

ALUMÍNIUMHAB MAGÚ, SZÁLERŐSÍTETT POLIMER MÁTRIXÚ SZENDVICSSZERKEZET VIZSGÁLATA STATIKUS ÉS DINAMIKUS IGÉNYBEVÉTELEK ESETÉN

INVESTIGATION OF ALUMINIUM FOAM CORE FIBER REINFORCED POLYMER MATRIX SANDWICH STRUCTURE AT STATIC AND DYNAMIC LOADS

Bódi Szabolcs^{1*}, Belina Károly², Babcsán Norbert³

¹ Természet- és Műszaki Alaptudományi Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Pallasz Athéné Egyetem, Magyarország

² Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari És Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Pallasz Athéné Egyetem, Magyarország

³ Aluivent Zrt., Felsőzsolca

Kulcsszavak:

fémhab
szendvicsszerkezet
fajlagos hajlítómerevség

Keywords:

metal foam
sandwich structure
specific flexural rigidity

Cikktörténet:

Beérkezett 2016. szeptember 8.
Átdolgozva 2016. október 21.
Elfogadva 2016. október 26.

Összefoglalás

Cikkünkben bemutatjuk a fémhabok szerkezeti felépítését, gyártási, felhasználási módjait, vizsgálati lehetőségeit. Kitérünk a fémhab vágási eljárással kapcsolatos, valamint a szendvicsszerkezetek és ezek gépszerkezettani alkalmazásával kapcsolatos kutatási célkitűzésekre.

Abstract

In our article, we present metal foam's structure, ways of their manufacturing and application, and their investigation possibilities. We deal with research aims concerning metal foam's cutting procedure with band saw, sandwich structures and their machine design application.

1. Bevezetés

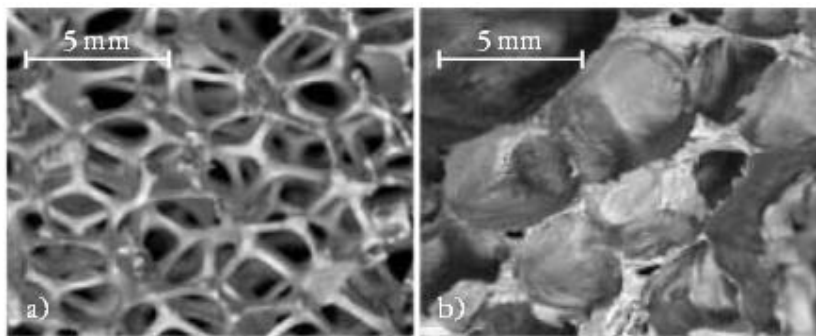
Napjaink fejlesztőmérnökeinek egyik célkitűzése a tervezett gépek tömegének csökkentése, ami által jelentős energiatakarékosságra tudunk szert tenni. A jövőben egyre több fém alkatrészt helyettesítünk fémhabbal (különösen alumínium habbal), különböző szálerősítésű polimer kompozittal, melyek a kisebb tömegükön túl adott esetben jobb tulajdonságokkal is rendelkeznek, így az elvárt funkciót teljes mértékben el tudják látni. [1] A fémhabokat jó energiaelnyelő képességük miatt tervezik használni. A biomechanikában széles körűen, az autópárhuzamban prototípus szinten és kis sorozatú termékek formájában alkalmazzák. Például az ortopédiában a jelentős teherbírása, a kis sűrűsége miatt használják, mivel ideális körülményeket teremt a csontnövekedéshez a szivacsos csontállományhoz hasonló szerkezete miatt. [2] A különböző texturált és porózus szerkezetű protézisfelületek növelik a kötés szilárdságát, elősegítik a biológiai-mechanikai kapcsolat kialakítását, mivel a cellás struktúrába beépül és megtapad a szomszédos csontszövet [8].

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 76 516 338;
E-mail cím: bodi.szabolcs@gamf.kefo.hu (Bódi Szabolcs)

Nagy fajlagos szilárdságuk és jó hangszigetelő képességük révén előszeretettel használják az építőiparban, kis hővezető képességük és kiváló hődiffúzióviszonyaik előnyös az elektronikai ipar számára, míg jó energiaelnyelő képességük forradalmasította a csomagolástechnikát, a hadiipart (pl. lövedékálló mellények bélése), a járműipart, mely utóbbinál szendvicspaneleket készítenek belőlük. [3] A jövő autójában egy esetleges karambol okozta sérülésektől fém párnák és csontszerű vázszerkezet védi majd az utast. [7]

2. A fémhabok szerkezeti felépítése, gyártási módjainak a bemutatása

A fémhabok a celluláris anyagok közé tartoznak, melyek tömör lemezek/rudak hálózatát jelentik. Ha a háromdimenziós celluláris anyag relatív sűrűsége nem haladja meg az 50%-ot, akkor haboknak nevezzük. A celluláris anyagban lévő lemezeket cellafalaknak, a tömör rudakat cellaéleknek hívjuk. A habok szerkezetük szerint lehetnek nyílt cellásak vagy zárt cellásak (1. ábra). Ha nyitott cellaoldalakon keresztül érintkeznek a cellák, akkor nyílt cellás a hab, ha viszont cellafalak határolják a cellák üregeit, akkor zárt cellás anyagról beszélünk. [4]



1. ábra. Nyílt és zárt cellás fémhabok [4]

A fémhabok gyártása történhet öntéssel, porkohászati eljárásokkal, fémleválasztással, fecskendezéses fémbevonással. Ezen gyártási eljárások közül röviden ismertetünk kettőt. [3]

Az egyik legelterjedtebb zárt cellás fémhab előállításánál a magas hőmérséklet hatására bomló gázfejlesztő (buborékképző) anyagot (alumínium esetében ZrH_2 -et illetve TiH_2 -et) adagolnak az olvadt fémhez. A szilárd –szemcsékkel stabilizált olvadékhoz adagolják a gázképző adalékot, a gázképző adalék elbomlik és a felszabaduló gázok buborékokat hoznak létre, a végső szerkezetet ezen buborékok egymáshoz illeszkedése, mozgása alakítja ki. [3]

Az öntőpépes habosítási eljárás esetében finom fémportól és habképző anyagból egy iszapszerű anyagot készítenek, melyet szétosztanak egy szerves hordozóban. Szilárd porózus szerkezetet a keverék felverésével, majd kiégetésével nyernek. [3]

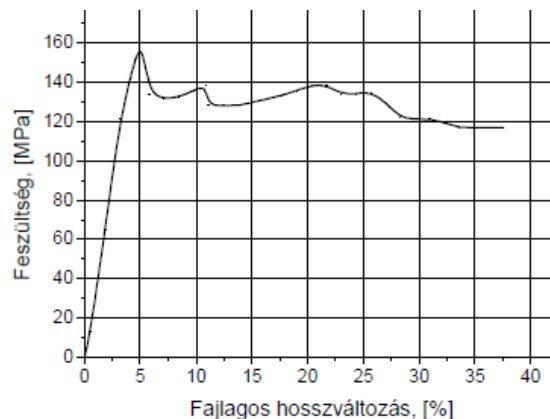
3. A fémhabok mechanikai tulajdonságának vizsgálata

Vickers keménységmérés során a jó megmunkálhatóság biztosítása, valamint a minták beállítása és rögzítése érdekében egy keményítő anyagot és epoxi gyantát kell használni a minta-előkészítés során. Azért, hogy a hab-cellafalak közötti üregeket betöltse az epoxi-keményítő keverék, vákuum kamrába helyezik. A cellafalakon mikroszkóp segítségével határozható meg a benyomódás megfelelő helye. A ható F erő és a benyomódás területének (A) arányaként határozható meg a HV. [5]

A szakítóvizsgálat a legelterjedtebb módszer a mechanikai szilárdság meghatározására. A befogni kívánt próbatest henger alakú kell legyen, - ezt nyílt cellájú fémhab esetén meg lehet oldani például epoxigyantába ágyazással. A kiértékelés során a maximális húzóerőt, a próbatestek eredeti hosszát, eredeti átmérőjét, a megnyúlásukat, valamint a szakítószilárdságukat tüntetjük fel. Ábrázoljuk az erő-elmozdulás koordinátarendszerben a szakítódiagramot. [6]

Zömítővizsgálat (nyomóvizsgálat) során (2. ábra) tanulmányozható az anyag térfogatra vonatkoztatott (alakváltozás által elnyelt) munkája és, -a mechanikai energiaelnyelő képessége. Megvizsgálható, hogy milyen hatással van a hab szilárdságára a sűrűségváltozás. Általában a

zömítési tesztek mechanikus teszgépen hajtják végre, két acél nyomólemez közé helyezve a próbatesteket. A deformáció meghatározása érdekében megméri a nyomólemezek elmozdulását, például lézer extenzométerrel. [5,6]



2. ábra. Zárt cellás fémhab zömítő diagramja [6]

A nyomófeszültség és a fajlagos hosszváltozás függvényében lehet ábrázolni a zömítődiagramot, az elnyelt munkával arányos a diagram alatti terület. A mérnöki alakváltozás ($\epsilon = \Delta H/H$), ahol ΔH a próbatestek magasságváltozása. A zömítés során elnyelt munka (W), amit lehet tömegre (W/m) vagy térfogatra (W/V) is vonatkoztatni. A felhasználás során a minél nagyobb görbe alatti terület elérése a cél, ami nagy energiaelnyelést produkál. Nagy energiaelnyelő anyagok esetén kedvező lassulási viszonyokat lehet biztosítani (például gépjármű karosszériába beépített fémhabbal). Az eredmények kiértékelése során feltüntetik a próbatestek átmérőjét, magasságát, a belőlük számított térfogatot, az elnyelt munkát, az alakváltozást, a magasságváltozást. [5,6]

A hárompontos hajlítóvizsgálat során a különböző anyagok összehasonlítására alkalmas hajlítómerevséget, valamint a fajlagos hajlítómerevséget határozzák meg. Ismert adatok a keresztfej sebessége, a nyomófej és a támaszok sugara, valamint a hajlítási támaszköz. [6]

4. Szendvicsszerkezetek vizsgálata Bódi Szabolcs kutatási célkitűzésein keresztül

Alulírott Bódi Szabolcs, doktori disszertációm témája „Polimer-kerámia-fém kompozit rendszerek tanulmányozása”. Napjainkban egyre gyakrabban készítenek olyan kompozit rendszereket, ahol a fémhabot maganyagként használják a már fentebb említett előnyös tulajdonságai miatt, hogy növeljék a rendszer szilárdságát, hajlítási merevségét. Olyan szendvicsszerkezetet akarok létrehozni, amely az eddig vizsgált szendvicseknél jobban ellenáll a hajlító igénybevételnek. Vizsgálni fogjuk, hogy hogyan és mitől függ a fajlagos hajlítási merevség, hogyan tudunk minél nagyobb fajlagos hajlítási merevséget létrehozni, vagyis hogyan tudom optimalizálni a szendvicsszerkezetet.

Először az alumíniumhabok megmunkálhatóságát fogjuk vizsgálni, majd rátérünk a szendvicsszerkezet kialakítására, vizsgálatára, végül az optimalizált szendvics gépszerkezetetani alkalmazási lehetőségeit mutatjuk be.

4.1. Fémhabok megmunkálhatóságának tanulmányozása

A Bódi Szabolcs által feldolgozott fémhabok vágásával kapcsolatos tudományos cikkek összehasonlították a különböző vágási módszereket (körfűrész vágás, plazmavágás, lézervágás, elektromos kisüléssel vágás (EDM)) az átlagos felületi érdesség, valamint a cellaszerkezetre gyakorolt hatás (szalagfűrész, körfűrész, elektromos kisüléssel megmunkálás (EDM)) függvényében. Megállapították, hogy fűrészeléssel érhető el a legjobb minőség [9,10]. Mi a fémhabok szalagfűrészsel való vágását fogjuk vizsgálni különböző cellaszerkezetű alumíniumhabok esetén. A különböző geometriájú fűrészfogak esetén felállítunk egy erőmodellt, mely az egy fogra ható vágóerőket felbontja háromirányú komponensre és kapcsolatot teremt az

erővektorok és a koordinátatengelyek által bezárt szögek, a két fog hegye közti távolság, valamint a fogak száma között. Ábrázoljuk a vágóerőket különböző vágási sebesség és előtolás függvényében, majd összehasonlítjuk a mért és szimulált vágóerőket egymással. Azt szeretnénk vizsgálni, hogy a fűrészpenge tranzverzális rezgései miként befolyásolják a vágóerőket és javaslatot teszünk ezek kiküszöbölésére. A vágóerő mérésére a fűrészgép asztalára erősített dinamométert használunk. A számítógépbe A/D konverter fogja küldeni az áramerősítővel felerősített vágóerő jelét. [11]

Az általunk vizsgált alumíniumhab vágott felületének térbeli egyenetlenségeinek a vizsgálatára mikrotopográfiai paraméterekkel történő feltárára van szükség. Szükség lesz az átlagos egyenetlenség (S_a), a felületi topográfia magasságeloszlásának ferdesége (S_{sk}), mely jellemzi a topográfia magasságeloszlás függvényének alakját, valamint a felületi topográfia magasságeloszlásának hegyessége (S_{ku}) kimutatására. Ez utóbbi két paraméter utal a felületek működési jellemzőire, vagyis az egyenetlenségek formáját jól jellemzi. A mérést Mahr Perthen Concept típusú metszetaipintós érdességmérővel végezzük. A mérés elve, hogy a tapintó profilmetszeteket hoz létre a mintavételi felület letapogatása során, melyek egymástól meghatározott távolságra vannak. Így alakul ki a topográfiai kép. [12] Megvizsgáljuk, hogy a változó vágási sebesség és előtolás esetén hogyan változnak az S_a , S_{ku} , S_{sk} paraméterek.

4.2. Szendvicsszerkezet kialakítása, vizsgálata

A kompozit lemezek készítéséhez a kézi laminálást alkalmazunk. Erősítőanyagként üveg-, karbon-, aramid-, bazaltszálát, illetve ezek kombinációit használjuk. Mátrix anyagként epoxigyantát, illetve poliésztert használunk. Nemcsak olyan próbatesteket gyártunk, ahol a felső és alsó réteg azonos szálerősítésű, hanem olyat is, ahol különböző. A vizsgálatok során mindig csak egy paramétert módosítunk.

Statikus igénybevétel esetén hárompontos hajlítóvizsgálatot végzünk. Egy közepen ható erővel terheljük a próbatestet, melyet kéttámaszú tartónak tekintünk. Nulláról a törés pillanatáig fokozatosan növeljük a terhelést, miközben a behajlítást (δ) és a terhelőerőt (F) fokozatosan mérjük. A maximális hajlítónyomaték (M_{hmax}) és a keresztmetszeti tényező (K) hányadosaként meg tudjuk határozni a hajlítószilárdságot. A vizsgálatokat INSTRON univerzális szakítógéppel végezzük. [13] Tanulmányozzuk a különböző szálerősített kompozitok hajlítási viselkedését különböző támasztáv-mélység arányoknál. A támasztáv-mélység arányt, valamint a szál-térfogat arányt végeeselem-analízis segítségével szimuláljuk. Ismerve a magréteg rugalmassági modulusát meghatározzuk a borítóréteg rugalmassági modulusát. A hárompontos hajlítás során az M hajlítónyomatéket felbontjuk a borítóréteg, illetve a magréteg hányadára. Ezután meghatározzuk a szendvics görbületi sugarát, melynek egyformának kell lennie mindkét réteg számára. Majd meghatározzuk a borító- és magrétegben a hajlítófeszültségeket. Ábrázoljuk a terhelést az elhajlás függvényében az összes terhelési érték és szendvictípus esetében. [14,15,16]

A borítóréteg és a magréteg közötti ragasztott kötés tanulmányozása során vizsgáljuk a ragasztóréteg deformációját, a szálak kihúzását, a mátrix repedését. Ábrázoljuk a normál feszültségek függését a relatív nyitási elmozdulástól, valamint a nyírófeszültségek függését a relatív nyíró elmozdulástól. Megvizsgáljuk, hogy a nyírófeszültségek hatására milyen lesz a károsodás, az milyen irányban és milyen mértékben terjed, illetve milyen határfelületi rétegleválást okoz. Nagy felbontású kamerával megmérjük a próbatestek terhelés irányú elmozdulását, a repedések vizsgálatára pedig pásztázó elektronmikroszkópot használunk. [17]

A gyakorlatban a személygépkocsit különböző dinamikus terhelések érik. Ezt okozhatja kavicsfelverődés az alvázra, oldalszél, frontális- és oldalirányú ütközés stb. Ezért a hajlító merevség vizsgálatát javasoljuk dinamikus igénybevételek esetén is. Súlyt leejtő gépen végezzük a dinamikus tesztek, hogy az elnyelt energiáról, valamint a próbatest teherhordó képességéről információt gyűjtsünk. Az ütközési energiát meg tudjuk határozni a kalapács tömegéből és ejtési magasságából. Annak érdekében, hogy az idő függvényében megkapjuk a sebességet és az elmozdulást, beépítünk egy gyorsulásmérőt a kalapácsba. A gyorsulásmérő jelének integrálásával meg tudjuk határozni a kalapács elmozdulását. Pásztázó elektronmikroszkóppal megvizsgáljuk a törési felületeket, amiből következtetni tudunk a teherhordó képességre. Például a teherhordó képességet lecsökkenti a gyűrődés. Ábrázoljuk a nyomófeszültséget a deformáció függvényében,

a mérnöki feszültséget a deformáció függvényében, a kalapács sebességét az idő függvényében, valamint a lassulást az idő függvényében. [18]

Mind a fémhab megmunkálhatóságának-, a szendvicsszerkezet-, valamint a gépszerkezettani alkalmazhatóság vizsgálatánál a mérési eredmények kiértékelését, illetve a folyamatok szimulálást MATLAB SIMULINK szoftver segítségével végezzük. Elkészítjük a rendszer MATLAB SIMULINK modelljét. Ezt követően lefuttatjuk a modellt MATLAB-ból. Érzékenységvizsgálattal fogjuk vizsgálni, hogy hány százalékkal változik a rendszer kimenete valamelyik paraméter változására. A mért és számított értékek közötti különbségek négyzetösszegét a modell identifikáció során tudjuk meghatározni, melynek során létrehozuk a célfüggvény értékét számoló MATLAB függvényt. Végül megtervezzük a szabályozót és leszimuláljuk az egész folyamatot. [19]

4.3. Gépszerkezettani alkalmazás

A tervezett szendvicsszerkezettel személygépkocsi küszöböt szeretnénk megerősíteni, mely három lemezből álló héjszerkezetű tartó. Áll egy külső lemezből, belső lemezből és közöttük lévő merevítő lemezből. Jelen esetben a merevítő lemez lesz a szendvics. [20] Ezen kívül a személygépkocsi ajtaját egy ütközőrúddal szeretnénk erősíteni, melyet az oldalajtó paneljeire fognak szerelni. A szendvicset a két végén egy acélsapkával kívánjuk megerősíteni a delamináció elkerülése érdekében. [21] Az ütközőrudat a konzolra ragasztással kombinált ponthegeztéssel javasoljuk rögzíteni a nagy igénybevételek miatt. [22] Az ütközőrúd szendvicseire nagy szilárdságú acéllemezt fogunk erősíteni, ami a „Tailor-Rolled Blank” eljárással készül melegalakítással. Ugyanilyen eljárással fog készülni a küszöb külső és belső lemeze. Az eljárásnak az a célja, hogy ne azonos legyen a lemezvastagság a hossza mentén. Ahol nagyobb terhelés lép fel, ott vastagabb legyen. A különböző lemezvastagságot a hengerek összeszorító erejének a változtatásával tudják elérni. A profilt érzékelők letapogatják és a hengerek működtetéséhez visszacsatoló jelet küldenek. [23]

5. Következtetés

Cikkünkben bemutattuk a fémhabokat, alkalmazásuknak, vizsgálatuknak módjait. Napjainkban folyamatos kutatások folynak a tulajdonságaik optimalizálása érdekében. Ismertettük az alumíniumhab szalagfűrészsel történő vágással kapcsolatos célkitűzéseket, hogy összefüggéseket találjunk a vágóerő, a vágási sebesség, az előtolás, valamint a mikrotopográfiai paraméterek (S_a , S_{sk} , S_{ku}) között.

Bemutattuk a szendvicsszerkezet tervezésére irányuló elképzeléseinket, mely iránt egyre nagyobb igény mutatkozik, különösen a járműipar részéről. Felvázoltuk a személygépkocsi küszöbének, illetve ajtajának erősítésére irányuló javaslatainkat, ami különösen időszerű, mivel egyre több helyen helyettesítik a fém elemeket kompozit elemekkel a súlycsökkentés, valamint a jobb tulajdonság biztosítása érdekében.

A felvázolt célkitűzések megvalósítása számos tudományos cikknek, konferenciának, fejlesztési projektnek szolgálhat kiindulási alapjául.

Irodalomjegyzék

- [1] Orbulov, I.; Kientzl, I.; Németh, Á.: Fémhabok és kompozitok előállításának infiltrációs eljárással. Bányászati és kohászati lapok, Budapest, 140. évfolyam, 5. szám, p. 41-46. (2007)
- [2] Varga, T. A.; Mankovits, T.; Kocsis, I.; Budai, I.; Balogh, G.; Gábora, A.; Kozma, I.; Manó, S.: Fémhabok struktúrájának elemzése és modellezése, XX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, p. 331-334. (2015)
<http://eda.eme.ro/handle/10598/28676>
- [3] Kenesei, P.; Kádár, Cs.; Rajkovits, Zs.; Lendvai, J.: Fémhabok előállításának módszerei, Anyagok Világa, Budapest, (2001)
http://anyagokvilaga.hu/tartalom/2001/apr/kenesei_kadar_rajkovits_lendvai.htm
- [4] Kádár, Cs.; Kenesei, P.: Napjaink korszerű anyagai: a fémhabok, Fizikai Szemle, Budapest, p. 279. (2008)/7-8.

- [5] Idris, M.I.; Vodenitcharova, T.; Hoffman, M.: Mechanical behaviour and energy absorption of closed-cell aluminium panels in uniaxial compression, *Materials Science and Engineering A* 517, p. 37-45. (2009)
- [6] Németh, Á.; Orbulov, I. N.: Fémhabok, porózus fémanyagok előállításai és tulajdonságai, *Anyagvizsgálók Lapja*, p. 58-66., HU ISSN 1787-5072 (2006/2)
- [7] Babcsán, N.; Bárczy, P.: Alumíniumhabok, *Bányászati és kohászati lapok*, 2. sz., p. 97-100. (2003)
- [8] Babcsánné Kiss, J.; Sóki, P.; Blaskovics, F.; Számel, Gy.; Tóth, L.; Beke, S.; Babcsán, N.: Fémhabok fejlesztése csontbarát ortopéd implantátumok gyártása céljából, *Bányászati és kohászati lapok*, 1. sz., p. 61-64. (2012)
- [9] Krajewski, S.; Nowacki, J.: Structure of AlSi-SiC composite foams surface formed by mechanical and thermal cutting, *Applied Surface Science* 327, 2015, p. 523-531.
- [10] De Jaeger, P.; T'Joel, C.; Huisseune, H.; Aemeel, B.; De Schampheleire, S.; De Paepe, M.: Assessing the influence of four cutting methods on the thermal contact resistance of open-cell aluminium foam, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, 2012., p. 6142-6151.
- [11] Ko, T. J.; Kim, H. S.: Mechanistic cutting force model in band sawing, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 39, p. 1185-1197. (1999)
- [12] Farkas, G.: ESZTERGÁLT MŰSZAKI MŰANYAG FELÜLETEK MIKROTOPOGRÁFIAI JELLEMZŐI, Doktori (PhD.) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 32-36, 61-62.
- [13] Czél, Gy.; Kollár, M.: Anyagvizsgálati praktikum, SUNPLANT Kft., Miskolc, p. 98-102.
- [14] Dong, C.; Davies, Ian J.: Optimal design for the flexural behaviour of glass and carbon fibre reinforced polymer hybrid composites, *Materials and Design* 37, p. 450-457. (2012)
- [15] Crupi, V.; Montanini, R.: Aluminium foam sandwich collapse modes under static and dynamic three-point bending, *International Journal of Impact Engineering* 34, p. 509-521. (2007)
- [16] M. Csizmadia, B.; Nándori, E.: Modellalkotás, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, p. 513-517. (2003)
- [17] Li, S.; Thouless, M.D.; Waas, A.M.; Schroeder, J.A.; Zavattieri, P.D.: Competing failure mechanisms in mixed-mode fracture of an adhesively bonded polymer-matrix composite, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 26, p. 609-616. (2006)
- [18] Yu, J.L.; Wang, X.; Wei, Z.G.; Wang, E.H.: Deformation and failure mechanism of dynamically loaded sandwich beams with aluminium-foam core, *International Journal of Impact Engineering* 28, p. 331-347. (2003)
- [19] Dr. Farkas, I.; Biró, A.; Buzás, J.; Lágymányosi, A.: FOLYAMATIRÁNYÍTÁS PÉLDATÁR, Szent István Egyetem GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR, Gödöllő, p. 53-57. (2004)
- [20] Lakner, E.: KAROSSZÉRIALAKATOS SZAKMAI ISMERETEK, Műszaki Kiadó, Budapest, p. 27. (2014)
- [21] Lim, T.S.; Lee, D.G.: Mechanically fastened composite side-door impact beams for passenger cars designed for shear-out failure modes, *Composite Structure* 56, p. 211-221. (2002)
- [22] Dr. Pordán, M.: Az Audi Q7 karosszéria újdonságai, *Autótechnika*, 11. sz., p. 57-58. (2007)
- [23] Dr. Nagyszokolyai, I.: VW Golf VII karosszéria, *Autótechnika*, 7. sz., p. 60-67. (2014)