

Fémalapú habok jellemzői és vizsgálati szempontjai

Characteristics and Test Aspects of Metal-Based Foams

Bagyinszki Gyula

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország
 bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

There is a continuous development in automotive body production to expand the use of metal foams. The use of aluminium foams in vehicles is made possible by the high strength/mass ratio, which means that mass reduction is not accompanied by a reduction in safety. Reducing mass (self-weight), on the other hand, is essential due to increasingly stringent environmental regulations. The present composition draws attention to the structural properties of metal-based foams and its testability.

Keywords: metal foam, cavity, sandwich structure, non-destructive testing, computed tomography.

Összefoglalás

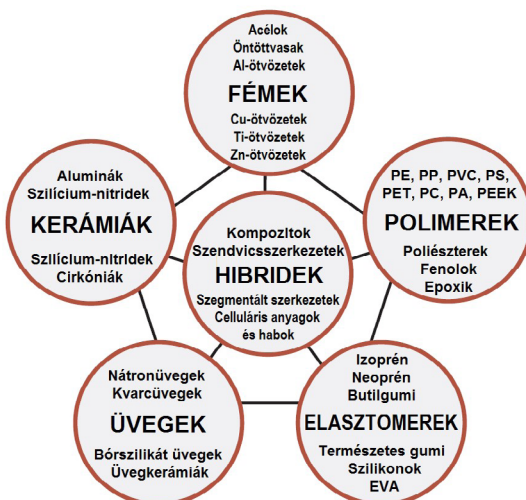
A gépjárműkarosszéria-gyártásban folyamatos fejlesztés zajlik a fémhabok felhasználásának bővítése végett. Alumíniumhabok alkalmazását járművekben a nagy szilárdság/tömeg arány teszi lehetővé, melynek révén a tömeg csökkentése nem jár együtt a biztonság csökkenésével. A tömeg (önsúly) csökkentése viszont elengedhetetlen az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírások miatt. Jelen összeállítás a fémalapú habok szerkezeti jellemzőire és annak vizsgálhatóságára hívja fel a figyelmet.

Kulcsszavak: fémhab, üreg, szendvicsszerkezet, roncsolásmentes vizsgálat, CT-vizsgálat.

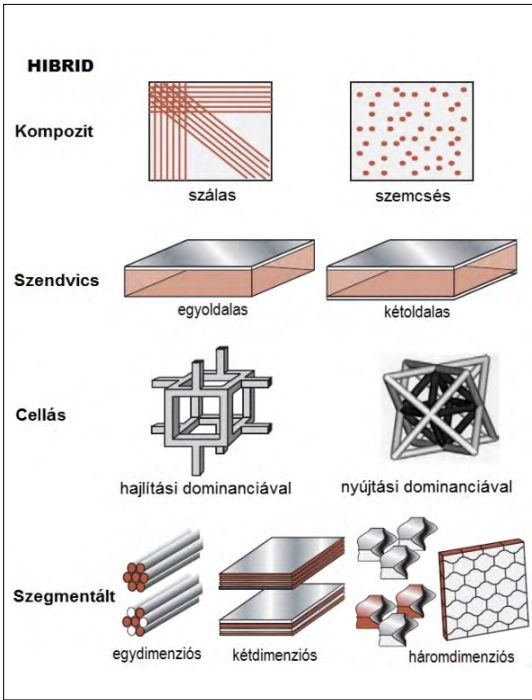
1. Bevezetés

A szerkezeti anyagok egy lehetséges felosztási sémájában (1. ábra) szereplő hibrid anyagok csoportja magában foglalja a kompozitokat (összetett anyagokat), a szendvicsszerkezeteket – mint a réteges kompozitok sajátos alcsoportját –, a szegmentált (összekapcsolt, kötegelt) szerkezeteket és a különféle kialakítású cellás anyagokat, habokat (2. ábra) [1]. A szegmentált (összekapcsolt, kötegelt) anyagok olyan diszkrét egységekből épülnek fel, amelyek tömbi egységként jelentős terheléseket tudnak felvenni, miközben kellően sérüléstűrőek.

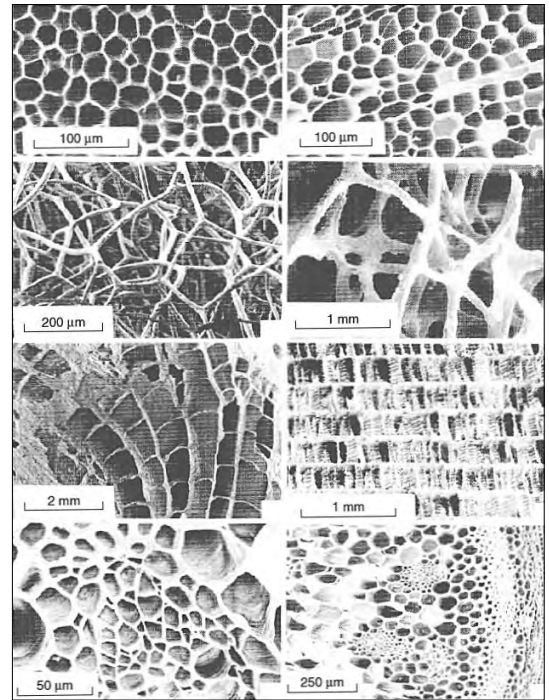
A cellás anyagok közül a műanyaghabok a legismertebbek: polisztirolhabok („hungarocell”), poliuretán- (PUR)-habok, műszivacsok, csomagolóanyagok. Azonban alkalmazhatóságuknak többek között tulajdonságaik erős hőmérsékletfüggése és az eleve kis szilárdságuk szab határt [2]. A fémhabok esetében ezek a hátrányok nem vagy



1. ábra. A szerkezeti anyagok egy lehetséges felosztása és jellegzetes példái



2. ábra. A hibrid anyagok alcsoportjai



3. ábra. Cellás biostruktúrák

kevésbé jelentkeznek. A fémhabok olyan könnyű, cellás anyagok, amelyeket a természet inspirált: pl. a parafa, a balsafa, a valódi szivacs, a szivacsos csont, a korall, a tintahalcsont és a pálmánövény-szár is hasonló szerkezetű (3. ábra) [1].

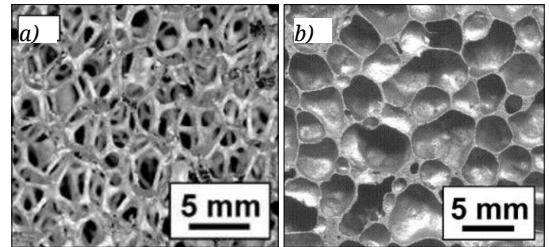
2. Fémalapú habok jellemzői

A fémhabok szerkezetük alapján két csoportba (4. ábra) oszthatók [3]:

- Nyitott cellás fémhabok, melyek üregei egybefüggőek, vázukat egymáshoz kapcsolódó cellaélek alkotják;
- Zárt cellás fémhabok, amelyekben az üreget cellafalak különítik el.

A fémhabok pontos(abb) azonosítása érdekében különbséget lehet tenni az általánosan fémhabnak nevezett anyag(változat)ok között [4]:

- Cellás fémek: a legáltalánosabb kifejezés, amely olyan fémtestre utal, amelyben gázzal telt üregek találhatóak, vagyis a fém fázis az anyagot cellákra osztja, amelyekben gáz fázis található.
- Pórusos fémek: a cellás fémek speciális típusa, melyekre egyfajta üreg jellemző, így a pórusok általában kerek és egymástól elkülönülnek.
- Megszilárdult fémhabok: A cellás fémek speciális osztálya, melyek folyékony fémhabokból

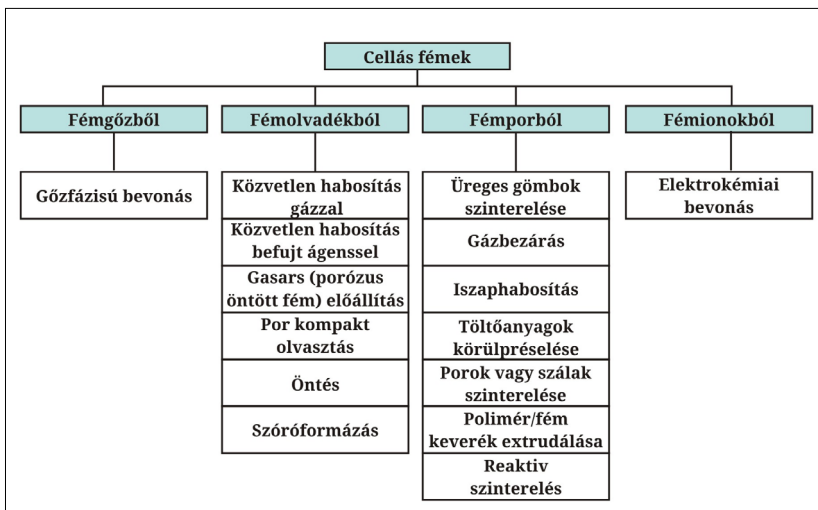


4. ábra. Nyitott és zárt cellás fémhab

keletkeznek, és így megszabott a morfológiájuk. A cellák zártak, kerek vagy poliéderek, és vékony fémréteg választja el őket.

- Fémszivacsok: a cellás fémek egy morfológiai fajtája, melyekben nyitott cellák találhatóak.
- Az 5. ábra a cellás fémek gyártástechnológiai szempontú felosztását mutatja [5].

A fémhabok néhány mikrométeres vagy akár centiméteres nagyságú üregeket is tartalmazhatnak, és bennük a cellák falvastagsága igen széles skálán változhat, míg szerkezetüket tekintve hasonlóak a műanyaghabokhoz. A fémhabok sűrűsége lényegesen kisebb a tömör fémekéhez viszonyítva; átlagos sűrűségük a fém sűrűségének akár százada is lehet. A fémhabok egyik leggyakoribb jellemzője a relatív sűrűség, amely a fémhab sűrűségének és a fémhabot alkotó fém sűrűségének



5. ábra. Cellás fémek gyártástechnológiai szempontú felosztása

hányadosa, gyakran százalékosan megadva. A jelenleg előállított fémhabok relatív sűrűsége 0,1% és 50% között változik. A fémhabok sajátos fizikai és mechanikai tulajdonságaik kombinációjáról ismertek, ilyen tulajdonságok a relatíve nagy merevség, a kis sűrűség, a viszonylag nagy nyomószilárdság és a jó energiaelnyelő képesség [6].

A 6. ábra a jellegzetes halmazállapotú anyagokból képezhető keverékállapotokat foglalja össze, beleértve a habanyagokat is. Ezen heterogén (különböző részekből összeálló) anyagkeverékekben az egyik anyagminőség (ill. halmazállapot) nagyobb (domináns) arányban, a másik – finom és egyenletes (diszperz) eloszlásban – kisebb mértékben van jelen [7].

A felhasznált fémhabok zömmel alumíniumalapúak. Speciális előállítási technológiával elérhető, hogy az alumíniumban zárt üregek keletkezzenek, ezáltal szivacsos szerkezetű legyen az anyag.

Létrejövő keverékállapotok		Anyag, amit diszpergálunk		
		Gáz	Folyadék	Szilárd anyag
Anyag, amibe diszpergálunk	Gáz	Gázkeverék	Köd	Füst
	Folyadék	Hab	Emulzió	Szuszpenzió
	Szilárd anyag	Szilárd hab, celluláris anyag	Iszap gél	Porkeverék Beágyazott részecskék

6. ábra. Habanyagok a keverékállapotok között

Alkatrészek előállítása zárt szerszámban történik, ilyenkor a hab üregei a szerszám felületével érintkezve zárulnak, ezért sima, összefüggő lesz a felület. További alkalmazás vékony falú acélcsövek kiöntése habosított fémekkel. Mivel a fémhaboknak jó az energiaelnyelő és rezgéscsillapító képességük, a csövek merevítésére is kiválóan alkalmasak [8].

Lehetséges szendvicsszerkezetek készítése is fémhabok felhasználásával. Előnyös tulajdonságaik miatt felhasználhatók a karosszériaépítés során tartóoszlopok merevítésére, padlók készítésére és lökhárítók kialakítására. Nagy fajlagos felületük révén katalizátorok hordozóanyagaként és akkumulátorokban nagy felületű elektródként is funkcionálhatnak. Elektromos vezetőképességük kisebb, mint a hagyományos fémeké.

Pórusokba zárt gázzal történő habosításkor a nagy nyomású semleges gáz a fémpor pórusaiban csapdába esik, ezért nagy nyomású gáztérbe helyezik a fémport. Utána ezt a fém-gáz keveréket lemezzé hengerlik, miközben a tömített lemez-kamra fala tömör oldallapokat képez. A lemezt felhevítik, hogy a fémorrétegben lévő gáz kiterjedjen. Ezzel a módszerrel sajátos szendvicsszerkezetet, vagyis egyfajta kompozitot kapnak, melynek magja körülbelül 30%-os porozitású.

Mint innovatív anyag, az alumíniumhab komoly potenciált jelent kompozit-összetevőként való használatra. Ez a kompozit alumíniumhab szendvics, amely alumíniumlemezekből mint fedőrétegekből és alumíniumhabból mint magrétegből áll. Az alumíniumhab és a szendvicsszerkezet is teljesen újrahasznosítható és környezetbarát, mivel

egész térfogatában alumíniumból készül. Ezek a tulajdonságok nagyon jól használhatók a gépjárművek karosszériájához. Továbbá az építőipar, a repülőgépipar, a tengeri és a vasúti járműgyártás is nagy alkalmazási potenciált jelent.

3. A fémalapú habok roncsolásmentes-anyagvizsgálatai

A folytonossági hiányokat alkalmas vizsgálati módszerekkel kell kimutatni, amelyekkel azok vagy közvetlenül felismerhetők, vagy valamilyen jelből lehet következtetni a jelenlétükre. Az egyes vizsgálatok mind módszerben, mind a nyerhető információtartalomban különböznek egymástól.

Alapvetően fontos annak szem előtt tartása, hogy univerzális anyagvizsgálati módszer nincs. Mindegyik eljárás csak bizonyos fajtájú és/vagy elhelyezkedésű folytonossági hiányokat tud biztosan kimutatni, vagyis az egyes roncsolásmentes vizsgálati módszerek egymást nem helyettesítik, hanem kiegészítik. Ezért egyes esetekben komplex vizsgálatra, vagyis több módszer párhuzamos elvégzésére lehet szükség.

A legfontosabb, iparilag alkalmazott roncsolásmentes vizsgálati eljárások:

- a sűrűség és a fizikai (termikus, elektromos, mágneses, optikai, akusztikai) tulajdonságok vizsgálata,
- a szemrevételezéses (vizuális) vizsgálatok (VT),
- a tömörségi vizsgálatok (LT),
- a folyadékbehatolásos vizsgálatok (PT),
- a mágnesezhető poros vizsgálatok (MT),
- az örvényáramos vizsgálatok (ET),
- az ultrahangos vizsgálatok (UT),
- a radiográfiai vizsgálatok (RT).

A vizsgálati módszerekkel szemben különböző műszaki és gazdaság(osság)i követelményeket támasztanak, az adott feladathoz megfelelő módszer kiválasztásában pedig elsődlegesen a feladat jellege a döntő. Vannak olyan követelmények is, amelyek részben ellentmondóak, és nem is egyformán teljesül(het)nek:

- lehetőleg gyors legyen, a folytonossági hiány(oka)t megbízhatóan kimutassa;
- egyszerű, helyszínen is elvégezhető legyen;
- lehetőleg ne igényeljen különleges biztonsági intézkedéseket;
- minimális előkészületi munkát igényeljen;
- a munkadarab állapotában semmiféle változtatást ne okozzon;
- a berendezés(ek) egyszerű(ek), hordozható(k) legyen(ek);

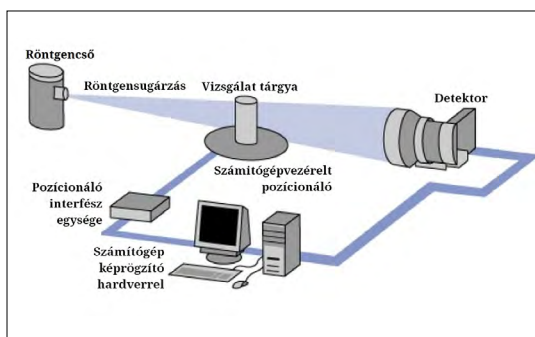
- az eredmények maradandó módon regisztrálhatók legyenek.

Szempontok a vizsgálati módszer kiválasztásához:

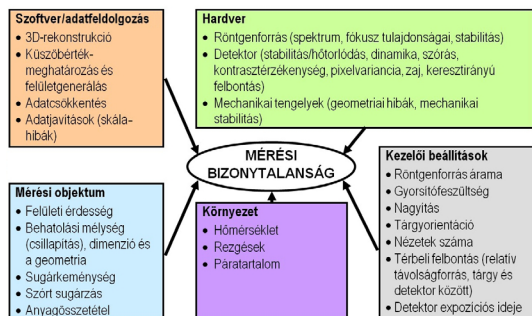
- alkalmasság a keresett folytonossági hiány megbízható kimutatására,
- a vizsgálati helyszín,
- a vizsgálandó gyártmány mérete, alakja, mozgathatósága,
- a vizsgálandó terület mérete, kialakítása, felületi finomsága, hozzáférhetősége,
- a vizsgálandó anyag fizikai és kémiai tulajdonságai,
- a vizsgálat dokumentálásával kapcsolatos igények,
- gazdaságosság.

A CT-vizsgálat számítógépes röntgentomográfia (computed tomography) [MSZ EN ISO 15708-1:2019] néven ismeretes, amely a radiológiai diagnosztika egyik ága. A tomográfia szó a szeletelésre utal, ugyanis a tomográfiai felvételeken a vizsgálat tárgya képzeletbeli szeletekre bontva látható. A számítógépes röntgentomográfia (az angol kifejezés első magyarítása nagyon zavaros lett – komputertomográfia, de a gyógyászati berendezések szabványainak mindmáig ez a kifejezés szerepel a magyar címében) a hagyományos radiográfiai technika továbbfejlesztése (7. ábra) [9].

A CT-készülékek tehát röntgensugárzást használnak a felvételek elkészítéséhez, de a sugárzással nem filmet exponálnak, hanem detektorok segítségével érzékelik azokat, majd a detektorokból nyert elektromos jelekből számítógép segítségével készül el a rekonstruált keresztmetszeti kép. A tomográfiai felvétel esetében vékony, síkszerű röntgensugárzási nyalábbal világítják át a vizsgált objektumot. Az objektum mögött elhelyezett detektor egy vonal mentén érzékeli, hogy a sugárzási nyalábból hol és mennyi nyelődött el.



7. ábra. Számítógépes röntgentomográfiai berendezés vázlata



8. ábra. CT-vizsgálatot befolyásoló tényezők

A sugárzási nyálábbal egy adott síkban több irányból is átvilágítják a testet, és a mért intenzitásgörbékből kibontakozik az adott síkban (születben) elhelyezkedő részletek rajza. A síkot ezután arrébb tolják és újra körbeforgatják. Az eljárás befejeztével a vizsgált test térbeli szerkezete feltérképezhető. Szerkezeten itt a röntgensugárzás-áteresztő képesség szempontjából megkülönböztethető részletek, vagyis a különböző sűrűségű anyagrészek elrendeződése értendő. A CT-vizsgálatot befolyásoló tényezőket foglalja össze a **8. ábra [10]**.

4. Következtetés

Az autóipar olyan irányba halad, amivel nagy hangsúlyt fektet a járművek tömegcsökkentésére és ezzel a károsanyag-kibocsátás minimalizálására. Ez a tömegcsökkentés főleg olyan új típusú anyagokkal érhető el, mint a nagy szilárdságú acélok és alumíniumötvözetek vagy a cellás anyagok, köztük a fémhabok. Ezek roncsolásmentes vizsgálatainak egy része lényegében „kvantitatív” jellegű, vagyis jelzi, hogy van adott számú (egy vagy több) folytonossági hiány, de a „minőségre” (fajtájukra) és térbeli kiterjedésükre vagy nem, vagy csak korlátozott érvényességgel ad információt, míg a vizsgálatok másik része kvantitatív és kvalitatív eredményű eljárás is egyben.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet kíván mondani a Magyar Államnak, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak, valamint az Európai Uniónak a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00081. számú projekt támogatásáért.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Ashby Michael F.: *Materials Selection in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005.
- [2] García-Moreno F.: *Commercial Applications of Metal Foams: Their Properties and Production*. Materials, 9/2. (2016) 85. <https://doi.org/10.3390/ma9020085>
- [3] Sathurusinghe S. A. S. P., Herath K. R. B., Herath S. R.: *Elastic Properties of Open Cell Metallic Foams Using Finite Element Analysis and Homogenization Technique*. 45th IEP Convention 2012, 11.
- [4] Banhart J.: *Manufacturing Routes for Metallic Foams*. JOM, 52. (2000) 22–27. <https://doi.org/10.1007/s11837-000-0062-8>
- [5] Banhart J.: *Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams*. Progress in Materials Science, 46. (2001) 559–632. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(00\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(00)00002-5)
- [6] Kenesei P., Kádár Csi., Rajkovits Zs., Lendvai J.: *Fémhabok előállításának módszerei*. Anyagok Világa, 2/2. (2001).
- [7] Bagyinszki Gy.: *Anyagismeret és minősítés*. BMF Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar, Budapest, 2004.
- [8] Hareancz F., Kiss N.: *Alumíniumhabok ívhegesztésének vizsgálata*. Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok, 14/1. (2019) 61–69. <https://doi.org/10.14232/jtfgf.2019.1.61-69>
- [9] Computed Tomography, Iowa State University, Center for Nondestructive Evaluation. <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/Radiography/AdvancedTechniques/computedtomography.xhtml> (2022. 01. 17.)
- [10] Cantatore A., Müller P.: *Introduction to Computed Tomography*. Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, 2011 March.