różnej liczbie o różnych kształtach i właściwościach [2]. W tym celu naukowcy sięgają po narzędzia symulacyjne pokazując wpływ właściwości takich jak np. koherencja na stany naprężeń w materiale [3]. W celu jak najlepszego odwzorowania rzeczywistości w symulacjach z zakresu inżynierii materiałowej często wykorzystuje się narzędzie zwane Cyfrową Reprezentacją Materiału [4], gdzie jako domenę symulacji stosuje się odpowiednio obrobione zdjęcia mikroskopowe materiału..

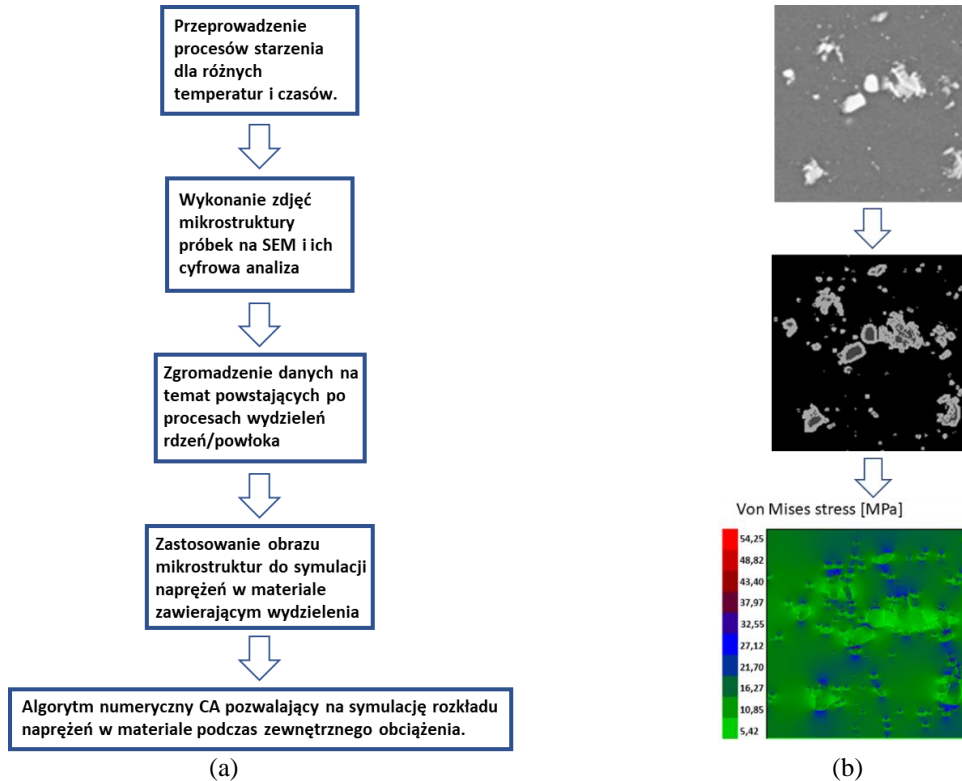
METODOLOGIA

Opracowany został algorytm numeryczny oparty na metodzie Automatów Komórkowych pozwalający na symulację stanów naprężeń w mikrostrukturze materiału poddanego dwuetapowemu starzeniu. W tym celu przeprowadzono serię procesów umocnienia wydzieleniowego próbek wykonanych ze stopu Al 2024 w różnych temperaturach i czasach. Celem było otrzymanie mikrostruktur różniących się od siebie ilością, wielkością, budową wydzieleni. Wykorzystano metodę Cyfrowej Reprezentacji Materiału, czyli do symulacji użyto realnych zdjęć mikrostruktury.

Zdjęcia mikrostruktur wykonane zostały na skaningowym mikroskopie elektronowym, dodatkowo przebadano skład chemiczny poszczególnych faz. Test nanoindentacji pozwolił na wyznaczenie właściwości mechanicznych wydzieleni oraz potwierdzenie lokalizacji płaszczki oraz rdzenia na zdjęciach. Koherencja faz została sprawdzona przy użyciu transmisyjnego mikroskopu elektronowego.

Model Numeryczny w Automatach Komórkowych

Zdjęcia mikrostruktury poddane zostały obróbce graficznej tak, aby wyraźnie rozróżnić poszczególne fazy. Tak przygotowane obrazy posłużyły jako domena symulacji metodą Automatów Komórkowych (ang. Cellular Automata, skrót: CA). Dla każdej komórki, tj. każdego piksela na zdjęciu wprowadzone zostały właściwości takie jak moduł Younga fazy i koherencja z osnową. Następnie cała domena poddana została rozciąganiu. W każdej iteracji algorytm oblicza wartości odkształceń i naprężeń dla każdej komórki. Po osiągnięciu zbieżności obliczeń otrzymujemy wynik w postaci mapy naprężeń w materiale.



RYSUNEK 1. (a) schemat blokowy działania algorytmu numerycznego do obliczeń stanów naprężeń w materiale, (b) ilustracja zastosowania Cyfrowej Reprezentacji Materiału w symulacji z wykorzystaniem przykładowej mikrostruktury, dla której obliczono stan naprężeń zredukowanych.

PODSUMOWANIE

Stworzony algorytm numeryczny pozwala na wyznaczenie stanów naprężeń w mikrostrukturze umacnianego wydzieleniowo stopu aluminium 2024. W symulacji brane są pod uwagę właściwości poszczególnych faz w materiale oraz ich koherencja z osnową. Wykorzystano zdjęcia mikroskopowe próbek po procesach starzenia dwuetapowego w różnych temperaturach i czasie. Otrzymane wyniki pozwalają na zbadanie wpływu ilości, kształtu, liczby oraz właściwości wydzielen na efekt umocnienia stopu.

LITERATURA

1. Ł. Kaczmarek et al., *Met. Sci. Heat Treat.* **54** (9–10), 477–482 (2013).
2. V. Radmilovic et al., *Nat. Mater.* **10** (9), 710-715 (2011).
3. M. Zain-un-abdein i D. Nelias, *Int. J. Mech. Mat. Des.* **12** (2), 255-271 (2016).
4. Ł. Madej, *Arch. Civ. Mech. Eng.* **17**, 839-854 (2017).