

Wieloskalowy model MES sztucznej komory serca

Andrij Milenin

Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej,
Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków

Streszczenie:

Przedmiotem badań były sztuczne komory serca POLVAD i POLVAD_EXT wykonane z poliuretanu i pokryte nanowarstwą TiN, co pozwala na poprawę biogodności powierzchni komór w strefie kontaktującej się z krwią. Celem badań była analiza możliwości utraty spójności warstwy TiN w zależności od parametrów nanoszenia powłoki, kształtu i warunków obciążenia komory. Wybrany sposób nanoszenia powłoki (Pulsed Laser Deposition) powoduje powstawanie resztkowych naprężeń w powłoce i podłożu oraz skomplikowaną morfologię powierzchni. Dodatkowym czynnikiem, wpływającym na możliwość utraty spójności powłoki jest duża różnica własności mechanicznych TiN i poliuretanu.

Zaproponowane rozwiązanie zostało oparte na zastosowaniu dedykowanego wieloskalowego modelu MES sztucznej komory serca. Opracowany kod MES wykorzystuje teorię nieliniowej sprężystości. Model w skali makro jest oparty na rozwiązaniu 3d i uwzględnia kształt komory oraz nieliniowe własności materiału. Model w skali makro pozwolił na uzyskanie rozkładu naprężeń i odkształceń w komorze, która jest obciążana ciśnieniem krwi. Model w skali mikro został oparty na podejściu 2.5d i wykorzystuje wyniki uzyskane z modelu w skali makro, które stanowią warunki brzegowe. Model w skali mikro uwzględnił wpływ naprężeń resztkowych, morfologii powierzchni oraz grubości powłoki na odkształcenie warstwy TiN i pozwolił na prognozę utraty spójności oraz optymalizację parametrów nanoszenia powłoki.

W celu kalibracji i walidacji wieloskalowego modelu wykonano szereg badań eksperymentalnych w skalach makro (za pomocą metody DIC) i mikro (badania utraty spójności powłoki in situ). Po kalibracji modelu w skali makro uzyskano lokalizację obszarów powierzchni, narażonych na utratę spójności powłoki, wykonano analizę porównawczą dwóch wersji sztucznych komór serca. Stwierdzono, że komora POLVAD_EXT ma bardziej równomierny rozkład odkształceń po zadziałaniu ciśnienia krwi, co stwarza lepsze warunki dla pracy warstwy TiN. Analiza w skali mikro pozwoliła zaproponować sposób zwiększenia ściskających resztkowych naprężeń w warstwie TiN, polegający na wprowadzeniu warstwy pośredniej Au. Za pomocą modelu wyznaczono optymalne grubości warstw Au i TiN. Wynik badań numerycznych i eksperymentalnych stanowi komora VAD Religa Heart_EXT, pokryta warstwą Au (5 nm) i TiN (30-35 nm).

Główne wyniki pracy zostały opublikowane w artykułach:

1. A. Milenin, M. Kopernik, Multiscale FEM model of artificial heart chamber composed of nanocoatings, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 11, no. 2, pp. 13-20, 2009.
2. A. Milenin, M. Kopernik, D. Jurkojć, M. Gawlikowski, T. Rusin, M. Darłak, R. Kustos, Numerical modelling and verification of polish ventricular assist device, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 14, no. 3, pp. 49-57, 2012.
3. M. Kopernik, A. Milenin, S. Kąc, M. Wróbel, Stress-Strain analysis in TiN nanocoating deposited on polymer with respect to Au nanointerlayer, *Journal of Nanomaterials*, ID 813587, pp.1-12, 2014.
4. M. Kopernik, M. Gawlikowski, A. Milenin, I. Altyntsev, R. Kustos, S. Kąc, Digital image correlation of coated and uncoated Religa Heart_Ext ventricular assist device, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 17, no. 4, pp. 49-58, 2015.