

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Studium numeryczne wybranych struktur komórkowych w warunkach oddziaływań statycznych

Mateusz Majdak¹, Jerzy Malachowski¹, Paweł Baranowski¹

¹Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: mateusz.majdak@wat.edu.pl, jerzy.malachowski@wat.edu.pl, pawel.baranowski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Praca skupia się na analizie numerycznej wybranych struktur komórkowych w celu oceny ich właściwości energochłonnych w quasi-statycznej próbie jednoosiowego ściskania. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego wytypowano 20 różnych topologii, które sklasyfikowano w czterech grupach: topologie inspirowane naturą, plaster miodu, odwrócony plaster miodu oraz topologie z plastycznym przegubem. Badania numeryczne przeprowadzono dla próbek ze znacząco różniących się dwóch materiałów stosowanych w technologii addytywnej: stopu tytanu Ti6Al4V oraz filamentu ABSplus. Do symulacji wykorzystano modele konstytutywne uwzględniające osłabienie oraz zniszczenie materiału. Uzyskane wyniki pozwoliły wytypować topologię struktur o najlepszych właściwościach energochłonnych dla obu testowanych materiałów.

SŁOWA KLUCZOWE: struktury komórkowe, absorpcja energii, wytwarzanie przyrostowe, MES

1. Wstęp

Struktury komórkowe ze względu na swoje bardzo dobre właściwości mechaniczne znajdują zastosowanie m. in. w branży motoryzacyjnej, lotniczej, kolejnictwie oraz jako elementy ochrony pasywnej. Cechują się one dobrymi parametrami sztywnościowymi, przy jednocześnie niskiej masie. Ponadto ze względu na kontrolowany kształt komórki elementarnej możliwy jest programowalny proces deformacji oraz niszczenia, co sprawia to, że struktury komórkowe wykazują bardzo dobre właściwości energochłonne.

Główny podział wspomnianych struktur komórkowych bazuje na wymiarze przestrzennym komórki elementarnej i w tym wypadku rozróżnić można geometrie o budowie 3D (kratownicowej) oraz 2D. Spośród nich wyróżnić można topologie w budowie zbliżonej do: plastra miodu, odwróconego plastra miodu czy struktury inspirowane naturą. Aktualnie dominują publikacje z ostatniej grupy, w której wzorców takich struktur poszukujemy w budowie kości, ptasich piórach, gąbkach oceaniczne, koralowcach czy łodygach roślin [1-3].

Duży stopień złożoności budowy sprawia, że wytworzenie struktur tradycyjnymi metodami jest ograniczone, a w szeregu przypadkach nawet niemożliwe. Z pomocą przychodzą technologie przyrostowe, dzięki którym możliwe stało się wykonywanie skomplikowanych geometrii z wykorzystaniem różnych materiałów, tj. proszki stopów metali, tworzywa termoplastyczne czy żywice światłoczułe.

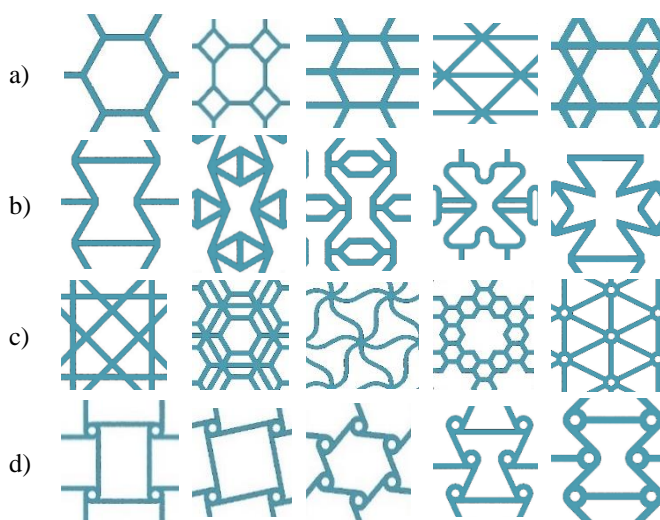
W niniejszej pracy przeprowadzono studium numeryczne z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES) wybranych topologii struktur komórkowych, w celu oceny wpływu kształtu komórki elementarnej na poziom pochłaniania energii. Wykorzystano

dwa znacząco różniące się materiały stosowane w technologii przyrostowej: proszek stopu tytanu Ti6Al4V oraz tworzywo filamentowe ABSplus. Symulacje numeryczne obejmowały odwzorowanie próby quasi-statycznego ściskania.

2. Klasyfikacja topologii struktur

Wytypowano i przygotowano 20 topologii, które zostały sklasyfikowane w 4 grupach (Rys. 1):

- plaster miodu i jego modyfikacje,
- odwrócony plaster miodu (re-entrant),
- struktury inspirowane naturą,
- struktury z przegubami plastycznymi.



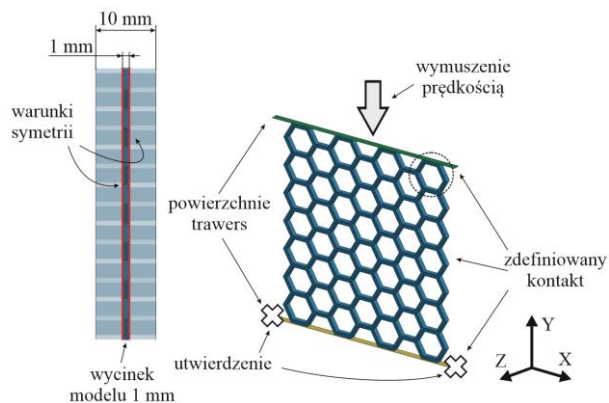
Rys. 1. Topologie wg. grup: a) plaster miodu, b) re-entrant, c) inspirowane naturą, d) struktury z plastycznym przegubem

Podczas prowadzonych badań przyjęto następujące założenia do projektowanych struktur: wielkość komórki elementarnej wyniosła 10 mm, gęstość względna, czyli stosunek objętości struktury do objętości, w której jest opisana, wynosiła 0,3. Symulacjom komputerowym poddano modele z uwzględnieniem 4 komórek po szerokości i wysokości modelu.

3. Modelowanie i symulacje numeryczne

Na podstawie geometrii CAD, zostały przygotowane modele numeryczne struktur, z wykorzystaniem elementów bryłowych 3D o wymiarze ok. 0.2 mm. Trawersy maszyny wytrzymałościowej odwzorowano stosując elementy powłokowe. Dla zminimalizowania potrzebnej mocy obliczeniowej zamodelowano jedynie fragment struktury o grubości 1,0 mm z odpowiednio zdefiniowanymi warunkami początkowo-brzegowymi. Ruch górnej trawersy (do osiągnięcia 50% deformacji struktury względem jej wysokości początkowej) zdefiniowano jako krzywa prędkości w funkcji czasu bazując na artykule [6].

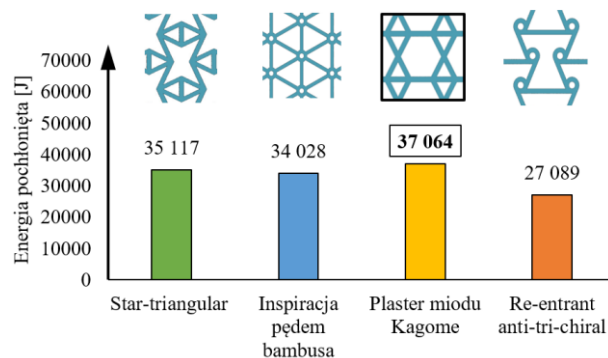
Do symulacji wykorzystano dwa materiały: proszek stopu tytanu Ti6Al4V oraz tworzywo filamentowe ABSplus. Oba materiały zostały opisane sprężysto- plastycznym modelem materiałowym z możliwością zdefiniowania osłabienia materiału. Parametry dla obu materiałów zostały wypracowane z poprzednich prac badawczych autorów [4], [5].



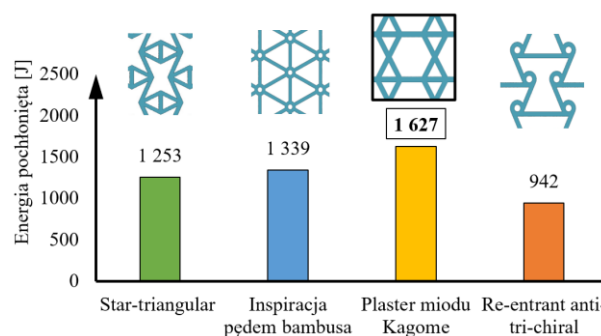
Rys. 2. Warunki początkowo-brzegowe [6]

4. Wyniki symulacji

Dla każdej z grup wyznaczono strukturę, która wykazała najwyższą wartość zaabsorbowanej energii, a zbiorcze zestawienie dla obu materiałów przedstawiono na Rys. 3 i Rys. 4. W przypadku proszku Ti6Al4V wartości pochłoniętej energii dla trzech topologii są bardzo zbliżone, jednak najwięcej energii pochłonęła topologia plastra miodu Kagome [2]. W przypadku materiału filamentowego ABSplus widać jej znaczą przewagę nad pozostałymi topologiami. Należy zauważyć, że topologia Star-triangular [7] wykazała wyższą absorpcję energii w porównaniu do topologii inspirowanej strukturą pędu bambusa [8] dla stopu Ti6Al4V, natomiast dla filamentu ABSplus zauważyć można odwrotną tendencję. Topologia z grupy z plastycznym przegubem wykazała najniższą energochłonność dla obu materiałów.



Rys. 3. Wartości pochłoniętej energii dla struktur wykonanych z Ti6Al4V



Rys. 4. Wartości pochłoniętej energii dla struktur wykonanych z ABSplus

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych zaobserwowano przewidywany wpływ rodzaju materiału na wartości pochłoniętej energii i postać deformacji testowanych topologii. Najlepsze parametry energochłonnościowe dla obu materiałów wykazała struktura plastra miodu Kagome (zaznaczona na Rys. 3 i 4).

Literatura

- [1] V. T. Le and N. S. Goo, "Thermomechanical performance of bio-inspired corrugated-core sandwich structure for a thermal protection system panel", *Appl. Sci.*, 2019.
- [2] X. Yang, Y. Sun, J. Yang, and Q. Pan, "Out-of-plane crashworthiness analysis of bio-inspired aluminum honeycomb patterned with horseshoe mesostructure", *Thin-Walled Struct.*, vol. 125, 2018.
- [3] C. Peng, K. Fox, M. Qian, H. Nguyen-Xuan, and P. Tran, "3D printed sandwich beams with bioinspired cores: Mechanical performance and modelling", *Thin-Walled Struct.*, vol. 161, 2021.
- [4] A. Antolak-Dudka *et al.*, "Static and dynamic loading behavior of Ti6Al4V honeycomb structures manufactured by Laser Engineered Net Shaping (LENSTM) technology", *Materials (Basel)*, vol. 12, 2019.
- [5] M. Kuciewicz, P. Baranowski, M. Stankiewicz, M. Konarzewski, P. Piatek, and J. Małachowski, "Modelling and testing of 3D printed cellular structures under quasi-static and dynamic conditions", *Thin-Walled Struct.*, vol. 145, 2019.
- [6] P. Baranowski *et al.*, "Deformation of honeycomb cellular structures manufactured with Laser Engineered Net Shaping (LENS) technology under quasi-static loading: Experimental testing and simulation", *Addit. Manuf.*, vol. 25, 2019.
- [7] L. Wei, X. Zhao, Q. Yu, and G. Zhu, "Quasi-static axial compressive properties and energy absorption of star-triangular auxetic honeycomb", *Compos. Struct.*, vol. 267, 2021.
- [8] D. Hu, Y. Wang, B. Song, L. Dang, and Z. Zhang, "Energy-absorption characteristics of a bionic honeycomb tubular nested structure inspired by bamboo under axial crushing", *Compos. Part B Eng.*, vol. 162, 2019.