

HABOSÍTOTT ALUMÍNIUMMAL ERŐSÍTETT VÉKONYFALÚ CSŐ FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF THIN-WALLED TUBES REINFORCED BY FOAMED ALUMINIUM

Garai Flórián^{1*}, Hareancz Ferenc¹, Dr. Weltsch Zoltán¹

¹ Anyagtechnológia Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

súlycsökkentés
biztonsági rendszerek
alumínium hab
energiaelnyelő képesség
töltött csövek
betöltési módszerek

Keywords:

weight reduction
safety systems
aluminium foam
energy absorption
filled tube
loading method

Cikktörténet:

Beérkezett 2018. szeptember 20
Átdolgozva 2018. november 18
Elfogadva 2019. március 6

Összefoglalás

Napjainkban a járműiparban egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a súlycsökkentésre és a biztonságra. Ez a két tényező fordítottan arányos, hiszen a nagyobb fokú biztonság erősebb anyagok és több biztonsági elem felhasználását követeli, ami viszont növeli a járművek tömegét. Ezen tényezőket figyelembe véve került előtérbe az alumínium hab használata, amely ultrakönnyű és jó energiaelnyelő képességekkel rendelkezik. A biztonsági rendszerek közül használható a gyűrődési zónákban, ütközés csillapító rendszerekben, és a karosszériaelemek merevítésére. A cikk bemutatja az alumínium habbal töltött csövek betöltésének módszereit és lehetséges felhasználási területeit.

Abstract

Nowadays weight reduction and safety get more and more emphasis in automotive industry. These two factors are inversely proportional because higher safety level demands the usage of stronger materials and more safety elements but it leads to an increase in weight. Considering these conditions has come to the fore of aluminium foam usage which is ultra light weighted and it has good energy absorbing ability. Among passive safety systems it can be used in crumple zones, collision damping systems and stiffening of body parts. The article describes the loading methods of aluminium foam-filled tubes and their application area.

1. Bevezetés

Egyre gyorsuló és dinamikusán fejlődő világunkban a közlekedésnek kiemelkedő szerepe van. A közlekedés egyik folyamatosan fejlődő ágazata a közúti közlekedés. Az egyre szigorodó környezetvédelmi szabályozások miatt a fő fejlesztések a járművek fogyasztásának és károsanyag-kibocsátásának csökkentésére irányulnak.

A károsanyag-kibocsátás csökkentésére több módszer is létezik, ilyen például a hajtóegység fejlesztése, felhasznált tüzelőanyag mennyisége, a gépjármű tömegének csökkentése. Ezek közül egyik potenciális fejlődési irány a jármű össztömegének csökkentése [1]. A legkézenfekvőbb megoldás az alapanyag változtatása: a már megszokott acél alapanyagon kívül más anyagból is gyárthatunk gépjármű karosszériát, például alumíniumból. A karosszéria tömegének redukálása az alapanyag megváltoztatásán kívül a falvastagság csökkentésével érhető el. Azonban felmerül a

* Garai Flórián. Tel.: +36 30 825 9787
E-mail cím: garaiflori@gmail.com

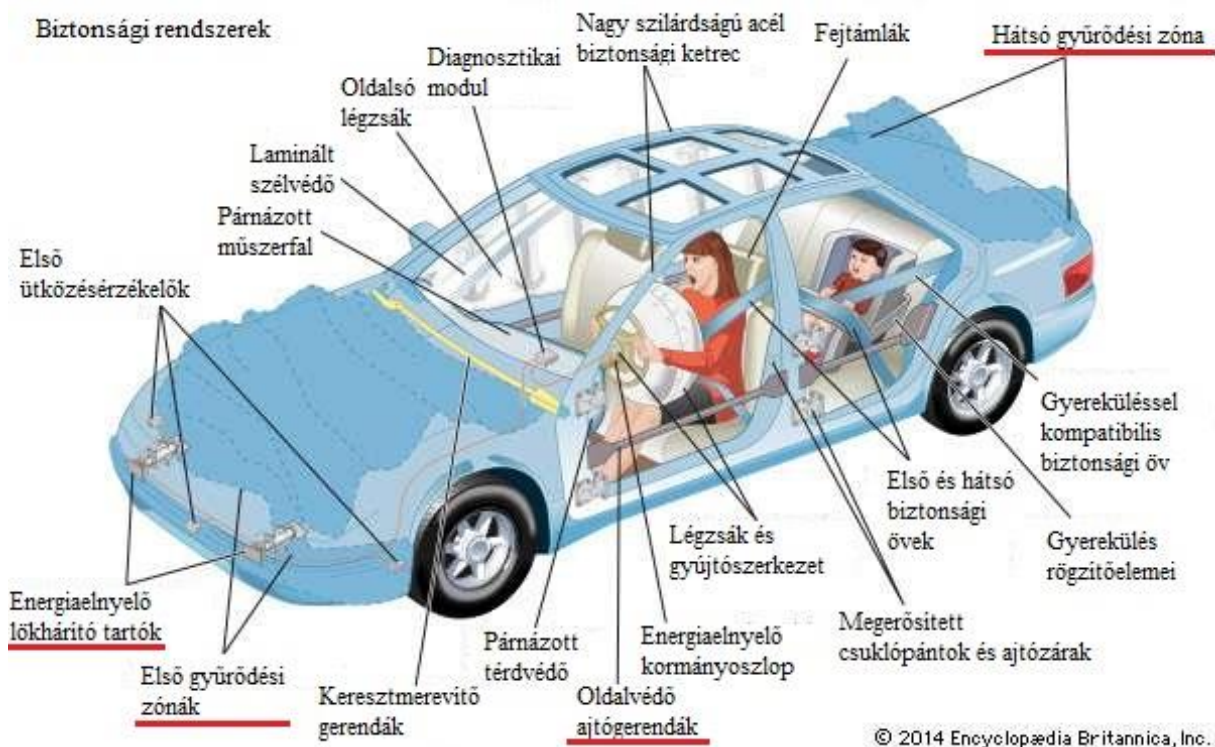
kérdés, hogy a kevesebb alapanyag felhasználása milyen kockázattal van a járműben utazók biztonságára. A fejlesztések ez irányban is folynak és ma már többféle biztonsági rendszer áll rendelkezésre az utasok védelmére [1].

Az előbb említett két trend kismértékű ellentmondással bír: több biztonsági elemet kell felhasználnunk, ha valamit biztonságosabbá akarunk tenni. Biztonsági elemnek tekinthetjük a karosszéria átalakítását, anyagának megváltoztatását vagy éppen az autó elektronikájának köszönhetően a balesetmegelőzést. A jelenlegi autókarosszériák formáját jelentősen változtatni nem célszerű, hiszen meg kell felelnie az aerodinamikai és a biztonságtechnikai követelményeknek és már több évtizedes tervezési irányvonalat követnek [2].

Az anyagok változtatása esetén szilárdságilag jobb tulajdonsággal rendelkező anyagok használatát értem (pl.: acél használata alumínium helyett, nagyobb falvastagságú csövek, vastagabb lemezek használata). Az acél szilárdságtanilag jobb tulajdonságokkal bír, egy ütközés esetén kisebb deformációt szenvedne, mint az alumínium, azonban jóval nagyobb növekedést jelentene az autó össztömegében, ami miatt sokkal több energiára (üzemanyagra) lenne szükség ugyan azon út megtételéhez. A nagyobb üzemanyag fogyasztás értelemszerűen drágább üzemeltetést jelentene, ill. a világ mai helyzetét figyelembe véve (folyamatosan csökken a világ kőolaj készlete) egyre nagyobb hangsúlyt kéne fektetni az alternatív üzemanyag-módok bevezetésére.

Azonban az energiaelnyelő elemek használata és a karosszéria vázának lehetőség szerinti belső merevítése egy nagyon jó kompromisszumos megoldás. 1948-ban szabadalmaztattak egy anyagot, amely sok évtizede fejlesztésen ment keresztül, míg elnyerte a mai formáját. Ez az anyag nem más, mint az alumínium hab. A cellás szerkezetének köszönhetően ultra könnyű, nagyon jó energiaelnyelő, hangszigetelő. Az alumínium habot különleges tulajdonságai alkalmassá teszik a széles körű felhasználásra [3].

2. Alumínium hab lehetséges autóiipari felhasználása



1. ábra: Biztonsági rendszerek [4]

A képen piros aláhúzással jelöltük azokat a rendszereket, ahol alkalmazható az alumínium hab. A fent említett passzív biztonsági rendszerek az ütközéscsillapító és energiaelnyelő elemek megfelelői [4].

Az oldalvédő ajtógerendák minden esetben keresztben felfüggesztett profilok, amelyek az oldalirányú ütközések során kiemelt fontossággal bírnak az utasok biztonságának védelmében. A gerendák úgy vannak beépítve, hogy elnyelik, majd az alsó, merevebb keretszerkezet felé továbbítják az ütközési energiát [4].

Az elülső és oldalsó gyűrődési zóna teljes egészében az energiaelnyelésről és a deformációról szól. Az elülső gyűrődési zóna úgy van kialakítva, hogy frontális ütközés során a motor, a kormánymű és az első kerekek a felfüggesztéssel együtt a sofőr (és az autó) alá „gyűrődjen”. Ezek mellett nagy mértékű energiát nyel el a lökhárító, a törésdobozok, a motorháztető és a karosszéria ezen részének többi alkotóeleme a deformációjával. A törésdobozok az elülső és a hátsó gyűrődési zónában is megtalálhatóak. Elsődleges szerepük nem az utasok védelme, hanem a kis sebességű ütközések okozta energia elnyelése, ez által a karosszériában keletkező károk minimalizálása. [4,5,6].

Az energiaelnyelő lökhárító tartók három részből állnak: a lökhárító homloklemezéből, a lökhárító gerendájából és a tartóelemekből. Egy rugó és a lökhárító homloklemeze és gerendája között található energiaelnyelő elem alkalmazásával biztosítják a rugalmasságot [7].

Az energiaelnyelő elem többféleképpen is felépíthető, használhatunk habokat, dupla vékonyfalú csöveket (egy kisebb átmérőjű a nagyobbban), dupla félkör profilú csöveket vagy akár az egész elemet az ún. „honeycomb” (méhkaptár) struktúrájú, hatszögprofilokat egymáshoz épített vékonyfalú csövek alkalmazásával [7].

3. Alumínium habbal erősített csövek előállítása

3.1. Alumínium hab rudak előállítása

Az alumínium hab általános felhasználásra történő gyártása során a végtermék egy téglalap keresztmetszetű, adott méretű késztermék. Ezeknek a késztermékeknek a kimunkálendő rúd átmérőjénél nagyobbobnak kell lenniük. Sablonok segítségével egyedileg, formára habosított alumínium habokat is előállíthatunk (pl.: négyzet keresztmetszetű, ledugózott zárszelvény, ledugózott cső, stb.).

Az alumíniumhab-rudak előállítására 3 módszert teszteltünk: a késztermékekből való lyukasztást, koronafúrós kivágást és esztergálást.

A lyukasztási technológia elsősorban lemezalakítási technológia, melynek lényege, hogy a vágóerő a kivágott rész kerületére és a vágott rész vastagságára koncentrálódik. Az alumínium hab celluláris szerkezete miatt a vágóerő nem egy homogén, számolható keresztmetszeten oszlik el, hanem egy inhomogén, cellafalak által határolt keresztmetszeten. A vágóerő egyenlőtlen eloszlása és a celluláris szerkezet miatt a lyukasztás nem megfelelő módszer.



2. ábra: Lyukasztott alumínium hab

A koronafúró esetében a habon belüli cellák nem elnyíródnak, hanem szakadnak, ez által nem lehet méretpontosan hengert kimunkálni. A másik probléma a központosítás, mivel a habba nem fúrhatunk lyukat, a központosító fúró nélkül kell azt megoldanunk.



3. ábra: Koronafúróval kivágott alumínium hab

A legalkalmasabb technológia az esztergálás. A legelső lépés, hogy az alumínium hab darabokból négyzet keresztmetszetű, négyfokos tokmányba befogható testeket alakítsunk ki. Az alumínium hab jól fűrészelhető, fűrészeléssel el is lehet végezni a méretre vágást. A jól forgácsolhatóság, megmunkálhatóság a habok esetében szorosan összefügg a cellamérettel és a sűrűséggel. Minél kisebb cellaméretű az alumínium hab, annál nagyobb a sűrűsége és annál jobban megmunkálható. Mint minden hosszabb rúdanyag esetében, az alumínium habnál is fontos a megfelelő központosítás és megtámasztás. A megmunkálás során nagyon fontos, hogy kenőanyagot ne alkalmazzunk, mert az beszivárogna a hab celláiba. A kenőanyag nélküli esztergálás, ill. az alumínium miatt a megmunkálás során élrátétes lesz a megmunkáló szerszám. Sajnos esztergálás közben is előfordul a cellák kiszakadása, de kisebb mértékben, mint a másik két technológiánál (a hab belső szerkezetétől, és a hab felszínén lévő cella kapcsolatok típusától is függ a kiszakadások mértéke).



4. ábra: Esztergált alumínium hab

3.2. Betöltési módok

3.2.1. Alumínium hab utólagos megmunkálása nélkül

Az alumínium habok csőbe töltésére többféle módszer is alkalmas lehet. A legegyszerűbb módszer az alumínium közvetlenül a tölteni kívánt csőben történő habosítása, mivel nincs szükség további alakadó, megmunkáló eljárásokra. Az eljárás első lépése egy prekursor (előtermék anyag) létrehozása, amely tartalmazza a habosítani kívánt ötvözetet és a habképző anyagokat. A habképző anyagok egy bizonyos hőmérséklet felett, kémiai reakciók útján fogják elkezdni a gázképzést, ez által habosítva a prekuzort. A habosítási hőmérséklet kevéssel nagyobb, mint az alumínium olvadási hőmérséklete (660 °C), optimális értéke a prekuzortól függ (a 680-700 °C-ot már megfelelőnek mondhatjuk) [3]. Ez azt jelenti, hogy a csőnek vagy az előbb említett hőmérséklet feletti olvadásponttal kell rendelkeznie (pl.: acélcsövek), vagy biztosítani kell a cső hőmérsékletének olvadáspont alatti tartását a habosítási időtartam alatt. Alumínium csövek esetén az olvadáspont 660 °C, de az EN AW 6060 T66-os csövek 700°C-on 6 perces hőn tartási időt kibírnak deformáció és oxidáció nélkül [8]. Számunkra az alumínium csövek kiemelt fontosságúak, hiszen az autóipar használ vékonyfalú alumínium csöveket a súlycsökkentés miatt. Az eljárás során figyelembe kell venni a hő bevitelt, amely már egy hőkezelésnek felel meg. Az alumínium habosítási paramétereiből felírható a hőkezelés technológiája. A habosítás hőmérséklete adott, az ehhez szükséges időtartam felírható hőn tartási időnek, és az általunk választott hűtés típusa is megadható. Az így elkészített hőkezelési technológia segítségével következtethetünk a cső töltés utáni állapotára, mechanikai

tulajdonságainak változására. A cső egyik felét mindenképpen le kell zárni, ami további műveleteket eszközöl (kiváltható a cső állított helyzetű habosításával). A varrat nélküli csövek esetén nincs olyan tényező, amely a habképzés során befolyásolná a cső belső átmérőjének teljes mértékű kitöltését, ill. a cső teljes hosszán megvalósul a kitöltés, ezért nagyon jó minőségű kitöltést kapunk.

A következő módszer a sablonban történő habosítás. Annyiban hasonlít az előző eljárásra, hogy a prekuzort egy adott geometriára habosítjuk, ez által befolyásolhatjuk az alumínium habunk geometriáját. A sablon lehet zárt szelvény (téglalap, négyzet, stb. geometriájú) vagy éppen cső (az alumínium hab sablonból való eltávolítása miatt két hosszában metszett cső, félcső egymáshoz történő rögzítésével megoldott). A két félcső illeszkedési hézagját is elkezdi kitölteni az alumínium a habosodás közben, ezért a kapott alumínium hab sűrűsége nem lesz olyan mértékű, mint az előző eljárás során, és a geometriája sem lesz teljesen kör keresztmetszetű. Ennek az eljárásnak nagy előnye, hogy bonyolult geometriájú habok is előállíthatók [8].

3.2.2. Alumínium hab utólagos megmunkálásával

A betöltött habok egy 31x31 mm-es négyzet profilból lettek egy 24 mm-es átmérőjű kör keresztmetszetű rúddá leesztergálva.

Az általunk vizsgált betöltési módszerek az illesztéseken alapulnak: szilárd és laza illesztésen. A húzott csövek falvastagságának tűrése +/- 10%, a kísérletekhez 0,5 és 1 mm-es falvastagságú EN AW 6060-as, 25 mm-es külső átmérőjű csöveket használtunk, tehát a tűrések értéke 0,05 és 0,1 mm. A betöltött alumínium habok 4 mm-es cellamérettel rendelkeztek.

A szilárd illesztés esetén az alumínium hab rúd külső átmérője min. 0,05 mm-el, max. 0,2 mm-el nagyobb, mint a cső belső átmérője. A laza illesztés esetén az alumínium hab rudat 0,1-0,2 mm-el a cső belső átmérőjénél kisebbre esztergáltuk.

Szilárd illesztés esetén a betöltést préssel vagy zrugorkötéssel, míg laza illesztés esetén ragasztással végeztük.

1. Táblázat: Alumínium hab rudak betöltési módjai

	<i>Préselés</i>	<i>Zrugorkötés</i>	<i>Ragasztás</i>
<i>Illesztés típusa</i>	szilárd	szilárd	laza
<i>Módszer</i>	mechanikus/hidraulikus présgép	cső hevítése, hab hűtése	nagyszilárdságú ragasztó
<i>Össztömeg változása a betöltés után</i>	minimális tömegcsökkenés	nem változik	jelentős növekedés

A betöltések előtt minden esetben megmértük a cső és a hab rúd tömegét is, majd a betöltés elvégzése után megmértük az össztömeget. A töltés utáni tömegekből következtethetünk a töltés során bekövetkezett tömegváltozásokra, és előzetes képet kaphatunk, hogy melyik töltési eljárás a legkedvezőbb súlycsökkentési szempontból.

A zrugorkötés során az alumínium csövet felmelegítettük, az alumínium hab rudat lehűtöttük. Az alumínium cső hevítése során a cső átmérője és hossza is lineárisan növekszik. A hosszváltozással jelen esetben nem foglalkozunk, az átmérő változása a számunkra lényeges tényező. A lineáris hőtágulás képletéből kifejezve meg tudjuk határozni a szükséges hevítési hőmérsékletet. A hab rudakat -30 °C-ra hűtöttük le. A kötés során a tágult cső rázsugorodik a habra, ez által a hab képlékeny alakváltozást nem szenved. A hab belülről nekifeszül a cső falának, ezzel egy kis belső feszültséget hozva létre. Azonban számolni kell azzal a következménnyel, hogy az alkalmazott hőmérséklet hatására a cső kilágyulhat.

A préselés során a hab képlékeny alakváltozást szenved betöltés közben. Az előző módszertől annyiban tér el, hogy a hab benyomásához szükséges erő fokozatosan növekszik, mivel minél nagyobb része van benne a csőben, annál nagyobb lesz a súrlódás. Az alumínium hab rúd préseléséhez kulcsfontosságú a megfelelő központosítás, a rúd és a cső tengelye essen egybe egymással.

A ragasztás lényege, hogy a ragasztóanyag létesíti a kapcsolatot két különálló anyag között. A ragasztóanyag adhéziós kapcsolatot létesít a ragasztott anyagok között, míg a ragasztóanyag

belsejében kohéziós kapcsolat van. A kötés tulajdonságai, létrejötte függ az adhéziótól, azaz a ragasztó munkadarabhoz tapadásától, valamint a ragasztó szilárdságától, kohéziótól. A ragasztó a munkadarabhoz való tapadása függ a felületek nedvesítésétől, ugyanis nedvesítés nélkül nem jöhet létre kapcsolat a felület és a ragasztóanyag között. A ragasztóanyagnak ki kell töltenie a felületek közötti egyenetlenségeket. A ragasztáshoz kétkomponensű szerkezeti ragasztót használtunk. A ragasztás kétféleképpen történhet: a cső falát bekenve és a habot ragasztó nélkül betolva, vagy a hab felületére ragasztót juttatva és a csőbe betolva. A műveletet a ragasztó fazékideje alatt kell végrehajtani.

Az előállításához szükséges időtartamot alapul véve a zslugorkötésnek az időtartama a hevítésből, hűtésből és a hön tartásból áll össze, a ragasztásnál meg kell várni a ragasztóanyag térhálósodását, míg a préselésnél csak a hab benyomását kell elvégezni.

A betöltési módok összehasonlítása különböző kritériumok szerint:

- A betöltendő rudak méretpontosságát figyelembe véve a ragasztás és a préselés nem igényel túl nagy méretpontosságot, zslugorkötés esetén egy szűkebb mérethatáron belül kell maradni.
- A betöltés nehézsége szerint a ragasztást lehet a legkönnyebben elvégezni, a préselésnél figyelni kell a központosításra, zslugorkötésnél pedig a hőmérsékletekre és a hab rúd betöltésének gyors elvégzésére.
- A betöltéshez szükséges időtartam tekintetében a préselés a leggyorsabb eljárás, mert zslugorkötésnél a kemencék felfűtését és a hön tartást is meg kell várni, ragasztás esetén pedig a használt ragasztóanyag kötési idejét meg kell várni (szobahőmérsékleten több óra, a hőmérséklet növelésével lehet csökkenteni).

Összességében a préselés a leggyorsabban elvégezhető betöltési eljárás, a legkönnyebben megvalósítható töltési eljárás pedig a ragasztás.




Eredmények

A vékonyfalú alumínium csövek betöltése sikeresen megtörtént, az eljárásokat figyelembe véve a legkisebb tömegnövekedést a ragasztás adta, míg a legnagyobbat a préselés.

A zslugorkötés esetén csak a betöltött hab tömege adódik hozzá a cső tömegéhez. Mivel nem éri erőhatás sem a csövet, sem a habot a betöltés során, a tömegük nem változik. A préseléses betöltéshez nagyobb átmérőjű hab rudak szükségesek, ezért az így előállított töltött csövek tömege is nagyobb lesz, mint a zslugorkötésé. Az erőhatás miatt a hab egy kicsit zömöl, minek hatására a nyomott felületen a szélső szemcsék kitöredeznek.

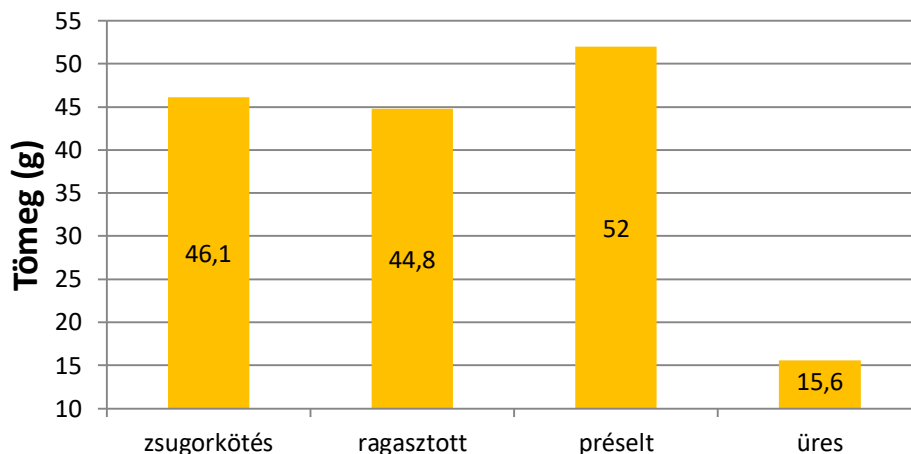
Ragasztás esetén a hab rúd tömege mellett még a ragasztóanyag tömege is hozzáadódik az össztömeghez. Azonban a három töltési mód közül a ragasztásnál van szükség a legkisebb átmérőjű, ez által a legkisebb tömegű alumínium hab rúdra. A ragasztóanyag plusz tömegének ellenére is ez a töltési mód eredményezi a legkisebb tömegű erősített csöveket. A ragasztás technikáját és a felhasznált ragasztóanyag tömegét lehet optimalizálni, a kapott eredményeken lehet javítani.

2. Táblázat: Töltött csövek keresztmetszeti képe

Zslugorkötéssel betöltött cső keresztmetszeti képe	Préseléssel betöltött cső keresztmetszeti képe	Ragasztással betöltött cső keresztmetszeti képe
		

A fenti táblázatban látható képeken sárga vonal jelzi a csövek belső átmérőjét. Látható, ahogyan a préselés hatására a felső részen kitöredezett szemcsék miatt a nyomott felületnél nem teljes a kitöltés (a kitöredezett szakasz határát fehér vonal jelöli).

Csövek tömege



1.Ábra: Töltött csövek tömegei töltési mód szerint

Az 1. ábra a 150 mm hosszú, 0,5 mm falvastagságú és 24 mm belső átmérőjű csövek töltés előtti és töltés utáni tömegeit mutatja be. A ragasztott csövek tömege a felhasznált ragasztóanyag függvényében változhat, az ábrázolt tömeget tekinthetjük ideálishoz közeli töltésnek.

Következtetések

A vékonyfalú alumínium csövek alumínium habbal történő merevítésével változtattunk az elem inercianyomatékán, amelynek hatása sejtéseink szerint 2,5-3-szoros növekedés is elérhető a maximális terhelő erő nagyságában hajlító igénybevétel esetén. Ez azt jelenti, hogy az autók ajtajában lévő ajtóvédő gerenda alumínium habbal történő feltöltése után 2,5-3-szoros védelmet tud nyújtani az utasok számára oldal irányú ütközés esetén.

Továbbá a belső feszültségek és az alumínium hab eleve nagy energia elnyelő képességének hatására a töltött csövek nyomó igénybevétel esetén sokkal kisebb mértékű deformációt szenvednek el, mint az eredeti, belső merevítés nélküli csövek. Megfordítva a dolgot, sokkal nagyobb erőt kell kifejteni rájuk ahhoz, hogy ugyan akkora deformációt érzünk el, mint az üres csövek esetében. Amennyiben a deformáció mértéke megegyező, de ehhez a töltött csövek esetében sokkal nagyobb terhelő erő volt szükséges, következtethetünk, hogy a töltött csövek sokkal nagyobb mennyiségű energiát nyeltek el. A gyűrődési zónákban elhelyezett törésdobozok felépítésükben is vékonyfalú zárt szelvények vagy csövek, amelyek elsődleges feladata a kis sebességű ütközések során az egyik gépjármű által a másiknak átadott energia minél nagyobb részének elnyelése, ez által a karosszériában keletkező károk minimalizálása. Az energiát deformáció révén nyelik el, ezért következtethetünk arra, hogy a töltött csövek nagyobb mennyiségű energiát képesek elnyelni ugyan akkora deformációval egy ütközés során. Ezek lehetővé teheti a kisebb méretű, töltött darabokból álló törésdobozok használatát, ez által tömeget spórolhatunk meg.

Az előbb említett tulajdonságot aknázhatjuk ki az energiaelnyelő lökhárító tartók kialakításakor is. Míg a törésdobozok esetén a karosszéria védelme volt kis sebességű ütközések esetén, a lökhárító tartók fontosabb elemei a gyűrődési, deformációs zónáknak, mert rajtuk ezek közvetítik át az energiát a lökhárítóról a karosszéria többi részére. A karosszéria ezen részén is számításba lehet venni a habosított alumíniummal merevített szelvényeket.

A vizsgált betöltési módok eredményesek voltak, további céljaink a technológiák optimalizálása, új módszerek tesztelése, a felhasználási terület bővítése.

Hivatkozások

- [1] "Lightweighting Is Top Priority for Automotive Industry.", Austin Weber [Online]. Available: <https://www.assemblymag.com/articles/94341-lightweighting-is-top-priority-for-automotive-industry> [Megtekintés: 2018.08.14.]
- [2] Kiran Kumar Dama, V Suresh Babua, R N Raoa, IsmailJani Shaik: State of the Art on Basic Methodologies for Crashworthy Design of Automotive Body Components Considering Bending Collapse Mode, Materials Today: Proceedings 4 (2017) 9930–9936
- [3] „Ultra-lightweight Aluminum Foam Materials for Automotive Applications.”, T. Dennis Claar, Chin-Jye Vu, Ian Hall, John Banhart , Joachim Baumeister, Wolfgang Seeliger [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/216046031_UltraLightweight_Aluminum_Foam_Materials_for_Automotive_Applications. [Megtekintés: 2018.08.4.]
- [4] "Automobile", Orville C. Cromer, Christopher G. Foster, Ken W. Purdy, George C. Cromer [Online] Available: <https://www.britannica.com/technology/automobile> [Megtekintés: 2018.08.01.]
- [5] „How Crumple Zones Work”, Ed Grabianowski [Online] Available: <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/crumple-zone.htm>. [Megtekintés: 2018.08.04.]
- [6] Antonio Fuganti, Lorenzo Lorenzi, Arve Gr-nsund Hanssen, Magnus Langseth: Aluminium foam for automotive applications, Advanced Engineering Materials 2(4):200 - 204· April 2000
- [7] Amit Chege , Kshitij , Abhishek Kale , Mohammad Rafiq B. Agrewale , Dr. K.C.Vora: Design and development of impact energy absorbing bumper, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 3, March-2017 (326-330)
- [8] Isabel Duarte, Matej Vesenjok, Lovre Krstulovic, Opara, Ivan Anz, Jose M.F. Ferreira: Manufacturing and bending behaviour of in situ foam-filled aluminium alloy tubes, Materials and Design 66 (2015) 532–544

https://easychair.org/conferences/review_add_sub_yes.cgi

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával valósult meg.