

Badania eksperymentalne i modelowanie numeryczne procesów odkształcania i pękania metamateriałów otrzymywanych metodami przyrostowymi ze stopów tytanu

Ten projekt badawczy dotyczy właściwości mechanicznych metamateriałów, innowacyjnych materiałów wytwarzanych przy użyciu zaawansowanych technik druku 3D (w szczególności Laser Powder Bed Fusion - LPBF) z proszku stopu tytanu (Ti-6Al-4V) o wielkości cząstek od kilku do 40 mikrometrów. Materiały te mają ogromny potencjał do zastosowań, takich jak implanty kostne, a badania mają na celu zrozumienie, jak zachowują się one pod wpływem różnych sił i warunków, torując drogę do mocniejszych i bardziej niezawodnych rozwiązań biomedycznych.

Projekt skupia się na kluczowych właściwościach mechanicznych, takich jak zdolność materiału do odkształcania się przed pękaniem (krytyczne odkształcenie plastyczne), moment, w którym zaczyna się trwale odkształcać (granica plastyczności), jego maksymalna wytrzymałość, odporność na pękanie oraz jak długo może wytrzymać powtarzające się obciążenia (trwałość zmęczeniowa). Unikalną cechą materiałów drukowanych 3D jest ich anizotropia, co oznacza, że ich właściwości różnią się w zależności od kierunku druku. Badanie to będzie eksplorowało tę zależność kierunkową zarówno w zakresie odkształceń sprężystych (odwracalnych), jak i plastycznych (trwałych), wykorzystując specjalistyczny model zwany kryterium plastyczności Hilla. Testy zostaną przeprowadzone na próbkach z obróbką cieplną i bez niej, gdzie próbki są podgrzewane w piecu próżniowym i powoli chłodzone, aby zbadać jak ten proces wpływa na ich zachowanie.

Przeprowadzone zostaną eksperymenty na próbkach z karami pierścieniowymi o różnych promieniach, wykonanych metodą LPBF ze stopu tytanu. Próbki te zostaną poddane prostym obciążeniom, takim jak rozciąganie i skręcanie, a także połączonym obciążeniom (rozciąganie i skręcanie), aż do momentu pęknięcia. Zespół przetestuje również obciążenia nieproporcjonalne, gdzie obciążenia są aplikowane nierównomiernie. Wykorzystując technikę modelowania komputerowego zwaną metodą elementów skończonych, badacze przeanalizują wartości naprężeń i odkształceń w próbkach, szczególnie w miejscach, gdzie inicjuje się pękanie. Dane te pomogą opracować model inicjacji pęknięć, uwzględniający zarówno plastyczne odkształcenie materiału, jak i kierunek druku.

Zbadane zostaną również metamateriały o zmodyfikowanych strukturach wewnętrznych (mezostrukturach), w szczególności trzy znane projekty: Kelvin, Octet Truss i Diamond. Struktury te zostaną zmodyfikowane poprzez zaokrąglenie połączeń i optymalizację rozmiaru elementów strukturalnych, aby zwiększyć wytrzymałość i sztywność bez znacznego wzrostu masy. Przed testami fizycznymi modele komputerowe zasymulują naprężenia i odkształcenia w tych zmodyfikowanych strukturach. Badanie wykorzysta również mikrotomografię komputerową (o rozdzielczości około 2 mikrometrów) do uchwycenia rzeczywistych struktur wewnętrznych, w tym defektów produkcyjnych, takich jak małe karby, i zasymuluje, jak powstają pęknięcia pod wpływem naprężeń.

Testy zmęczeniowe są kluczowym elementem, ponieważ defekty z procesu druku 3D mogą wpływać na trwałość tych materiałów przy powtarzających się naprężeniach. Zespół przetestuje zmodyfikowane struktury o różnej gęstości, analizując, jak te zmiany poprawiają żywotność zmęczeniową, wytrzymałość i sposób inicjacji pęknięć w porównaniu do kształtu struktur niezmodyfikowanych. Zastosowane zostaną dwa podejścia: jedno oparte na makroskopowych naprężeniach i drugie badające lokalne naprężenia i uszkodzenia w strukturze przy użyciu modeli komputerowych.

Wyniki badań będą wytycznymi do projektowania metamateriałów o dostosowanych właściwościach, takich jak wytrzymałość i sztywność, poprzez regulację ich gęstości i cech strukturalnych, jak zaokrąglenie połączeń. Jest to szczególnie istotne dla implantów kostnych, gdzie zmniejszenie sztywności w porównaniu do materiałów litych może obniżyć naprężenia w miejscu połączenia kość-implant, zachowując jednocześnie wytrzymałość i elastyczność. Odpowiednia struktura sprzyja również wrastaniu tkanki kostnej w materiał, poprawiając integrację i niezawodność implantu. Ostatecznie, badania te mogą prowadzić do lepszych, trwalszych implantów, które działają harmonijnie z ludzkim ciałem.