



Metaanyagok mechanikai tulajdonságainak vizsgálata eltérő geometriák esetén

Investigation of mechanical properties of metamaterials in case of different geometries

¹Barth Vendel, ²Horváth Richárd, ³Gonda Viktor

^{1,2,3} Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag és Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék. Budapest, Magyarország, horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu

Absztrakt

A metaanyagok igen nagy kutatási potenciállal rendelkeznek az elmúlt években. Ezek az anyagok számos olyan tulajdonsággal rendelkeznek melyek a hagyományos anyagstruktúráktól eltérőek. A metaanyagkutatások többsége különleges elektromágneses tulajdonságokkal rendelkező anyagokat igyekszik létrehozni. Ezzel szemben a mechanikai metaanyagok kutatási területe viszonylag új témának számít. A mechanikai metaanyagok olyan anyagok, amelyek mechanikai tulajdonságait elsősorban felépítésüknek, geometriájuknak köszönhetik. A 3D nyomtatás fellendülése miatt olyan anyagstruktúrákat is létre tudunk hozni, melyeket hagyományos eljárással eddig szinte lehetetlen volt. Ennek fényében olyan metaanyag struktúra tervezetek és ezek végelem szimulációi kerülnek bemutatásra melyek különböző számú ismétlődő egységcellát tartalmaznak.

Kulcs szavak: új geometriák, egységcella, falvastagság, végelem szimuláció, fémnyomtatás

Abstract

Metamaterials have a very high research potential in recent years. These materials have many properties that are different from traditional material structures. Most metamaterial research attempts to create materials with special electromagnetic properties. In contrary, the field of research on mechanical metamaterials is a relatively new topic. Mechanical metamaterials are materials whose mechanical properties are primarily designed by their structure and geometry. Due to the boom for 3D printing, we can also create material structures that have been almost impossible with traditional methods so far. In light of this, metamaterial structure designs and their finite element simulations containing different numbers of repeating unit cells are presented.

Keywords: new geometries, unit cell, wall thickness, finite element simulation, metal printing

1 Bevezetés

A metaanyagok felhasználhatósága igen széles skálán mozog, ezért nagy a kutatásukban rejlő potenciál is. Bevezetesként a következőkben három metaanyagokkal kapcsolatos főbb kutatási terület kerül bemutatásra, amelyek mind különböző metaanyag felhasználhatóságát igazolják.

1.1 Átalakítható metaanyagok

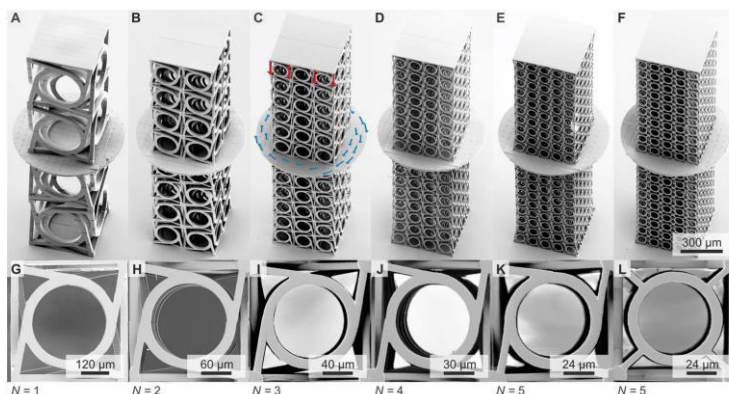
Az átalakítható mechanikai metaanyagok megalkotásához az origami művészetét használták, így összehajthatók és kibonthatók a hajtási vonalak mentén. A szóban forgó mechanikai metaanyagok általában rugalmasak, különösen az összehajtási irány mentén, ami sajnos sok esetben azt eredményezi, hogy nyitott állapotukban instabilak. Ilyenre mutat példát Zhai, Z és társai [1] munkája. Ennek a metaanyagnak az alapállapota különbözik az összecukott állapottól és két különböző módon csukható össze melyek közül az első esetben alacsony merevséget míg a második esetben lényegesen nagy merevséget tanúsít. A létrehozott metaanyag nagy teherbírással rendelkezik az átalakításának irányában, de emellett átalakítható és összecukható.

1.2 Feszültség hatására átpattanó mechanikus metaanyagok

Rafsanjani, A. és társai [2] kutatásában egy olyan monolit mechanikus metaanyag került bemutatásra, amely átpattanó egységekből épül fel és tervezhető a szakítópróbán való viselkedése. Húzó feszültség alatt ez a metaanyag nagy kiterjedést mutat, ami abból fakad, hogy egységenként átpattan deformálatlan hullám alakú állapotából egy „gyémánt” alakú nagyobb kiterjedésű állapotba. A numerikus számítások, és elméleti modellezés mellett 3D prototípusokon elvégzett kísérletek is bemutatják, hogyan valósulnak meg a fentebb leírtak.

1.3 Három dimenziós mechanikai metaanyagok csavarással

Egy közönséges, egytengelyű rúd nyomás alatt sokféleképpen viselkedhet azonban statikus esetet vizsgálva a csavarás értéke nulla. Ez sok esetben akadályozza a fejlett mechanikai tervek megvalósítását koordináta transzformáció segítségével. Ebben a projektben olyan háromdimenziós királis metaanyag struktúra készült, amely leküzdí az akadályokat. A mintákon mért csavarás és az axiális deformáció aránya meghaladta a 2%-ot. Statikusan vizsgálva egy rugalmas anyag mechanikai viselkedését, egytengelyű húzó vagy zömítő vizsgálat esetén nem keletkezhet benne csavarás hiszen nyomaték nem keletkezik benne. A tervezett és legyártott metaanyag egységcellája úgy lett kialakítva, hogy a csavarás irányában legyen szabadságfoka, statikus esetet vizsgálva.

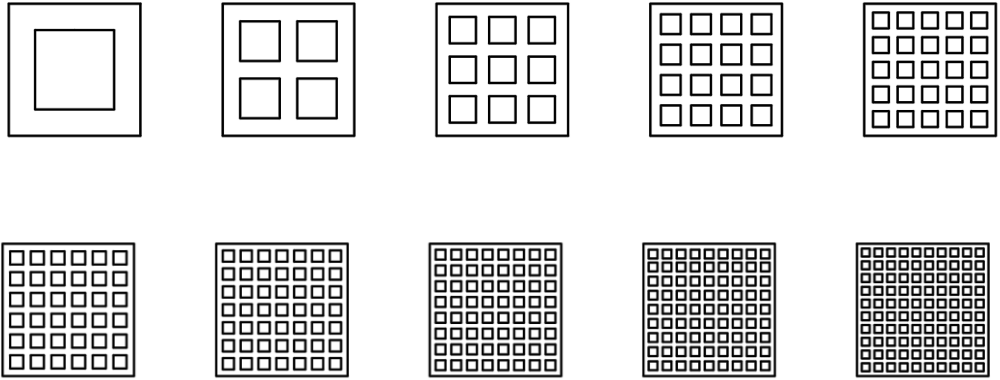


1. ábra: Csavaródó metaanyag struktúrái [3]

A legnagyobb elfordulás mértéke a négy egységcellából álló mintadarab esetén volt a legnagyobb, ahol az axiális deformáció aránya meghaladta a 2%-ot (1 ábra). A maximális cellaszám felé haladva ez az érték csökkent: a maximális cellaszám mellett ez az érték 50 %-kal csökkent.

2 Új metaanyag geometriák tervezése

A geometriák alapja egy négyzet alakú egységcella. Az egységcellák számának növelésével különböző mechanikai tulajdonságokkal rendelkező metaanyag jön létre. Az egységcellák száma négyzetesen növekszik (2. ábra), tehát a cellaszám növekvő sorrendben így alakul: 1; 4; 9; 16; 25; 36; 49; 64; 81; 100. Fontos, hogy minden egyes struktúra térfogata állandó legyen, hiszen a metaanyagok sajátossága, hogy tulajdonságaikat nem anyaguk szerkezetének, hanem felépítésüknek köszönhetik. A tervezett geometriák fémből, 3D nyomtatás technológiájával kerülnek majd legyártásra. A kinyomtatott próbadarabokon ezután zömítővizsgálatot végzünk. A mérés kiértékelésével megkapjuk, hogy az egyes geometriák mechanikai tulajdonsági, hogyan változnak a cellaszám függvényében.



2. ábra: metaanyag geometriák x - y síkú kontúrjai növekvő cellaszámmal

2.1 Egységcellák kialakítása konstans falvastagság mellett

A geometriák létrehozásakor minden geometria befoglaló mérete (X_0) megegyezik. A több egységcellás geometriák kialakítása során az is alapvető feltétel az, hogy minden kialakítás keresztmetszetének területe (T_n) egyenlő legyen (a térfogatállandóság miatt), illetve, hogy a falvastagság (Y_n) az egyes geometriáknál egyenlő legyen.

A következőkben paraméteres úton kerülnek meghatározásra a geometriák egyes méretei úgy, hogy a fentebb említett alapvető feltételek teljesüljenek. Általános alak az n -edik geometria méreteinek meghatározásához amely n^2 számú egységcellát tartalmaz:

$$T_n = X_0^2 - n^2 X_n^2 \quad (1)$$

$$Y_n = \frac{X_0 - n \cdot X_n}{n + 1} \quad (2)$$

$$X_n = \frac{X_1}{n} \quad (3)$$

Ahol:

T_n – n -edik keresztmetszet területe

X_0 – a geometria befoglaló mérete

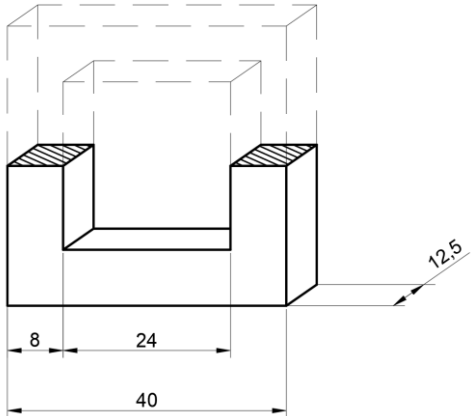
X_n – n -edik egységcella mérete

Y_n – n -edik falvastagság mérete

2.2 Tervezett geometria méretei

A következőkben a tervezett geometria egységcellája kerül bemutatásra a gyártás és a zömítés szempontjából legfontosabb tulajdonságok feltüntetésével. Ezek a zömítés irányára merőleges legkisebb keresztmetszet, a zömítés szempontjából kritikus X_n/Y_n arány és a legkisebb falvastagság. A legkisebb keresztmetszet a választott zömítőgép korlátai miatt maximum 200 mm² lehet és ezt a határt ki is kell használni, hiszen így a falvastagság is nagyobb lesz, ami gyártási szempontból kedvező. A keresztmetszet a különböző számú egységcellák esetén nem változik. A kritikus X_n/Y_n arány az egy egységcellás geometria esetén a legnagyobb, így ez lesz a kritikus eset. A kritikus X_n/Y_n arány számításakor az egységcella oldalhosszát osztjuk el a falvastagsággal, hiszen itt áll fenn a kihajlás veszélye. A falvastagságot a 81 és a 100 egységcellát tartalmazó geometriák esetén vizsgáljuk hiszen itt a legkisebb.

1. táblázat: Tervezett geometria egységcellájának vázlata és méretei

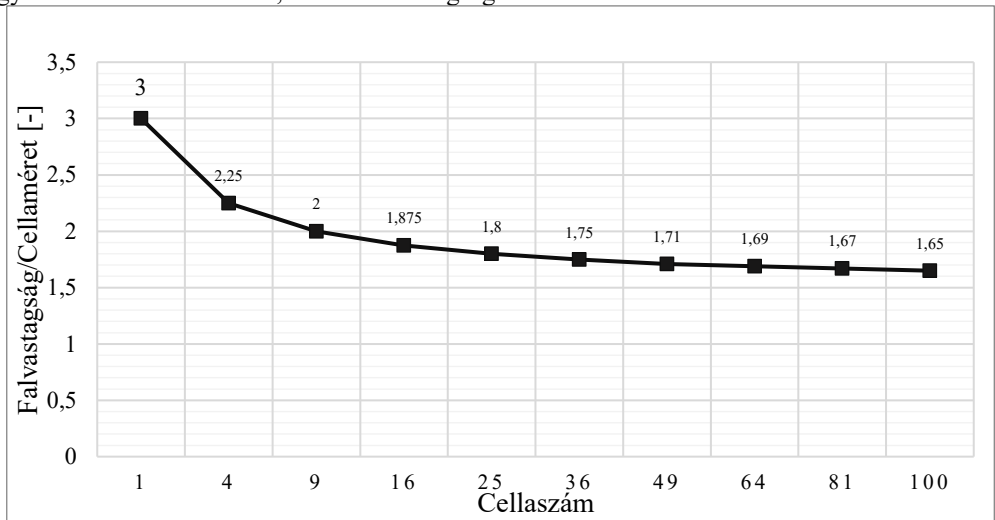
Geometria térbeli vázlata:		
Legkisebb keresztmetszet:	$8 \cdot 12,5 \cdot 2 = 200 \text{ mm}^2$	
Kritikus X_n/Y_n arány:	$\frac{24}{8} = 3$	
Legkisebb falvastagság:	81 egységcella esetén:	1,6 mm
	100 egységcella esetén:	1,45 mm

2.3 Falvastagság/cellaméret hányados

A falvastagság a cellaszám növelése mellett értelemszerűen csökken. A falvastagság a gyárthatóság szempontjából érdekes, hiszen minél vékonyabb a fal annál nehezebben gyártható. ábra: Falvastagság változása a cellaszám függvényében

A falvastagság mellett fontos tényező még a falvastagság és a cellaméret hányadosa is (X_n/Y_n). A cellaszám növelésével a cellaméret is csökken. Ebből tehát nem derül ki, hogy hányadosuk milyen

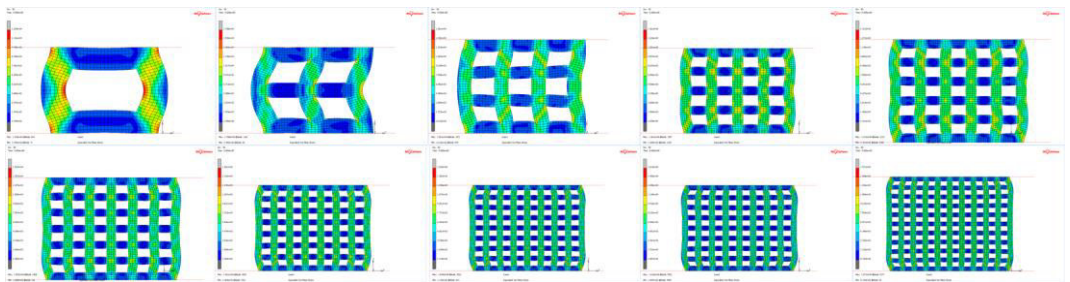
irányban változik a cellaszám növelésével. Ahogyan a 4. ábra szemlélteti ez az arányszám csökken a cellaméret növelésével. Ez annak köszönhető, hogy a cellaméret a cellaszám emelkedésével nagyobb mértékben csökken, mint a falvastagság.



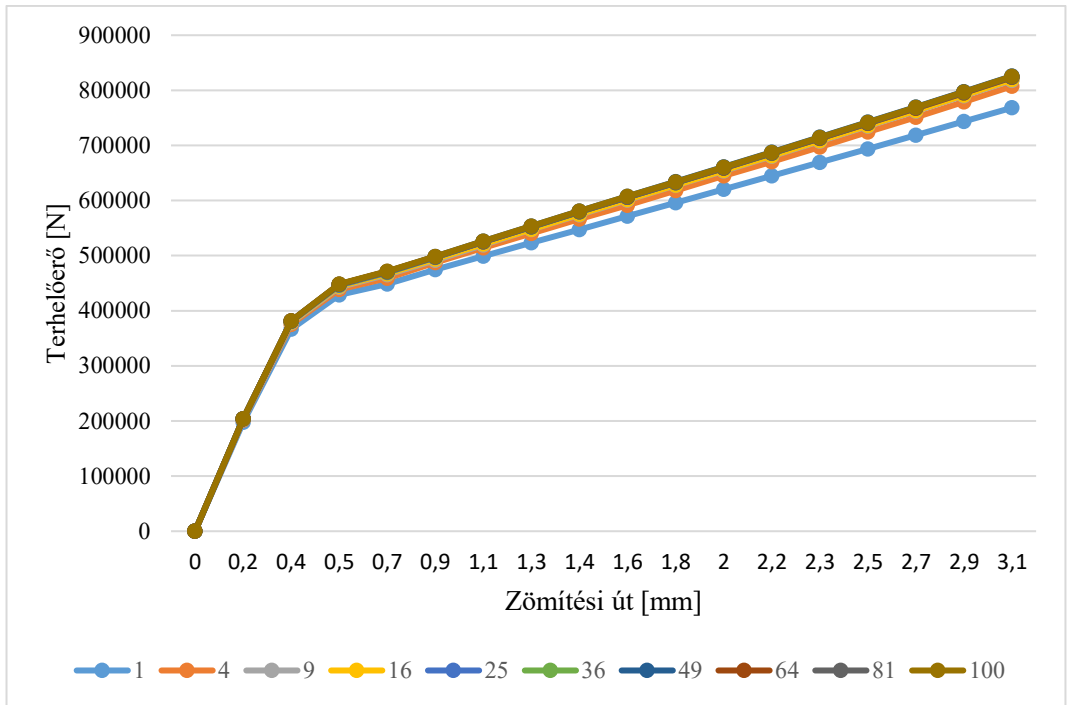
3. ábra: Falvastagság/cellaméret hányados változása a cellaszám függvényében

3 Végelem szimulációk

A végelem szimulációk a Marc programmal készültek. Az összes geometriával zömítés szimulációval esetén lett megvizsgálva. A szimulációk során a zömítési út 3 mm volt. A zömítés közben fellépő erő értékei és karakterisztikája is kirajzolódott a szimuláció során. A továbbiakban az σ_{eq} érték vizsgálatakor a teljes zömítéshez tartozó képek (4. ábra) szerepelnek, illetve a zömítés során fellépő erők karakterisztikája (5. ábra).



4. ábra: teljes zömítési úthoz tartozó egyenértékű, redukált feszültségeloszlás



5. ábra: Az erő-elmozdulás diagramok összehasonlítása a vizsgált cellaszámoknál

4 Konklúzió

Összehasonlítva a végeelem szimulációkat, látható, hogy a cellaszám növelésével a struktúra stabilabbá válik. Ennek következményeként, nem hajlanak ki a falak, mint a kevés cellaszámú struktúrák esetében. Az 1; 3; és 9 egységcellaszámú geometriák esetében a falak a terhelőerő hatására láthatóan kihajlanak így a zömítés maximális ereje is kisebb lesz, tehát kevésbé terhelhetőek. A 16; 25; 36; 49; 64; 81 és 100 cellaszámú struktúráknál nem jelentkezik a kihajlás. Ez azt is eredményezi, hogy a függőleges részekben ébred feszültség, ezek veszik fel a terhelés nagy részét. Mivel a nyomott keresztmetszet minden esetben megegyezik, az erőkarakterisztika ezeknél a struktúráknál nagy mértékben egyezik.

5 Hivatkozások

- [1] Zhai, Z., Wang, Y., & Jiang, H. (2018). Origami-inspired, on-demand deployable and collapsible mechanical metamaterials with tunable stiffness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9), 2032-2037.
- [2] Rafsanjani, A., Akbarzadeh, A., & Pasini, D. (2015). Snapping mechanical metamaterials under tension. *Advanced Materials*, 27(39), 5931-5935.
- [3] Frenzel, T., Kadic, M., & Wegener, M. (2017). Three-dimensional mechanical metamaterials with a twist. *Science*, 358(6366), 1072-1074.