

Analiza topografii powierzchni tkaniny auksetycznej przy użyciu mikroskopu sił atomowych AFM

Ewelina Malek¹, Danuta Miedzińska¹, Tadeusz Niezgoda¹

¹Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: ewelina.malek@wat.edu.pl, danuta.miedzinska@wat.edu.pl, tadeusz.niezgoda@ipbm.pw.edu.pl

STRESZCZENIE: W niniejszej pracy przedstawiono badania topografii powierzchni tkaniny auksetycznej przy użyciu mikroskopu sił atomowych (AFM). Analizie poddano tkaninę auksetyczną w stanie wyjściowym i taką samą tkaninę pokrytą cienką warstwą tytanu w celu pokazania ich różnorodności. Dokonano zobrażenia powierzchni w mikro i nanoskali uzyskując informacje o charakterze badanych powierzchni oraz ich chropowatości – przekroje poprzeczne oraz rozkłady różnic wysokości topografii obu próbek. Prezentowane badania są częścią projektu, którego celem jest opracowanie technologii wytwarzania materiału do produkcji odzieży ochronnej i specjalnej dedykowanej służbom ratowniczym i wojsku, jak również innych materiałów powlekanych o szerokim zastosowaniu.

SŁOWA KLUCZOWE: materiały auksetyczne, nanomateriały, mikroskop siła atomowych, odzież ochronna

1. Wprowadzenie

Nowoczesna technika wymaga stworzenia nowych materiałów o specjalnych właściwościach. Do takich właśnie materiałów należą materiały auksetyczne, które można podzielić na dwie grupy: występujące naturalnie oraz wytworzone sztucznie. Pierwsza z nich jest znacznie mniej liczna i należą do nich między innymi α -kryształit oraz dwutlenek krzemu. Do powszechnie znanych sztucznych struktur należą niektóre z materiałów piankowych, polimery krystaliczne oraz włókna i tkaniny auksetyczne. To właśnie tkaniny auksetyczne są przedmiotem prezentowanej pracy.

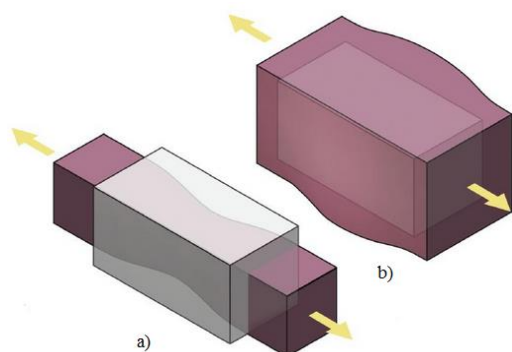
Podstawową wielkością pozwalającą na opisanie zachowania się materiałów auksetycznych jest współczynnik Poissona opisany zgodnie ze wzorem:

$$\nu = -\frac{\epsilon_n}{\epsilon_m} \quad (1)$$

gdzie: ϵ_n – odkształcenie w kierunku poprzecznym,

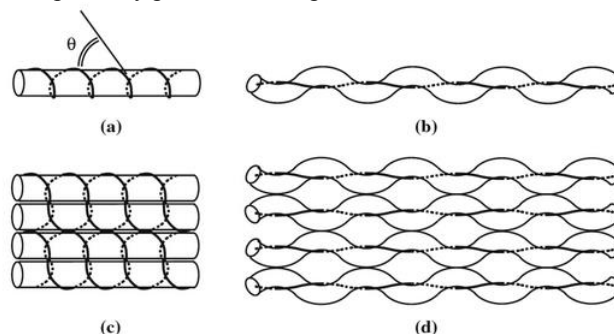
ϵ_m – odkształcenie w kierunku działania obciążenia

W materiałach auksetycznych mamy do czynienia z sytuacją, gdzie współczynnik Poissona jest ujemny i sprawia, że materiał w przeciwieństwie do materiałów konwencjonalnych zwiększa swoje wymiary w kierunku poprzecznym do kierunku, w którym są rozciągane oraz zmniejszając swoje wymiary w kierunku poprzecznym do kierunku, w którym są ściskane.



Rys. 1. Schemat odkształconego (poddanego rozciąganiu) materiału a) konwencjonalnego b) auksetycznego

Nici auksetyczne wytworzone są z dwóch rodzajów włókien. Pierwsze z nich jest nierozciągliwe i ma relatywnie małą średnicę. Jest ono oplecione wokół włókna elastycznego o większej średnicy w tzw. sposób śrubowy (rys.2a). Kiedy nić jest rozciągana w kierunku wzdłużnym nierozciągliwe włókno ulega wyprostowaniu i w ten sposób początkowo prosta nić staje się falista (rys. 2b). Oczywiście włókno elastyczne zmniejsza swoją średnicę, ale dzięki rozchylaniu się na boki daje efekt ujemnego współczynnika Poissona. Jeżeli ułożenie nici jest zgodne z tym przedstawionym na rys. 2c) ich rozciąganie powoduje rozpychanie nici sąsiednich. Ostatecznie powoduje to poszerzenie się obszaru zajmowanego przez całą grupę (rys.2d). Istotne jest wzajemne ułożenie sąsiednich nici, które powinny pozostawać w przeciwfazie.

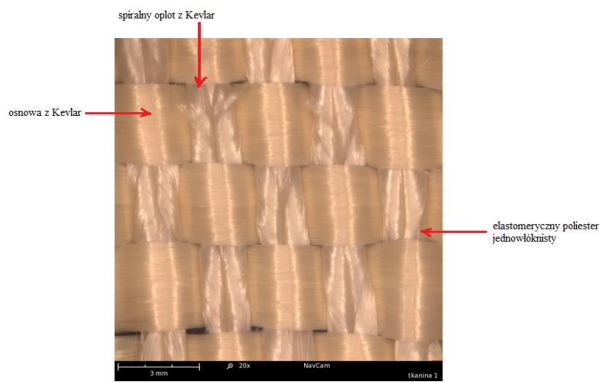


Rys. 2. Koncepcja budowy pojedynczego włókna i grupy włókien a) pojedyncza nić przed rozciąganiem, b) nić rozciągnięta, c) nici ułożone w przeciwfazie, d) rozciągnięte nici w przeciwfazie prezentujące efekt auksetyczności

2. Obiekt badań

Przedmiotem badań jest tkanina auksetyczna w skład której wchodzi (rys.3):

- osnowa z Kevlar 29 (DuPont) o gęstości 3000 denierów (1den = 1g/9000m),
- spiralny opłot z Kevlar 29 (DuPont) o gęstości 1000 denierów,
- włókna 0,6 mm elastomeryczny poliester jedno-włóknisty o masie około 700 g/m².



Rys. 3. Zdjęcie próbki tkaniny auksetycznej wraz z jej opisem

Badaniom poddano tkaninę auksetyczną w stanie wyjściowym i taką samą tkaninę pokrytą cienką warstwą tytanu, w celu porównania topografii powierzchni.

3. Metodyka badań

Badanie zostało przeprowadzone z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych MFP 3D Bio. Analizy danych dokonano z użyciem dedykowanego programu IgorPro. Pomiary topograficzne wraz z oszacowaniem chropowatości powierzchni i badaniem tzw. kontrastu fazowego próbek wykonano w trybie kontaktu przerywanego komercyjnymi sondami skanującymi AC 200 TS R3 (Olympus).

4. Wyniki badań

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań topografii powierzchni tkaniny auksetycznej z warstwą tytanu i bez warstwy.

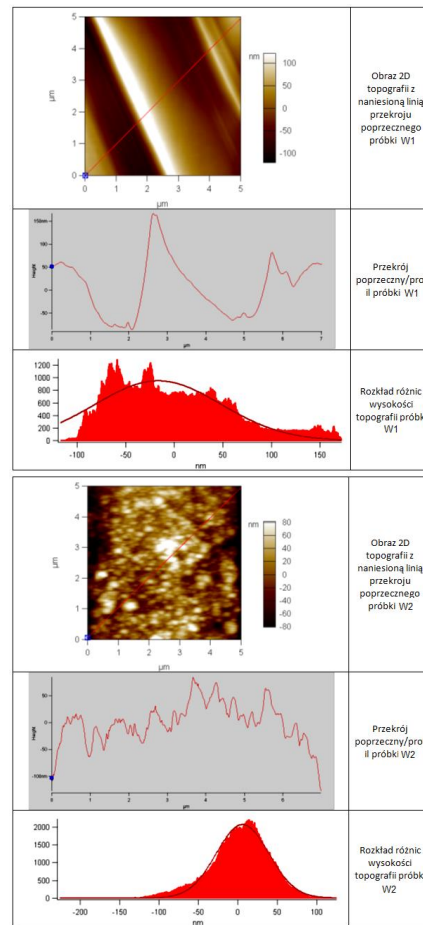
Ozn	Topografia 2D	Rekonstrukcja 3D topografii	Kontrast fazowy
W1			
W1			
W2			
W2			

Rys. 4. Topografia 2D powierzchni próbki wraz z rekonstrukcją 3D: W1 – tkanina bez warstwy, W2 – tkanina z warstwą tytanu

Obrazy zebrane w powyższej tabeli pokazują, że badane strony tkaniny wyraźnie różnią się między sobą.

Strona tkaniny bez napylenia (W1) złożona jest z płaskich, wyraźnie od siebie oddzielonych włókien, natomiast strona po napyleniu (W2) charakteryzuje się strukturą ziarnistą, dodatkowo znikają wyraźne granice pomiędzy poszczególnymi włóknami.

Na rys. 5 przedstawiono wyniki badań chropowatości powierzchni tkaniny auksetycznej z warstwą tytanu i bez warstwy.



Rys. 5. Analiza chropowatości powierzchni próbki: W1 – tkanina bez warstwy, W2 – tkanina z warstwą tytanu

Ocenę chropowatości wykonano w oparciu o uzyskane mapy topograficzne obszarów skanowania 5x5 um. Widać wyraźne różnice między próbką W1 i W2 w przekrojach poprzecznych oraz histogramie rozkładu różnic wysokości uzyskanych w oparciu o analizę map topograficznych.

5. Podsumowanie

Prezentowane w pracy badania są wstępem do opracowania i wdrożenia technologicznych rozwiązań nanotechnologii dla zwiększenia odporności cieplnej, mechanicznej i elektromagnetycznej materiałów, z wykorzystaniem modyfikacji powierzchni tkanin na bazie koncepcji, próżniowo-plazmowego nanoszenia warstw metodą impulsowego rozpylania magnetronowego, przez ich funkcjonalizację, a także przez nakładanie odpowiednich powłok, o optymalnym składzie chemicznym, strukturze i właściwościach fizycznych.

Praca została wykonana w ramach projektu Nr DOB-BIO6/04/104/2014, finansowanego przez NCBiR.

Literatura

- [1] Teik-Cheng L., *Auxetic materials and structures*, Springer, London 2015.
- [2] Lakes R., *Foam structures with negative Poisson's ratio*, Science, Vol. 235, Issue 4792, pp. 1038-1040, 1987.