

# CFRP-ALUHAB®-CFRP SZENDVICS SZERKEZETŰ KOMPOZIT ANYAG FÚRÁSA

## DRILLING OF CFRP-ALUHAB®-CFRP SANDWICH STRUCTURE

Liska János <sup>1\*</sup>, Kun Krisztián <sup>1</sup>, Sándor Roland <sup>1</sup> és Babcsán Norbert <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

<sup>2</sup> Aluinvent Zrt, Szeles u. 2, Felsőzsolca, H-3561 Magyarország

### **Kulcsszavak:**

CFRP  
kompozit  
alumíniumhab  
fúrás  
forgácsoló erő

### **Keywords:**

CFRP  
composite  
aluminium foam  
drilling  
cutting forces

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2015. október 10.  
Átdolgozva 2015. október 31.  
Elfogadva 2015. november 5.

### **Összefoglalás**

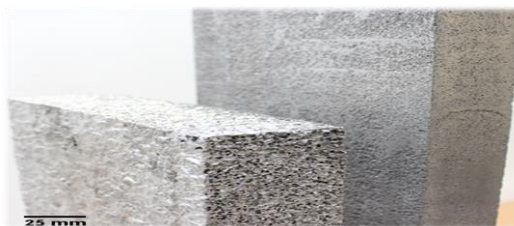
Napjainkban az ipar egyre több területén használnak különleges anyagokat. Ezek az anyagok általában kiváló mechanikai tulajdonságaikkal rendelkeznek. Az alumíniumhab is ezek közé az anyagok közé tartozik. Ez az anyag rendkívül könnyű és emellett nagy teherbírással rendelkezik. Az anyag rezgéselnyelő képessége, a cellás szerkezetének köszönhetően meglehetősen jó. Kutatásunk célja feltárni az alumíniumhab forgácsolásának lehetőségeit.

### **Abstract**

Nowdays, special materials are used at more and more places. These materials generally are characterized by excellent mechanical properties. The aluminium foam is one type of special material. This material can be characterized by ultra-light weight and very high strength. Moreover, this material has very good vibration absorbing capability due to the cellular structure. The aim of our research is to investigate the possibilities of machinability of aluminum foam.

## 1. Bevezetés

A fémhabokhoz hasonló sejtes szerkezetű anyagok egyre népszerűbbek a könnyű szerkezetek tervezése során. Az 1948-as kezdeti kutatások óta sokféle fémhabot alkottak. Számos fém és ötvözet habosítható, mégis az alumíniumhabra van a legnagyobb piaci igény, ezért is készül a legtöbb tanulmány erről az anyagról. Az alumínium habot annak ellenére is nagy érdeklődés övezi, hogy gyakorlati felhasználása erősen korlátozott. Az Aluinvent Zrt. egy új fémhab gyártási technológiát fejlesztett ki melynek eredménye egy új típusú alumíniumhab, az úgynevezett ALUHAB® (1.ábra).



1.ábra ALUHAB tömb

\* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: [liska.janos@gamf.kefo.hu](mailto:liska.janos@gamf.kefo.hu)

Ezzel a technológiával, meghatározott cellaméretű és mechanikai tulajdonságokkal rendelkező alumíniumhab gyártható. Az így gyártott alumíniumhab, a kompozit anyagokra jellemző kis tömeggel és a fémekre jellemző mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. A cellaméret változtatásával rengeteg különböző sűrűségű és mechanikai tulajdonságú hab hozható létre, az igényeknek megfelelően. Az eljárás költséghatékony és rugalmas mivel az így előállított habosított alumínium, formába önthető, vagy éppen összetettebb kompozit anyagok alapjaként is felhasználható. Az ALUHAB® egy speciális habosítható kompozit, mely ultra finom szemcsékből áll (80nm-20 $\mu$ m). Ez a kompozit egy speciális magas hőmérsékletű egyesítő technológiával készül, mely biztosítja a stabilizáló szemcsék homogén eloszlását.

Az új technológia az eddigiekkel szemben lehetővé teszi a légbuborékok méretének, és ezen keresztül a termék sűrűségének változtatását, akár egy befecskendezésen belül is. Így változó cellaméretű anyag hozható létre. A legkisebb befecskendezett légbuborékok mérete a fúvóka furatának átmérőjével egyezik meg. Az új ALUHAB® cellamérete 0,5 és 5 milliméter között változtatható. A hab sűrűsége 0.6g/cm<sup>3</sup> és az átlagos cellaméret 1 milliméter.

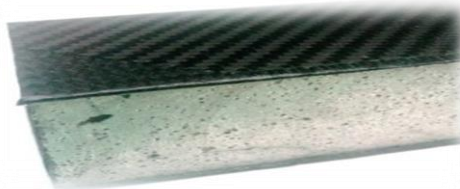
## 2. A megmunkált anyag tulajdonságai

Az ALUHAB® laminálható, ezért felhasználható szendvics szerkezetű kompozitok alapanyagaként. Kutatásunk célja egy ilyen szendvics szerkezetű kompozit anyag forgácsolásának vizsgálata. Két különböző ALUHABOT szén-szál erősítésű kompozittal (CFRP) lamináltunk. A vizsgált anyagok tulajdonságait az 1. táblázat mutatja.

1.táblázat. ALUHAB® anyagjellemzői

	Anyag jelölése	Tömeg [g]	Sűrűség g/cm <sup>3</sup>
1.	AlSi10_6AlO6	210	0,4
2.	6061_8AlO6Mg	780	0,9

A CFRP rétegek elkészítéséhez előre impregnált kompozit lemezt használtunk. A laminálás után, a darabok készen álltak a forgácsolási kísérletek elvégzésére (2.ábra).



2.ábra A szendvics szerkezet

A két anyag típus párosítása gondot jelent, mert eltérő mechanikai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek, így fúrásuk során nem biztos, hogy azonos szerszámmal, illetve technológiai paraméterekkel elvégezhető a fúrás. Olyan szerszámot kell választani, aminek az anyaga és a geometriája alkalmas a feladat elvégzésére, továbbá a technológiai paramétereket is ennek a függvényében kellett meghatározni, természetesen kompromisszumok megkötése mellett. Esetünkben a szerszám több időt tölt az alumíniumhabban, mint a fellaminált kompozit rétegben, így a választás során az alumíniumhab volt a meghatározóbb.

A kísérletek során a réteges szerkezetű kompozit anyagok fúrásakor fellépő általános problémákat (szerszám intenzív kopása, anyag delaminációja és szálásodása (3.ábra) és a forgácsolás során keletkező magas hőmérséklet) vizsgáltuk.

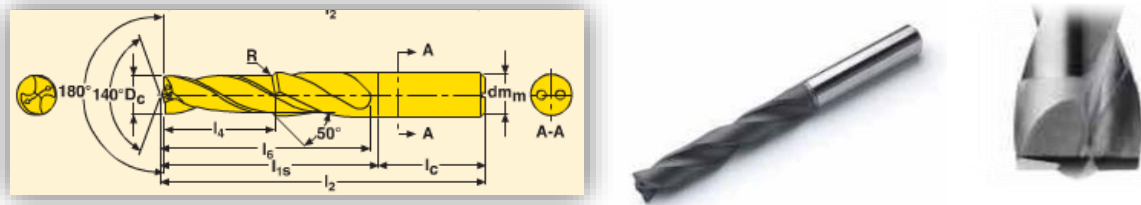


3.ábra Kompozit anyagok szálásodása fúrás során

### 3. A kísérlet technológiai háttere

A fúrást CNC marógépen (NCT Tomill-250) végeztük. A delamináció és a szálasodás jelensége a minőség rovására megy. A cél egyértelmű volt: egy olyan szerszám használata, amit célzatosan kompozitokhoz, szendvics szerkezetekhez optimalizáltak, így eset a választás a SECO SD205A-6.38-35-8R1-C2 (4.ábra) speciális kompozitfúróra. [13]

A fúró gyémánt bevonata hosszú élettartamot és kiemelkedő méretpontosságot eredményez megfelelő technológia mellett. Él kialakítása kifejezetten szendvics szerkezetek megmunkálására ajánlott.



4. ábra. SECO SD205A-6.38-35-8R1-C2 [13]

Az alumíniumhab inhomogenitása és cellás szerkezete nagymértékben megváltozhat hűtőkenő folyadék használata esetén, ezért a kísérletet hűtés nélkül végeztük.

Három fúróciklust használtunk a fúráshoz. Ezek közül az egyik egy egyszerű, beépített fúróciklus, míg a másik kettő egyedi. A kísérlet során ciklusonként négy furatot fúrtunk. A technológiai paramétereket a szerszámhoz ajánlott paraméterek alapján határoztuk meg, míg az előtolás értéke egyes furatonként eltérő volt.

#### Technológiai adatok:

- Forgácsolósebesség:  $vc=100 \text{ m/min}$
- Fordulatszám:  $n=5000 \text{ 1/min}$
- Ciklusok száma: 3 db.

#### 1. Általános fúróciklus //G81//

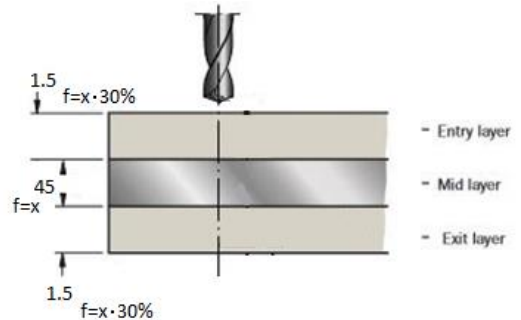
- Előtolási értékek:  
 $f_1=0.05$ ;  $f_2=0.075$ ;  $f_3=0.1$ ;  $f_4=0.15$

#### 2. Módosított fúróciklus 1 //M1// (5. ábra)

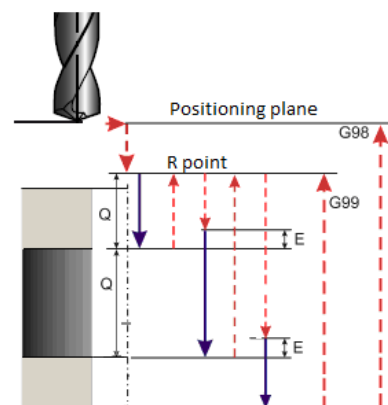
- Rétegenként eltérő előtolási értékkel:  
 $f_{30\%}=f_{1-4} \cdot 30\%$  bekezdésnél és kilépéskor;  
 $f_{1-4}(=x)$  a középső rétegben;

#### 3. Módosított fúróciklus 2 //M2// (6. ábra)

- Mélyfúró ciklus paraméterei:  
 $Q$ =rétegvastagság;  $E=0,5 \text{ mm}$ ;  $R=2,5 \text{ mm}$   
 $f_{30\%}=f_{1-4} \cdot 30\%$  bekezdésnél és kilépéskor;  
 $f_{1-4}(=x)$  a középső rétegben;

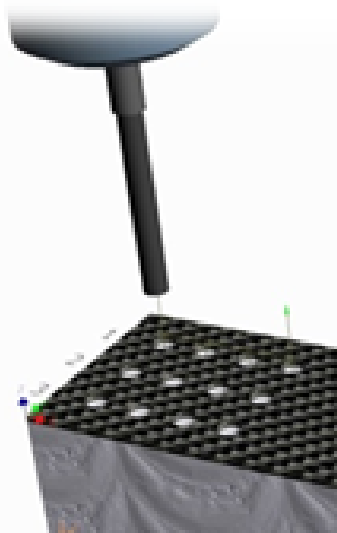


5. ábra. Változó előtolás minden rétegben



6. ábra. Mélyfúró ciklus

A CNC program megírása "manuális" úton, kézzel történt, majd CAM programban teszteltük (7. ábra).



7.ábra Szerszám pálya a CAM szoftverben

További fontos kísérleti elem a megmunkáláskor használt munkadarab-befogó készülék. A készülékelemeket és a befogás módját úgy választottuk meg, hogy a lehető legjobban kizárjuk a külső befolyásoló tényezőket és biztosítsák a merev befogást (8.ábra).

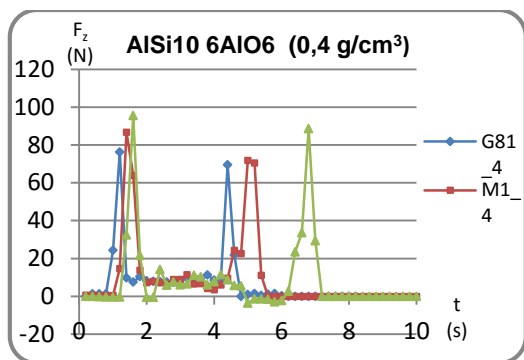


8.ábra. Munkadarab-befogó készülék

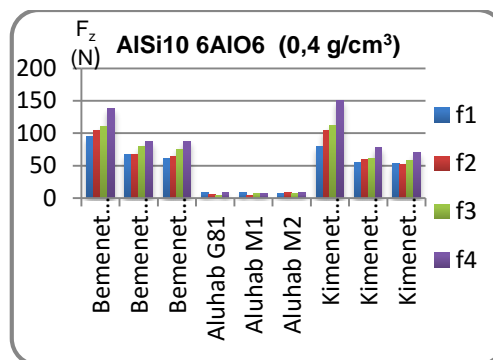
#### 4. A kísérlet kiértékelése

A kísérletek alatt a kiértékeléshez KISTLER erő- és nyomatékmérő berendezést, Leonova SPM rezgésmérőt, Mitutoyo Quick vision ELF PRO mikroszkópot használtunk.

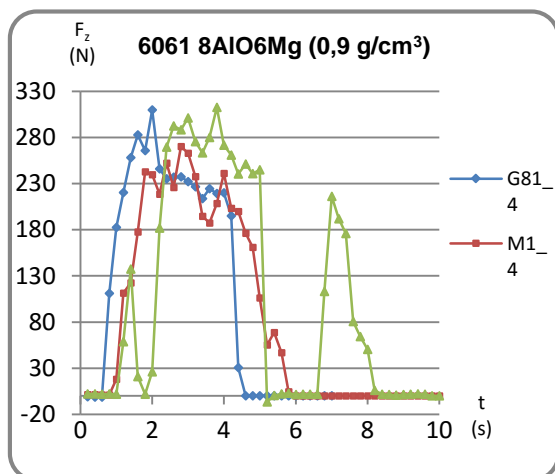
A fúrást a 0,4 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű alumínium habbal kezdtük. Ennek oka, hogy előzetes feltételezésünk szerint a szerszámkopás ezen anyagnál alacsonyabb lesz. A mért eredményeket az alábbi diagramok foglalják össze (9-10-11-12. ábra).



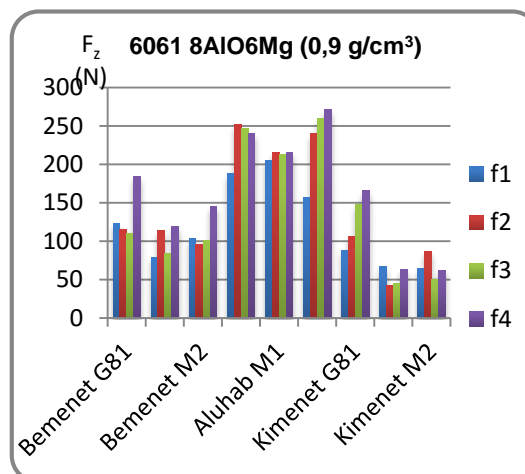
9. ábra Az átlagosan ébredő főforgácsoló erő az idő függvényében az f4 előtolási érték esetén. Az ábrán az egyes ciklusok külön elemezhetők. (0,4 g/cm<sup>3</sup>)



10. ábra. A legnagyobb ébredő erő értékek alakulása különböző megmunkálási ciklusok esetén az egyes rétegekben (0,4 g/cm<sup>3</sup>)



11. ábra Az átlagosan ébredő főforgácsoló erő az idő függvényében az f4 előtolási érték esetén. Az ábrán az egyes ciklusok külön elemezhetők. (0,9 g/cm<sup>3</sup>)



12. ábra. A legnagyobb ébredő főforgácsoló erő értékek alakulása különböző megmunkálási ciklusok esetén az egyes rétegekben (0,9 g/cm<sup>3</sup>)

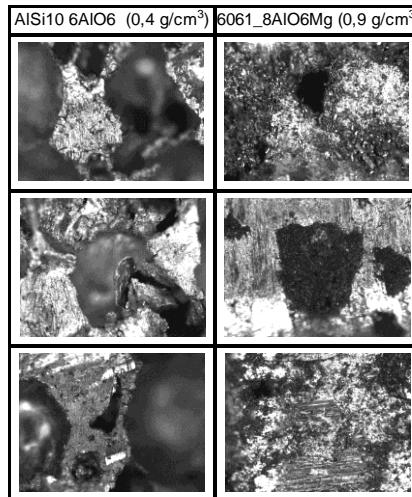
Amint azt az ábrák mutatják, a 0,9 g/cm<sup>3</sup> alumíniumhabnál jóval magasabb forgácsoló erő értékek jelentkeztek, mint a CFRP-ben. Ennek épp az ellenkezője figyelhető meg a kisebb sűrűségű ALUHAB® esetén: a CFRP-ben az aluhabhoz viszonyítva jóval nagyobbak az erőértékek. Ez alapján feltételezhető, hogy kétszeres sűrűség esetén tízszeres erőértékek jelentkeznek.

A sűrűbb ALUHAB® esetében az egyes ciklusok közti különbség szembetűnőbben jelentkezett. Ez különösen a szendvicsszerkezet alján volt megfigyelhető. Általánosságban elmondható, hogy az alumíniumhab igen jó rezgéselnyelő képességgel rendelkezik, köszönhetően a cellás szerkezetének. Az egyes fűróciklusok közti különbség elenyésző mértékben befolyásolja a mért rezgési értékeket. (2. táblázat)

2.táblázat A mért rezgési értékek a 0,4g/cm<sup>3</sup> alumínium hab esetén

	Rezgések			
	G81	M1	M2	
DISP	8,52	11,43	7,08	μm
Vel	0,22	0,23	0,1	mm/s
Acc	0,34	0,27	0,04	mm/s <sup>2</sup>

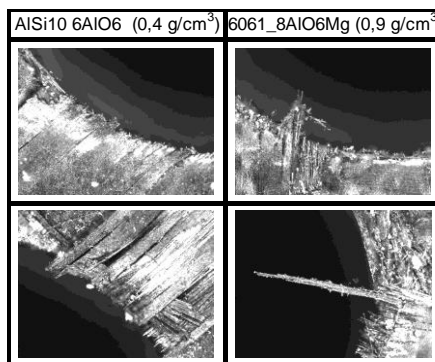
A forgácseltávolítás a 0,4 g/cm<sup>3</sup> anyag esetén folyamatosabb volt, míg a 0,9 g/cm<sup>3</sup> anyagnál a szén forgács gyakran a cellás szerkezetbe szorult/kenődött (13. ábra).



13. ábra. A furatok falának mikroszkópi képe 80x-os nagyításban.

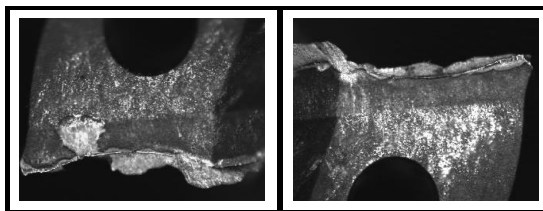
A forgácsolási paraméterek kis mértékben befolyásolták a szálasodást/kirojtosodást. A kísérlet után ez a jelenség rendszertelenül lépett fel a furatok kimeneti oldalán (14. ábra).

A helyesen megválasztott technológiának és szerszámnak köszönhetően delaminációs jelenséget sem a belépési sem a kilépési zónában nem tapasztaltunk.



14. ábra. Szálasodás a furatok kimeneti oldalán (80x-os nagyításban).

A kísérlet előtt magas hőmérsékletet feltételeztünk, mely később be is igazolódott, sőt a vártnál is magasabb volt az értéke. Ennek hatására a gyémánt bevonatú szerszám elveszítette számos kedvező tulajdonságát, ami többek között intenzív kopáshoz vezetett. (15. ábra)



15. ábra. A gyémántbevonatos fúró kopása (80x-os nagyításban)

Ezt a jelenséget főként a nagyobb sűrűségű ALUHAB<sup>®</sup> fúrásánál tapasztaltuk, amely ötvözőként magnéziumot és alumínium-oxidot is tartalmaz. Ezek szintén szerepet játszhattak a szerszám éltartam drasztikus csökkenésében.

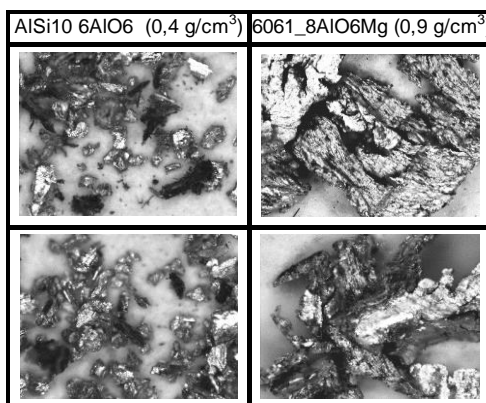
## 5. Összefoglalás

A szendvics-szerkezet hasznossága megkérdőjelezhetetlen. Mind dizájn, mind pedig súlycsökkentés szempontjából előnyös kombináció. További meghatározó érv az ALUHAB<sup>®</sup> remek rezgéselnyelő képessége.

Alapvetően ezen anyag forgácsolása nem bonyolult, de számos további tényező teszi mégis nehézkesé:

- Szálasodás
- Intenzív szerszámkopás az ötvözők miatt.

A kísérlet során tapasztalt forgácsalakok láthatók a 16. ábrán. Ezen típusú forgácsalakok kifejezetten káros hatással vannak a szerszám gép mozgóelemeire, így a vezetékek védelme kiemelten fontos feladat.



16. ábra. A kísérlet során jelentkezett forgácsalakok

A kísérleti eredmények alapján a kisebb sűrűségű anyag esetén a G81 ciklus használata elegendő, mert a furat minősége és a fellépő erők nagysága nem mutat számottevő különbséget és ezen ciklus rendelkezik a legkisebb gépi idővel.

Nagyobb sűrűségű ALUHAB<sup>®</sup> esetén azonban a fúróciklus felépítése jóval relevánsabb. Ha az idő másodlagos tényező a minőség után, a kísérleti eredményekre hivatkozva az M1 és az M2-es ciklus javasolt (melyek közül a furat hossza alapján dönthetünk).

Összefoglalva kijelenthető, hogy pontos technológiai ajánlásokhoz további vizsgálatokra van szükség, de jelen kutatás remek kiindulási alapja a későbbi projekteknek.

## Köszönetnyilvánítás

TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0012 "A tudományos képzés műhelyeinek támogatása - A tudomány művelői és műhelyei a Kecskeméti Főiskolán"

## Irodalomjegyzék

- [1] Banhart, J., D. Weaire. "On the Road Again: Metal Foams Find Favor", *Physics Today*, Jul 2002, pp.37-42.
- [2] Gergely, V., H.P. Degischer, and T.W. Clyne. 2000. "Recycling of MMCs and production of metallic foams", *Comprehensive Composite Materials*, 3: 797-820
- [3] US Patent 2,434,775 (1948)
- [4] Banhart, J. 2000. "Manufacturing routes for metallic foams", *JOM*, 52: 22-27
- [5] Degischer, H.P., B. Kriszt, *Handbook of cellular metals, Production, Processing and Applications*, Wiley-VCH/Verlag GmbH, Germany, 2002.
- [6] Gibson, L.J., M.F. Ashby, *Cellular Solids, Structure and Properties*, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge, U.K, 1997.
- [7] Ashby, M.F., A.G. Evans, J.W. Hutchinson, N.A. Fleck, *Metal Foams: a Design Guide*, Butterworth-Heinemann, USA, 2000.
- [8] US Patent 4,713,277 (1987)
- [9] Wood, J.T., "Production and Application of Continuously Cast, Foamed Aluminum", in *Metal Foams*, eds. J. Banhart and H. Eifert, MIT/Verlag, Germany, 1998., pp. 31-35.
- [10] US Patent 5,151,246 (1992)
- [11] Leitmeier, D., H.P. Degischer, H.J. Flankl. 2002. "Development of a foaming process for particulate reinforced aluminum melts", *Advanced Engineering Materials*, 10: 735-740.
- [12] N. Babcsan, S. Beke, P. Makk, Method for producing a metal foam by oscillations and thus obtained metal foam product, Patent WO2010\_064059 A2.
- [13] [https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10063&storeId=10212&productId=58120&langId=5&parent\\_category\\_rn=201032&top\\_category=200705&backLink=CategoryDisplay%3FcatalogId%3D10063%26storeId%3D10212%26categoryId%3D201032%26langId%3D5%26parent\\_category\\_rn%3D201032%26pageView%3D%26pageSize%3D15%26beginIndex%3D30](https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10063&storeId=10212&productId=58120&langId=5&parent_category_rn=201032&top_category=200705&backLink=CategoryDisplay%3FcatalogId%3D10063%26storeId%3D10212%26categoryId%3D201032%26langId%3D5%26parent_category_rn%3D201032%26pageView%3D%26pageSize%3D15%26beginIndex%3D30) [Megtekintés: 2-Okt-2015].