

FÉMGÖMBHÉJ ERŐSÍTÉSŰ ALUMÍNIUM MÁTRIXÚ KOMPOZITOK FÚRÁSI VIZSGÁLATAI

THE DRILLING INVESTIGATION OF ALUMINIUM COMPOSITE REINFORCED WITH METAL HOLLOW SPHERES

Horváth Richárd, PhD, horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu

Nagyne Halász Erzsébet, nagyne.halasz@bgk.uni-obuda.hu

Oláh Ferenc, olahf@citromail.hu

ABSTRACT

Since composites have numerous advantages, they have a prominent role in manufacturing. That is the reason why they might substitute conventionally used materials. Nowadays cutting processes are among the most commonly used finishing technologies. In case of composites the cutting tools have to meet particular requirements. This paper represents the machinability examinations of a special type of composites – iron hollow sphere filled aluminium matrix (Al-Si) – during drilling. The input cutting parameters, the feed (f , mm) and the cutting speed (v_c , m/min), were varied at a wide range according to Design of Experiment (a full factorial design was used). Drilling studies were carried out under dry conditions and with internal cooling lubrication as well. The axial force (F_z , N) was measured. Based on the experimental results, the different drilling conditions were compared. In addition, a proposal is made for cutting this kind of material. Moreover, the co-features of the materials of the aluminium matrix and the iron hollow sphere protuberances by cutting procedures were examined by scanning electron microscope.

1. BEVEZETÉS

A szintaktikus fémhabok magukban hordozzák a már ismert fémhabok jellemzőit, valamint a kompozitok előnyös tulajdonságait. Ilyen anyagok vizsgálata és kutatása az elmúlt években fokozatosan növekszik. Ezen anyagok remek mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, többek között energiaelnyelésük, nyomószilárdságuk, sérüléslokalizáló képességük is nagyon jó, amellett, hogy sűrűségük igen alacsony, mely köszönhető a könnyűfém mátrixnak és az üreges gömbhéjaknak.

Az erősítő anyag alapvetően két fő csoportra osztható, melyek fém és kerámia alapú gömbhéjak [6]. Ezek például a Hollomet GmbH [2] forgalmazásában a kerámia gömbhéj (globocer, GC), valamint vasgömbhéjak (globomet, GM).

Számos kutatás foglalkozik az ilyen féle anyagok anyagtulajdonsági vizsgálataival [7]. Az ilyen anyagok zömíthetősége igen jó. Három különböző fémmátrix szintaktikus hab zömítési viselkedését vizsgálta Orbulov és Ginsztler [10] (ahol a mátrix anyag Al99,5 az erősítő anyag pedig három féle kerámia gömbhéj volt). A kerámia gömbhéjak főként átmérőjükben tértek el egymástól (100 μm ; 150 μm ; 1450 μm). Az eredmények azt mutatták, hogy a gömbhéjak mérete, és a vizsgálatok hőmérséklete jelentős hatást gyakorol a nyomószilárdságra. A kisebb vékonyfalú gömbhéjak nagyobb nyomószilárdságot biztosítanak. A vizsgálatokat szobahőmérsékleten és 220 °C-on végezték el. A növelt hőmérsékleten végzett tesztek ~30% -kal csökkentették a nyomószilárdságot. Egy másik kutatásban szintén kerámia-gömbhéjú alumínium mátrixú kompozitok zömíthetőségét vizsgálta Kiser et al. [4]. A kísérletben A201 jelű alumínium ötvözet és 55% Al_2O_3 kerámia-gömbhéjú kompozitot valamint A360 jelű alumíniummátrixú és 60% kerámia-gömbhéjú kompozitot vizsgáltak. Az eredmények azt mutatták, hogy a vizsgált anyagok energiaelnyelő képessége nagyban függ a terhelés paramétereitől, viszonyaitól. Az ilyen fajta anyagok igen jól alkalmazhatóak a helyi behatolással (pl.: lövedékekkel) szemben. Szlancsik et al. [12] különböző mátrix anyagú (Al99.5, AlSi12, AlMgSi1 és AlCu5) Globomet erősítő anyaggal készült kompozitok zömíthetőségét vizsgálta. A felvett zömítési (kis meredekséggel növekvő) görbék alapján a vizsgált kompozit nagy energiaelnyelési képességgel rendelkezik. Megállapították még azt is, hogy a mátrixanyag és a hőkezelés erősen

befolyásolja a kompozit mechanikai tulajdonságait, így a megfelelő igények alapján a mechanikai tulajdonságok széles tartományban változtathatók. A mátrixanyag és a hőkezelés erősen befolyásolja az elkészített kompozit mechanikai tulajdonságait. Így a megfelelő kiválasztás révén a jellemző tulajdonságok széles tartományon belül változhatnak. Hasonlóan az előző tanulmányhoz Orbulov és Ginsztler [11] négy különböző mátrix anyagú (Al99.5, AlSi12, AlMgSi1 és AlCu5) viszont kétféle átmérőjű kerámia gömbhéj (100 μm , 150 μm) erősítéssel rendelkező kompozit zömítő vizsgálatainak eredményei azt mutatták, hogy a kisebb gömbhéjű kompozitok nagyobb nyomószilárdságot és jobb merevséget biztosítanak, mint a nagyobb átmérőjű erősítő anyaggal rendelkező kompozitok.

Nyitott cellás SiC-val erősített alumínium mátrixú kompozit forgácsolhatósági (marási) vizsgálatát végezte Karabulut és Karakoç [3] bevonatolatlan keményfém szerszámmal. A vizsgálatokat Taguchi L27-es terv alapján végezték és optimalizálták a felületi érdességet a bemenő forgácsolási paraméterek függvényében. Az eredmények azt mutatták, hogy az előtolási sebességnek volt a legnagyobb hatása a forgácsolt felületi érdességre. Szilumin és SiC kompozit vágathatóságát vizsgálta Krajewski & Nowacki [5]. A vizsgálatba vont kompozitot fűrészelésnek, vízsugaras vágásnak (abrazív anyag hozzáadása nélkül és abrazív anyag hozzáadásával), lézeres vágásnak, szikraforgácsolásnak valamint plazma vágásnak vetették alá. Számos 2D és 3D érdességi paraméterrel jellemezték a felületeket majd a kapott eredmények alapján meghatározták a legkedvezőbb vágási körülményeket. A porozitás és a forgácsoló erő kapcsolatát vizsgálta Fakhri et al. [1] titán haboknál. Vizsgálataikból megállapították, hogy az eredő forgácsoló erő szoros korrelációt mutat a porozitással (szilárd anyag aránnyal). Nem hagyományos forgácsolótechnológiával is vizsgálták alumínium hab viselkedését. B.S. Yilbas et al. a vágott felületet méretét vizsgálta lézervágás technológiájánál háromszög [13] valamint furat [14] alakú geometriáknál.

Ebben a cikkben egy eutektikus alumínium mátrixú vasgömbhéj erősítésű kompozit fűrési vizsgálatát (száraz és belső hűtés kenés körülményei között) és annak eredményeit mutatjuk be.

2. FELHASZNÁLT ALAPANYAG ÉS ESZKÖZÖK

A gyártáshoz eutektikus alumínium-szilícium ötvözetet (AlSi12) használtunk mátrixanyagként és 100% Fe összetételű globometet erősítő anyagnak. Az alumínium ötvözet összetevői: Al=87,1 tf%, Si=12,8 tf% és Fe=0,1 tf%. A vasgömbhéjak a Hollomet GmbH által forgalmazott globometek [2] voltak, melyek 1,4-1,8 mm jellemző átmérővel valamint 0,2 mm falvastagsággal rendelkeznek. A gyártásnál infiltrációs eljárást alkalmaztunk [8]. A kész munkadarabok az 1. ábrán láthatóak melynek befoglaló méretei: 35×45×85 mm.



1. ábra. Fűrési kísérletre előkészített munkadarabok

A forgácsolási kísérletek elvégzésére egy MAZAK VCN 410A-II típusú szerszámgépet alkalmaztunk ($n_{max} = 12000$ 1/perc; $P_{max} = 11$ kW).

A fűrési kísérletekhez a Dream Drills alumíniumhoz alkalmazott fűrőcsalád D5433100 5XD típusú szerszámot alkalmaztuk [9] ($\varnothing 10$ mm) mely belső hűtőfuratokkal rendelkezik.

Az erő mérésére Kistler 9257b típusú erőmérő platformot és KISTLER 5019-es típusú jelerősítő és feldolgozó készüléket alkalmaztunk, mellyel mértük az előtolás irányú erőket. A mért erők feldolgozását DynoWare programmal végeztük.

A fűrési forgácsolási paramétereit, mind a forgácsoló sebességet – v_c , m/min; mind az előtolást – f , mm négy szinten változtattuk: $v_c=80-120-160-200$ m/min; $f=0,1-0,2-0,3-0,4$ mm. Az így kialakult 16 mérési pontot az 1. táblázat tartalmazza. A forgácsolási kísérleteket szárazon és belső hűtéssel is elvégeztük.

1. táblázat. Fúrási kísérletek mérési pontjai

Mérési pontok	v_c , m/min	f , mm
1	80	0,1
2	80	0,2
3	80	0,3
4	80	0,4
5	120	0,1
6	120	0,2
7	120	0,3
8	120	0,4
9	160	0,1
10	160	0,2
11	160	0,3
12	160	0,4
13	200	0,1
14	200	0,2
15	200	0,3
16	200	0,4

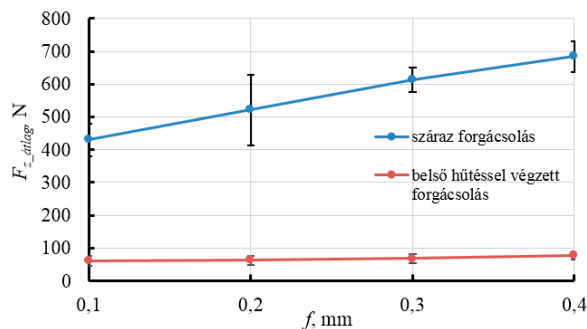
A fúrási kísérleteket száraz és belső hűtéssel is elvégeztük. Hűtő-kenő közegként 4 tf%-os olajos emulziót használtunk, AGIP AQUAMET 4 HS-BAF ásványolaj alapú fémmegmunkáló kenőanyagból.

3. EREDMÉNYEK

A fúrási kísérletek során a z irányú F_f erőket rögzítettük. Szignifikancia vizsgálatot végeztünk, hogy mely forgácsolási paramétereknek van jelentős hatása a mért F_f erő komponensre. Ennek eredménye, hogy az F_f erő komponensre csak az előtolásnak volt szignifikáns hatása. Ezért a továbbiakban az előtolás hatásának elemzését mutatjuk be.

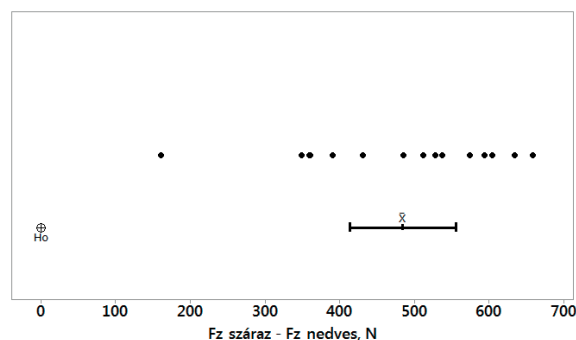
3.1. Előtolás hatása az előtolás irányú erőre

A kapott erő értékek átlaga látható a 2. ábrán hűtő-kenő-közeg alkalmazása és száraz forgácsolás körülményei között. Jól látható, hogy az erő értékek száraz forgácsolás esetén sokkal nagyobbak, mint belső hűtéssel történő forgácsoláskor.



2. ábra. Előtoló erő értékek az előtolás függvényében egyes sebességek átlag értékén

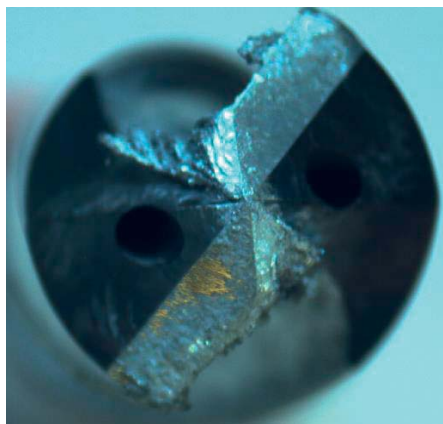
Megvizsgáltuk a kapott erő adatokat páros t-próbával is, melynek eredménye alapján kimondható, hogy átlagosan 484,8 N-nal nagyobb az előtolás erőigénye szárazforgácsolás esetén. (3. ábra).



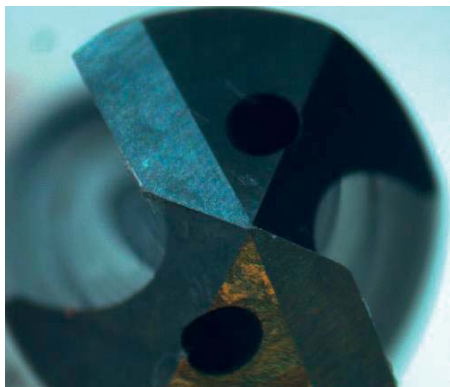
3. ábra. Páros t-próba eredménye

3.2 Élratét és sorja képződés vizsgálata

A furatok elkészítését követően a szerszámot megvizsgálva az tapasztalható, hogy szárazforgácsolás esetén minden esetben élratét jött létre, míg belső hűtés alkalmazása esetén ez egyáltalán nem jelentkezett. A 4. ábrán jól látható a szárazforgácsoláskor képződött élratétes szerszám, valamint az élratét nélküli forgácsolás a belső hűtés-kenés alkalmazását követően.



a) élratétes szerszám száraz forgácsolás körülményei között



b) élrátét nélküli szerszám belső hűtés-kenéssel történő forgácsolás körülményei között

4. ábra. Élrátét kialakulása

Ezt követően megvizsgáltuk az átmenő furatok kilépő oldalain képződött sorjakat. A száraz forgácsolás körülményei között minden esetben képződött sorja a kilépő oldalakon, míg belső hűtés-kenés használatakor ilyen jelenség nem tapasztalható (5. ábra).



b) furatok kilépő oldalai belső hűtés-kenés alkalmazásakor

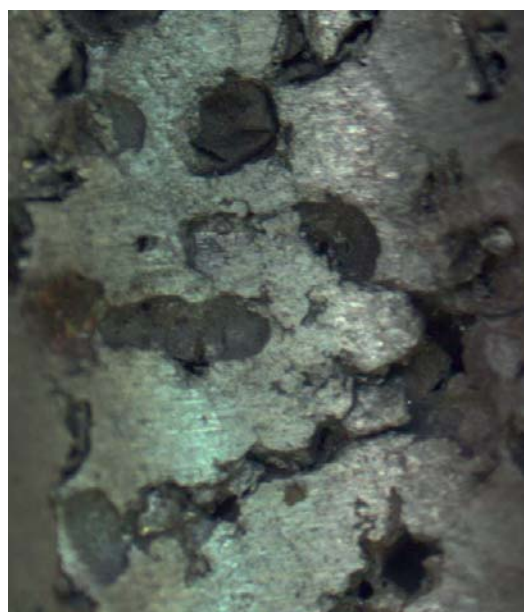
5. ábra. Sorja képződés a furatok kilépő oldalain



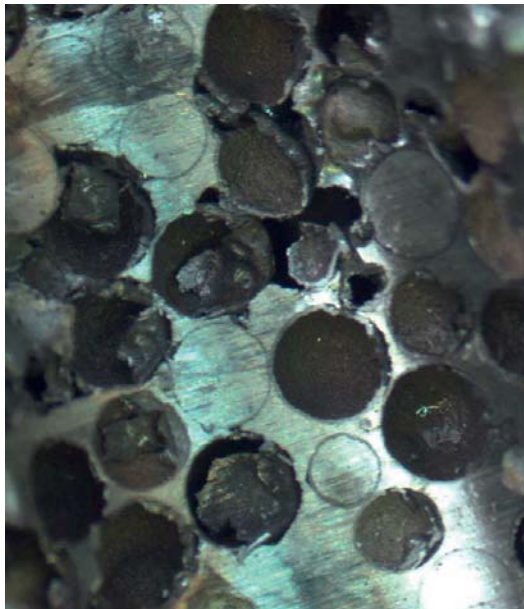
a) furatok kilépő oldalai száraz forgácsolás körülményei között

3.3 Forgácsolt felületek vizsgálata

A furatok belsejét megvizsgálva az tapasztalható, hogy a száraz forgácsolás esetén minden esetben elkenődött a mátrixanyag, a gömbhéjak kiszakadtak a helyükről. Ezzel szemben a belső hűtés használata mellett jobbak a forgácsolási körülmények a mátrix alumínium anyag forgácsolása megtörténik valamint a gömbhéjakat is sikerült elvágni. Kiszakadt gömbhéjak belső hűtés esetén sokkal kisebb arányban jelennek meg. A furatok belső felületéről készült mikroszkópos képeket mutatja a 6. ábra.



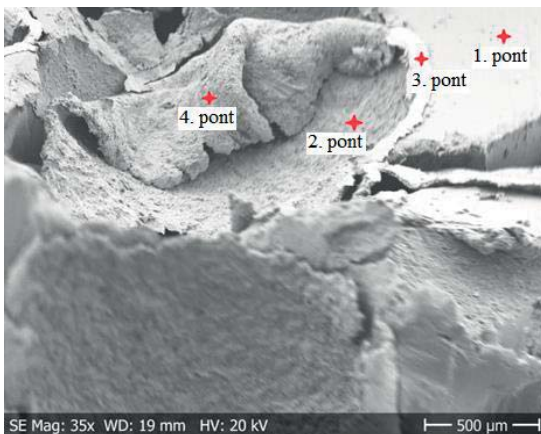
a) száraz forgácsolással készült furat felülete



b) belső hűtés-kenéssel készült furat felülete
6. ábra. Furatok belső felületeinek vizsgálata

Az 6. ábrán látható fénymikroszkópos képek alapján levont következtetéseket elektronmikroszkópos felvételekkel bizonyítottuk.

A furatok belső forgácsolt felületét elektronmikroszkóppal több ponton is vizsgáltuk. Az Fe, Al és Si atomok térfogatszázalékát elemeztük a forgácsolt felületen (7. ábra). A 7. ábrán látható mérési pontok anyagösszetételét az 2. táblázat tartalmazza.



7. ábra. Elektronmikroszkópos felvétel a furat belső felületéről (belső hűtés-kenéssel végzett fúráskor)

2. táblázat. Anyagösszetétel vizsgálat eredményei a forgácsolt felületben (7. ábra alapján)

Vizsgált pontok	Al, tf%	Si, tf%	Fe, tf%
1.	83,55	14,65	1,80
2.	2,84	0,51	96,65

Vizsgált pontok	Al, tf%	Si, tf%	Fe, tf%
3.	14,00	1,46	84,54
4.	26,17	0,64	73,2

Az első mérési pontban a varakozásoknak megfelelően tiszta mátrixanyag található.

A második mérési pontban egy elforgácsolt gömbhéj belső fala lett elemezve melyben szinte csak tiszta vas alkotó található meg.

A harmadik mérési pont a forgácsolt gömbhéj falának vizsgálatát mutatja. Ebben az esetben is hasonlóan túlnyomórészt vas található meg, de kis mennyiségben oldódott alumínium is látható a spektroszkópián. Ennek oka lehet az infiltrálási eljárás, mely során lehetősége van a mátrix és az erősítő anyagnak az oldódásra.

A 4. pont egy a forgácsolás során behajtott, erősítő gömbhéj falát vizsgálja. Itt jelentős mennyiségű alumínium összetevő is jelentkezett. Látható a 7. ábrán, hogy a gömbhéj két oldalával eltérő módon találkozott a szerszám a felső oldalt az előtolás hatása miatt behajtotta, míg a gömbhéjből való kilépéskor átvágta azt. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy behajlításkor a szerszám a gömbhéj külső felületével érintkezett, míg a szerszám a gömbhéjből való kilépéskor annak belső felületével.

4. KONKLÚZIÓ

A cikkben bemutatott szintaktikus fémhabon fúrasi kísérleteket hajtottunk végre száraz forgácsolás és belső hűtés körülményei között (széles paramétertartományban változtatva az előtolási és forgácsolósebesség paramétereit).

A vizsgálatokból az alábbi eredmények vonhatóak le:

- A forgácsolási paraméterek közül csak az előtolásnak van szignifikáns hatása az előtolási (F_f) erőre, mind belső hűtés-kenés használata esetén, mind pedig száraz forgácsolás esetén. A forgácsolási sebesség hatása elhanyagolható az előtolási erőt vizsgálva.
- A szárazforgácsolás esetén az előtolás erő igénye akár 8-10-szer nagyobb is lehet, (átlagos eltérés 484N).
- Száraz forgácsolás esetén minden mérési pontban képződött élrátét a szerszámon, valamint sorja is a furatok kilépő felületein, míg belső hűtés-kenés

körülményei között ezek a jelenségek nem tapasztalhatóak.

- Az ilyen anyagok fúrásához a szárazforgácsolás nem ajánlott, mert az erőnövekedés és a kilépésnél található sorja, a szerszámra tapadó élrátét valamint az el nem vágott gömbhéjak rontják a felületminőséget, a furat minőségét és a szerszámélettartamot.
- Belső hűtés körülményei között a mind a mátrix anyag mind az erősítő gömbhéjak forgácsolása megtörténik, bár a forgácsolás hatására az egyes gömbhéjak, (orientációtól függően) deformálódnak, illetve elvágásra kerültek. Ez a jelenség elektronmikroszkópos és anyagösszetétel vizsgálatokkal lett bizonyítva.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”

A szerzők köszönetüket szeretnék kifejezni GranTOOL Kft.-nek, hogy biztosította a vizsgálatok elvégzéséhez szükséges szerszámokat.

IRODALOM

[1] Fakhri, M. A., Bordatchev, E. V., Tutunea-Fatan, O. R. (2012). An image-based methodology to establish correlations between porosity and cutting force in micromilling of porous titanium foams. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(9-12), 841-851.

[2] <http://www.hollomet.com/produkte.html>

[3] Karabulut, Ş., Karakoç, H. (2017). Investigation of surface roughness in the milling of Al7075 and open-cell SiC foam composite and optimization of machining parameters. *Neural Computing and Applications*, 28(2), 313-327.

[4] Kiser, M., He, M. Y., Zok, F. W. (1999). The mechanical response of ceramic microballoon reinforced aluminum matrix composites under compressive loading. *Acta Materialia*, 47(9), 2685-2694.

[5] Krajewski, S., Nowacki, J. (2015). Structure of AlSi-SiC composite foams surface formed by mechanical and thermal cutting. *Applied Surface Science*, 327, 523-531.

[6] Májlinger, K., Kalácska, G., Orbulov, I. N., Zsidai, L., Bozóki, B., Keresztes, R. (2017).

Global Approach of Tribomechanical Development of Hybrid Aluminium Matrix Syntactic Foams. *Tribology Letters*, 65(1), 16.

[7] Májlinger, K., Orbulov, I. N. (2014). Hibrid szintaktikus fémhabok szilárdsági jellemzői. *Bányászati és kohászati lapok* 147(1).

[8] Májlinger, K., Orbulov, I. N. Fémgömbhéj erősítésű fémhabok mikroszerkezeti tulajdonságai. *XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó*, 253-256.

[9] Ø10 DreamDrills Alu fúró (D5433100) GranTool katalógus adatai: http://www.toolontool.hu/DNNGranTool/PDF/YG-1_Drill_D5433.pdf

[10] Orbulov, I. N., Ginsztler, J. (2012). Compressive behaviour of metal matrix syntactic foams. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9(2), 43-56.

[11] Orbulov, I. N., Ginsztler, J. (2012). Compressive characteristics of metal matrix syntactic foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(4), 553-561.

[12] Szlancsik, A., Katona, B., Bobor, K., Májlinger, K., Orbulov, I. N. (2015). Compressive behaviour of aluminium matrix syntactic foams reinforced by iron hollow spheres. *Materials & Design*, 83, 230-237.

[13] Yilbas, B. S., Akhtar, S. S., Keles, O. (2013). Laser cutting of triangular geometries in aluminum foam: Effect of cut size on thermal stress levels. *Optics & Laser Technology*, 48, 523-529.

[14] Yilbas, B. S., Akhtar, S. S., Keles, O. (2013). Laser hole cutting in aluminum foam: Influence of hole diameter on thermal stress. *Optics and Lasers in Engineering*, 51(1), 23-29.