

Fémhabok elemzése CT-felvételek alapján

Metal Foam Analysis Based on CT Layers

Varga Tamás Antal,¹ Mankovits Tamás²

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország

¹ varga.tamas@eng.unideb.hu

² tamas.mankovits@eng.unideb.hu

Összefoglalás

A bonyolult szerkezetű fémhabok geometriai modellezése egy jelenleg is kutatott témakör. Jelen cikkben egy zártcellás alumíniumhab belső szerkezetének elemzését mutatjuk be, amely egy fontos lépése az idealizált fémhabmodell felépítésének. Az általunk használt képelemző célszoftver segítségével a cellák tulajdonságai nagy pontossággal határozhatók meg, amelynek eredményei alkalmasak idealizált és CAD-szoftverben felépíthető egyszerűsített fémhabgeometriák kifejlesztésére.

Kulcsszavak: fémhab, CT, elemzés, struktúra.

Abstract

The geometrical modelling of metal foams remains one of the greatest challenges facing researchers in the field. In this paper the analysis of the inner structure of closed-cell aluminium foam - an essential part of the construction of an idealized foam model - is presented. With the application of special purpose software the properties of the foam cells can be mapped precisely and the results applied to the development of idealized foam geometry constructed in CAD applications.

Keywords: metal foam, CT, analysis, structure.

1. Bevezetés

A fémhab viszonylag régóta ismert anyag, de ipari és orvosi alkalmazása csak az elmúlt pár évben kezdett széles körben elterjedni. Ez annak köszönhető, hogy mára már megbízható eljárások léteznek a gyártási technológiára, amely technológia eredményeképpen szabályozható az előállításra kerülő fémhab belső szerkezete. Köztudott, hogy a fémhaboknak kicsi a sűrűsége, de ennek ellenére kiváló mechanikai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek [1–4]. Emellett számos olyan pozitív tulajdonságuk van, amelyek eredményeként nemcsak rezgés- vagy ütközéscsillapításra alkalmasak, hanem teherviselő elemként (járműalkatrész, implantátum) is kiválóan helytállnak. Számos tanulmány számolt be alkalmazási lehetőségekről, és jól látható, hogy a mérnöki és orvosi alkalmazásuk rohamosan terjed, ami a jövő egyik meghatározó anyagtypu-

sávát teszi a fémhabokat. Teherviselő fémhabok esetén különösen előtérbe kerül a terméktervezési folyamat problematikája, amelynek központi kérdése a geometriai modellezés és a numerikus szimuláció. Teherviselő anyagként azt várjuk a fémhabtól, hogy az alkalmazás során rugalmasan viselkedjen, így megfelelő biztonsággal kell ismernünk, vagy képeseknek kell lennünk megbecsülni az anyagunk választát az adott terhelésre. Ehhez a valósághoz közeli modellt szükséges kifejleszteni, amelyre kétféle stratégiát választhatunk: idealizált modell kifejlesztése [5–8], valós geometria rekonstruálása [9–13]. Annak érdekében, hogy egy idealizált geometriai modellt tudjunk előállítani a fémhabról, kellő információval kell rendelkezni annak a belső szerkezetéről, amely a fizikai és mechanikai tulajdonságait közvetlenül befolyásolja. Tekintve, hogy a fémhabok belső szerkezete meglehetősen bonyolult, így fe-

lülételelemzéssel csak hiányos, sok esetben pedig félrevezető információhoz juthatunk. Leghatékonyabban CT-felvételek készítésével lehet feltérképezni a fémhabok valós belső struktúráját [9–14], amely jelenleg a legkorszerűbb eljárás.

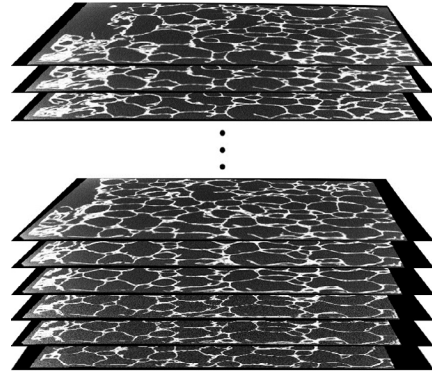
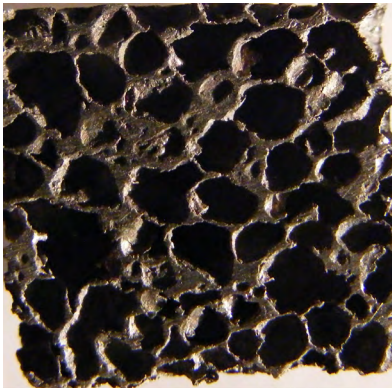
2. Struktúra elemzése CT-felvétel alapján

A CT-felvételek segítségével a fémhab próbatesteken különböző elemző vizsgálatokat lehet elvégezni az arra alkalmas célszoftverrel, amellyel feltérképezhető a vizsgált fémhabot felépítő cellák tulajdonságai. Az általunk vizsgált fémhab egy zártcellás alumíniumhab, amely az **1. ábrán** látható. A próbatest mérete $14 \times 14 \times 14 \text{ mm}^3$.

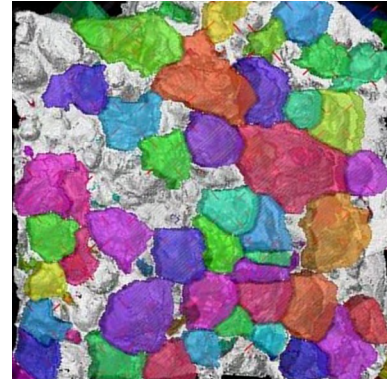
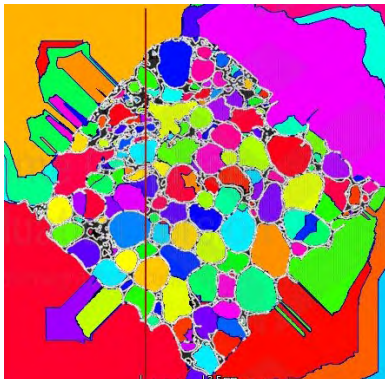
A célszoftverbe a próbatestekről készült CT-felvételek kerülnek importálásra, így azok valóságtartalma kizárólag a CT-berendezés pontosságától függ. A fémhab belső szerkezete esetén a következő tulajdonságok szolgáltatnak hasznos információt: a cella pozíciója (a cella súlypontjá-

nak X, Y és Z koordinátái, a cella mérete (a cella térfogata és felülete), a cella alakja (gömböszerűsége). A szoftver képes meghatározni ezeket az adatokat, amellyel megismerhetjük a fémhab belső szerkezetét, továbbá bemenő adatai az idealizált modellnek is. A szoftver alkalmas vizuális megjelenítésre is, így többek között a cellák metszeti képei is vizsgálhatók. Az elemzés elvégzését követően megkapjuk a cellák számszerűsített adatait, illetve vizuálisan is megtekinthetjük, amelyet az **2. ábrán** láthatunk. A vizsgálat során 686 cellát detektált a szoftver az általunk megadott paraméterek alapján.

A **2. ábrán** látható, hogy a vizsgálat során a szoftver tévesen detektált néhány cellát a próbatest tartományán kívül. Ez azon okból következett be, hogy a próbatest külső felülete nem egységes, így a felületen lévő nyitott cellákat is detektálta, amelyhez térfogatot rendelt. Ezek a rosszul kiértékelt cellák szűrések segítségével felderíthetőek, tekintve, hogy ezeknek a celláknak a térfogata



1. ábra. Zártcellás alumíniumhab-próbatest és a CT által készített képsor



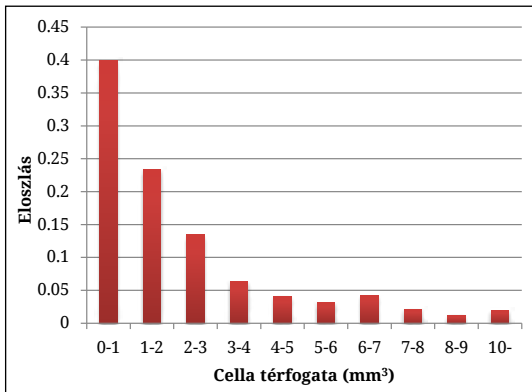
2. ábra. Szűrés előtt és után detektált cellák

jóval nagyobb a fémhabot felépítő valós cellák nagyságánál. Ezen kívül a szűrés alapja lehet a próbatesten kívül eső cella súlypont is, amely cellák könnyen eltávolíthatók a vizsgálati eredményekből.

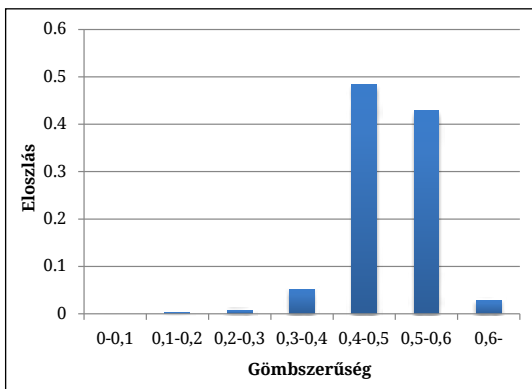
A szűrés után inaktívvá váltak a tévesen detektált cellák, így a valós cellák maradtak a modellben. A szűrésnek köszönhetően 25 cella került eltávolításra, így a további vizsgálatainkat 661 cellán végeztük. A kapott adatokból kinyerhető a cellák térfogatának eloszlása méret szerint (3. ábra), illetve a cellák gömbszerűségének (4. ábra) eloszlása is.

A cellatérfogat-eloszlásból az látszik, hogy a cellák közel 60%-a 0-2 mm³ térfogatú, viszont megtalálhatók kimondottan nagyméretű cellák is.

A cellák gömbszerűsége 0-1 közötti tartományban változhat, amelyből az 1. érték jelenti a tökéletes gömbformát. A fémhab belső struktúrájának elemzéséből kiderült, hogy a cellák inkább ellipszoid vagy általános alakúak, amelyek további kérdéseket vetnek fel az idealizált modell megtervezése során. A 4. ábra viszont jól mutatja,



3. ábra. Cellák térfogatának eloszlása



4. ábra. Cellák gömbszerűségének eloszlása

hogy közel azonos gömbszerűség tulajdonsággal rendelkeznek a cellák.

3. Összegzés

A CT-felvételek alapján megvizsgáltuk a fémhab belső struktúráját és elemeztük azt. A vizsgálat során meghatároztuk a fémhab celláinak nagyságát, elhelyezkedését. A vizsgálat során arra a következtetésre jutottunk, hogy a fémhabot felépítő cellák nem szabályos gömb alakúak, így a modell geometriáját nehezen lehet gömbölemekből felépíteni. A struktúraelemzéses vizsgálat eredményeit a későbbiekben szeretnénk felhasználni idealizált modell felépítésére. Ezen eljárás alapján egy újfajta idealizált modellt kívánunk kifejleszteni.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Ashby M. F., Evans A. G., Fleck N. A., Gibson L. J., Hutchinson J. W., Wadley H. N. G.: *Metal foams. A design guide*. Butterworth-Heinemann, 2000.
- [2] Mankovits T., Budai I., Balogh G., Gábora A., Kozma I., Varga T., Manó S., Kocsis I.: *Structural analysis and its statistical evaluation of a closed-cell metal foam*. International Review Applied Science Engineering, 5/2. (2014) 135–143. <https://doi.org/10.1556/IRASE.5.2014.2.5>
- [3] Orbulov I. N.: *Compressive properties of aluminium matrix syntactic foams*. Materials Science and Engineering A, 555. (2012) 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.032>
- [4] Orbulov I. N., Májlinger K.: *Description of the compressive response of metal matrix syntactic foams*. Materials and Design, 49. (2013) 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.007>
- [5] Kou D. P., Li J. R., Yu J. L., Cheng H. F.: *Mechanical behavior of open-cell metallic foams with dual-size cellular structure*. Scripta Materialia, 59/5. (2001) 483–486. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2008.04.022>
- [6] Jang W. Y., Kyriakides S., Kraynik A. M.: *On the compressive strength of open-cell metal foams with Kelvin and random cell structures*. International Journal of Solids and Structures, 47/21. (2010) 2872–2883. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2010.06.014>
- [7] Lu Z.-X., Liu Q., Huang J.-X.: *Analysis of defects on the compressive behaviors of open-cell metal foams through models using the FEM*. Materials Science and Engineering A, 530. (2011) 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.09.088>

- [8] An Y., Wen C., Hodgson P. D., Yang C.: *Investigation of cell shape effect on the mechanical behaviour of open-cell metal foams*. Computational Materials Science, 55. (2012) 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2011.11.030>
- [9] Maire E., Fazekas A., Salvo L., Dendievel R., Youssef S., Cloetens P., Letang J. M.: *X-ray tomography applied to the characterization of cellular materials. Related finite element modeling problems*. Composites Science and Technology, 63. (2003) 2431–2443.
[https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00276-8](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00276-8)
- [10] Jirousek O., Doktor T., Kytyr D., Zlámál P., Fíla T., Koudelka P., Jandajsek I., Vavřík D.: *X-ray and finite element analysis of deformation response of closed-cell metal foam subjected to compressive loading*. Journal of Instrumentation, 8/2. (2013).
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/8/02/C02012>
- [11] Youssef S., Maire E., Gaertner R.: *Finite element modelling of the actual structure of cellular materials determined by X-ray tomography*. Acta Materialia, 53/3. (2005) 719–730.
<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2004.10.024>
- [12] Veyhl C., Belova I. V., Murch G. E., Fiedler T.: *Finite element analysis of the mechanical properties of cellular aluminium based on microcomputed tomography*. Materials Science and Engineering A, 528. (2011) 4550–4555.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.02.031>
- [13] Jeon I., Asahina T., Kang K.-J., Im S., Lu T. J.: *Finite element simulation of the plastic collapse of closed-cell aluminum foams with X-ray computed tomography*. Mechanics of Materials, 42. (2010) 227–236.
<https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2010.01.003>
- [14] Mankovits T., Varga T. A., Manó S., Kocsis I.: *Compressive response determination of closed-cell aluminium foam and linear-elastic finite element simulation of μ CT-based directly reconstructed geometrical models*. Strojniški vestnik. Journal of Mechanical Engineering, 64/2. (2018) 105–113.
<https://doi.org/10.5545/sv-jme.2017.5048>

ERRATUM

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület mint kiadó és az Acta Materialia Transylvanica szerkesztősége sajnálattal értesíti a szerzőket és az olvasókat, hogy a folyóirat 2018-as évfolyam 1 és 2. lapszámaiban a cikkek magyar nyelvű változatainál a DOI-azonosítók prefixei hibásan jelentek meg.

A cikkek fejléceiben a magyar nyelvű változatnak megfelelő DOI prefix helyesen: **10.33923**, nem 10.2478.

A prefixek 2023 szeptemberében a lapszámok honlapján:

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-1.htm> illetve

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-1.htm>

és

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-2.htm> illetve

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-2.htm>

minden cikkben javításra kerültek, feltüntetve az eredeti, hibás és az új, helyes azonosítót is.

A DOI-azonosítók helyes számra történő cserélése a Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT) is megtörtént.

A hibáért minden szerző és olvasó szíves elnézését kérjük és tisztelettel kérjük, hogy ezentúl az új, helyes azonosítót legyenek szívesek használni!

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Kiadó és az Acta Materialia Transylvanica Szerkesztősége nevében:


Bitay Enikő
főszerkesztő

ERRATUM

The Erdélyi Múzeum-Egyesület as Publisher, and the Editorial Office of Acta Materialia Transylvanica regret to inform the authors and readers that the prefixes of the DOI identifiers of the Hungarian versions of the articles in issues 1 and 2 of the journal in 2018 were incorrectly published.

In the article headings, the DOI prefix corresponding to the Hungarian version of the article is **10.33923**, not 10.2478.

In September 2023, the prefixes were corrected in all articles on the websites of the journal issues:

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-1.htm> respectively

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-1.htm>

and

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-2.htm> respectively

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-2.htm>

showing the original incorrect one crossed out and the new, correct identifier.

The replacement of the DOI identifiers with the correct number has also been done in the Hungarian Repository of Scientific Works (MTMT).

We apologize to all authors and readers for this error, and respectfully request that you use the new, correct identifier from now on!

On behalf of the Erdélyi Múzeum-Egyesület Publisher and the Editorial Office of Acta Materialia Transylvanica:



Bitay Enikő

Editor-in Chief