



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2
BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA
DOKTORI TÉZISFÜZETEI

ÍRTA:

GRÓB PÉTER
OKLEVELES GÉPÉSZMÉRNÖK

A GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK HATÁSA
POLIURETÁN INTEGRÁLHAB TERMÉKEK TULAJDONSÁGaira

című témakörből,
amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Konzulens: Dr. Marosfalvi János

Budapest
2008

A kutatások előzménye

A harmadik évezredben a polimerek felhasználása egyre szélesebb körűvé válik. Ezt igazolja az a tény, hogy a világ műanyag-felhasználása 2006-ban közel 245 Mt volt, és ebből a poliuretánok (PUR) 11,7 Mt-t képviseltek [VENACKER, 2007], ami a teljes termelés közel 5%-a. Ezzel a tömegműanyagok – polietilén, polipropilén, poli(vinil-klorid), polisztriol, poli(etilén-tereftalát) – mögött a hatodik leggyakrabban alkalmazott műanyag. A poliuretánok a polimerek egyik legváltozatosabb családját alkotják: székek, ülögarnitúrák, fekhelyeink betétje lágy poliuretánhab; háztartási gépeink szigetelése kemény poliuretánhab; autóink sok belső és külső eleme, a cipőtalpuk integrálhabból készülnek. Nagyrugalmasságú ruháink poliuretán elasztomer selymet tartalmaznak. A poliuretán elasztomerek, lakkok, ragasztók mind fontos mérnöki anyagok. A poliuretánok felhasználásának közel 80%-a különféle hab. A haboknak megközelítőleg a fele ún. formahab, amikor is a termék egy formaadó szerszámban kapja meg a végleges alakját.

A reaktív fröccsöntés (Reaktion Injection Moulding - RIM) a habosított termékek előállítására alkalmas módszerek közül a legsokoldalúbb és legdinamikusabban fejlődő technológia annak ellenére, hogy a poliuretánhabosítás mind a mai napig legtöbbször döntően tapasztalatokon alapuló, empirikus technológia. Kevés információnk van a termékek valós habosodási folyamatáról, a keletkező reakciónyomásról és a reakcióhőről valamint azok eloszlásáról, ezért a habosítószerszámok tervezése, különféle szempontok szerinti optimalítása – alakváltozásra, nyomásbírásra, költségre stb. – elsősorban tapasztalatokon, becsléseken nyugszik. Ugyanez vonatkozik a terméktulajdonságok – pl. felületi keménység, zsugorodás, modulusok – és a különféle technológiai paraméterek kapcsolatára is.

A termék zsugorodási paraméterei kulcsfontosságúak szerszámtervezéskor, továbbá a műszaki haladás és a hétköznapi élet azt kívánják, hogy a habosítással kialakított termékek méretpontossága egyre jobb legyen, és a termék tulajdonságait az idő előrehaladtával is képes legyen megtartani. A termék felületi keménysége jellemző mechanikai, a sűrűsége – mind az átlagsűrűség, mind a sűrűségeloszlás – pedig a gyártmány jellemző fizikai tulajdonsága, amelyek értéke meghatározó a termék funkciója szempontjából.

A habosított termékek megbízható gyártásának elengedhetetlen feltétele a feldolgozástechnológia és a termék fizikai-mechanikai tulajdonságai közötti kapcsolatok pontosabb ismerete. Mindez azért is fontos, mert napjainkban a polimerek feldolgozási technológiái dinamikusan fejlődnek, folyamatos fejlesztéssel egyre jobb és gazdaságosabb műszaki megoldások születnek. A reaktív feldolgozási technológiák e téren lemaradásban vannak társaiktól. Ennek legfőbb oka a reaktív fröccsöntésnek a hagyományos műanyag-

feldolgozástól való jelentékeny eltérése. Ezért különösen fontos, hogy minél pontosabban megismerjük a folyamatot, minél több információt gyűjtsünk össze.

A poliuretánhab termékek – hasonlóan a többi polimer termékhez – időfüggő tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezek az időfüggő tulajdonságok főként a poliuretánok előállítási módjából következnek: a teljes térhálósodás több időt vesz igénybe, mint amennyit a termék a szerszámban tartózkodik, így több fontos tulajdonsága, mint például a termék felületi keménysége és a mérete, csak bizonyos idő elteltével tekinthető állandónak. Munkámban fontosnak tartottam ennek vizsgálatát is, különösen azért, mert ezeknek a tulajdonságoknak a mérési időpontjára a szabvány nem ad egyértelmű irányutatást.

Célom a habosodási folyamat mérnöki szemléletű pontosabb megismerése, a folyamatot befolyásoló gyártástechnológiai paraméterek (hatótényezők) közül a legfontosabbak kiválasztása és számszerűsítése, a technológiai paraméterek és a termék-tulajdonságok közötti kapcsolat összefüggéseinek feltárása.

Az irodalom kritikai elemzése

A szakirodalom áttekintése alapján kijelenthető, hogy bár sokan foglalkoztak a poliuretánok vizsgálatával, számos kérdés feltáratlan maradt, főként a technológia területén. A kutatások legfőbb iránya a kémiai kutatások, illetve a szimulációk területe. Ennek fő oka, hogy a kutatók szeretnék jobban megismerni a habosodási folyamat fizikai kémiáját, illetve folyamatosan újabb és újabb tulajdonságú poliuretánok előállításán fáradoznak. A szimulációk pedig azért fontosak, mert bár több kiváló szimulációs szoftver van a piacon (pl. Moldflow), ezek sajnos nem modellezik megfelelően a habosodási folyamatot, pedig egy jó szimuláció nagy segítség lenne mind a szerszám-, mind a terméktervezésben.

Kevés publikáció foglalkozik az ipari méretű habosítás technológiai paramétereivel, illetve a termék tulajdonságai és a technológiai paraméterek kapcsolatával [pl. LO(1-2), 1994; MOHAMMED, 1994; ABDUL-RANI, 2005] Ennek legfőbb oka valószínűleg az, hogy a habosítási technológia mind a mai napig nagyrészt tapasztalatokon alapul, és ezeket az empirikus összefüggéseket, tapasztalatokat nem szívesen osztják meg a poliuretán termékeket előállító cégek a nyilvánossággal.

Mindemellett fontos megjegyezni, hogy a publikációkban közölt eredmények nagyrészt laboratóriumi vizsgálatokon alapulnak, és ez egy kémiai reakció esetén csak igen szigorú szabályokkal és feltételekkel érvényes ipari körülmények között. Továbbá az irodalomban közölt eredmények, mivel csak néhány technológiai paraméter hatását vették figyelembe, rendkívül leegyszerűsített képét adják a valós folyamatnak. A laboratóriumi

körülmények között lejátszódó reakciók számára ideális körülményt biztosítottak, így nagyrészt kiküszöbölték a környezeti hatások és az egyes paraméterek kölcsönhatásait. Az elkészített formatesteket megfelelően kondicionált helyiségekben tárolták, amely szintén nem jellemző ipari körülmény.

Éppen ezért tartottam fontosnak, hogy a méréseim ipari körülmények között, ipari berendezésen, ipari méretű szerszámon hajtsam végre, és olyan területeket vizsgáljak, amelyek eddig feltáratlanok voltak.

Ilyen terület például a habosítószerszámban kialakuló nyomás maximuma, a nyomás eloszlása és időbeli lefutása. Jóllehet többen is foglalkoztak korábban nyomásméréssel [pl. CLARKE, 1985; YOKONO, 1985; VESPOLI, 1986; KODAMA, 1997; KIM, 1998], de ezeknek a méréseknek a célja a különféle viszkozitás-, illetve sűrűségfüggvények validálása volt, így a szerszámban csak egy helyen mérték a nyomást. Nem ismert továbbá a kialakuló nyomás nagysága és a gyártástechnológiai paraméterek kapcsolata sem. Ugyanez a megállapítás igaz a terméktulajdonságokra is: a felületi keménység, zsugorodások és az átlagsűrűség viszonya a technológiai hatótényezőkhez nem egyértelmű.

A poliuretánhabok gyártástechnológiájából következően a termékek felületi keménysége és végső mérete csak bizonyos idő elteltével éri el végleges értékét. Az irodalomban nem találtam ezzel kapcsolatban információt, továbbá a vonatkozó és hatályos szabványok sem adnak egyértelmű útmutatást a termékek ezen tulajdonságai mérésének időpontjára. Eszerint: ha a termékek minősítése e szabványok alapján történik, akkor azok nem szolgáltatnak megfelelő eredményt.

Az irodalom alapján az is megállapítható, hogy a kísérlettervezést – ide értve a Taguchi-módszert is – kiterjedten használják a műszaki tudomány számos területén [pl. CHEN, 1997; SYRCOS, 2003; SRIVASTAVA, 2008]. A módszer alkalmas a folyamatra ható tényezők közül a szignifikánsak idő- és költséghatékony módon való kiválasztására.

Célkitűzések

Az előzőek alapján doktori értekezésemben a következő technológiai kutatási-fejlesztési célokat tűztem ki magam elé: minőségi és mennyiségi összefüggések feltárása félkemény poliuretán integrálhab termékek gyártástechnológiai paramétereit és fizikai-mechanikai tulajdonságai között annak érdekében, hogy valós adatokat szolgáltatassak a folyamat-, a szerszám- és a terméktervezés optimalizálására.

Ennek elérésére a következő feladatokat kívánom elvégezni:

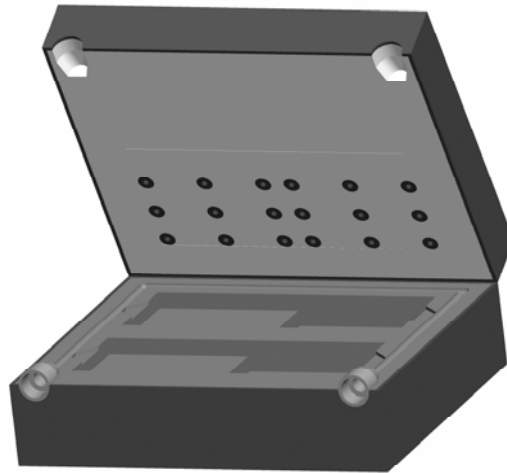
- A poliuretán habosodási folyamatára ható gyártástechnológiai paraméterek – hatótényezők – feltárása.
- A gyártástechnológiai paraméterek hatásának minőségi jellemzése, amely alapján a célmennyiségekre sorrend állítható fel.
- A lényeges hatótényezők és a célmennyiségek közötti kapcsolatok mennyiségi feltárása.
- A poliuretántermékek felületi keménység és a térfogati zsugorodás időfüggésének vizsgálata.
- A nyomáseloszlás vizsgálata a habosítószerszámban.

A vizsgált célmennyiségek:

- A szerszámüregben a reakció során keletkező **nyomás** fontos a szerszámtervezés és méretezés szempontjából. A habosítószerszámok szilárdsági és alakváltozási méretezése erre a nyomásértékre történik.
- A termék **felületi keménysége** a poliuretánhab termékek jellemző tulajdonsága. Vizsgálata azért fontos, mert legtöbbször előírás a gyártmány felületi keménységének értéke.
- A **zsugorodás** vizsgálata mind a termék-, mind a szerszámtervezés szempontjából kulcsfontosságú. Fontos információ, hogy egy adott végső termék mérethez mennyivel kell megnövelni a szerszám formaüregét, hogy végül a kívánt méretű terméket kapjuk.

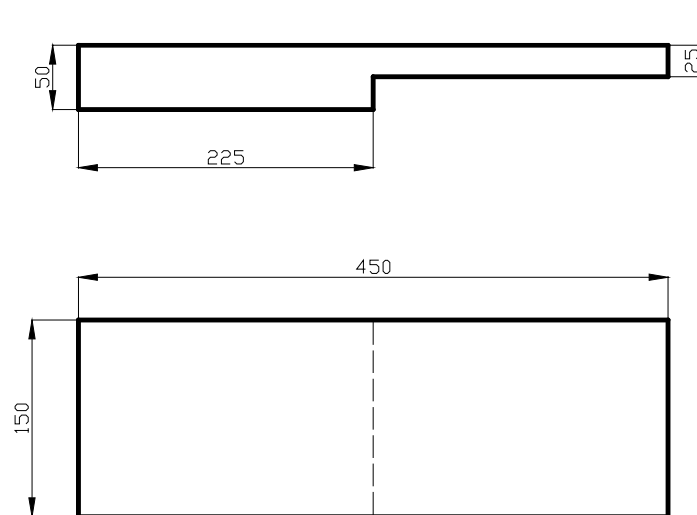
Vizsgálati módszerek

Fontosnak tartottam, hogy vizsgálataim eredménye az ipar számára is értékes és hasznosítható legyen, ezért a méréseket ipari körülmények között kívántam végrehajtani. Ennek első lépése egy kísérleti szerszám megtervezése és elkészítése volt. A szerszám tervezésekor figyelembe vettem a mérendő célmennyiségeket és a habosítószerszámokkal szemben támasztott követelményeket. Ennek következtében a szerszámban több helyen alakítottam ki nyomásmérő szenzor beépítésére alkalmas mérőhelyeket. A szerszám felső részében a pontok a mérőhelyeket jelzik. A mérőhelyekre a KISTLER cég 4079A típusú piezorezisztív elven működő, RIM technológiára kifejlesztett hő- és nyomásérzékelő szenzorja került. A kétfélszkes kísérleti szerszám alsó és felső szerszámfelének 3D-s képe az *1. ábrán* látható.



1. ábra. A kísérleti szerszám 3D-s képe

A formatest kialakításánál (2.ábra) az egyszerűbb alak mellett döntöttem, és figyelembe vettem, hogy később mód legyen betétezéssel különféle alakú formatestek gyártására is. A méretek meghatározásakor az iparban gyártott termékek nagyságrendjét vettem alapul.



2. ábra. A formatest alakja és méretei

Az összefüggések feltárására felhasználtam a kísérlettervezés matematikai statisztikai módszereit, elsősorban a Taguchi-módszert, a variancia- illetve a regresszióanalízist. A Taguchi-módszerrel sikerült a végrehajtandó mérések számát jelentősen csökkenteni, ezáltal a méréseket idő- és költséghatékonyan végrehajtani. A módszer alkalmazásához elengedhetetlenek voltak előzetes vizsgálatok: első lépésként az irodalomban fellelt információk, a habrendszer gyártójával, valamint a habosítást végző céggel folytatott megbeszélések után összeállítottam azoknak a hatótényezőknek a listáját, amelyek befolyással lehetnek a habosodás folyamatára és a habosított termékek tulajdonságaira; majd

reprodukálhatósági vizsgálatot végeztem, amellyel kimutattam, hogy egy adott mérési beállításnál egyetlen formatest elkészítésével is kielégítő információk nyerhetők. A varianciaanalízist az adatok szakszerű feldolgozására, a kölcsönhatások feltárására használtam, a regresszióanalízissel pedig a mennyiségi összefüggéseket tártam fel.

A számos gyártástechnológiai hatótényező közül a szerszámüregben ébredő nyomás és néhány termékjellemző – felületi keménység, lineáris- és térfogati zsugorodás – szempontjából a lényeges hatótényezők kiválasztására egy ún. elsődleges mérési tervet készítettem. Ennek lényege, hogy a kiválasztott, szabályozható gyártási paramétereket két szinten kombináltam – egy 2^{5-1} -es terv keretében, amely mérési terv 32 mérést tartalmaz, és a faktorok közötti esetleges kölcsönhatást is vizsgálja. Eredménye a hatótényezők minőségi kiválasztása. A másodlagos mérési terv során – ahol a három legjelentősebb hatótényezőt vizsgáltam négy szinten, a mérési terv 16 mérést tartalmaz – célom mennyiségi összefüggések leírása volt a lényeges hatótényezők és a nyomás, valamint a felületi keménység között. A kapott eredményekre regressziós összefüggéseket írtam fel.

Új tudományos eredmények

1. Tézis – Nyomáseloszlás a szerszámban [1,6]

A kísérleti szerszámban végzett mérésekkel bizonyítottam, hogy a gyártószerszám formaüregében kialakuló nyomáseloszlás félkemény poliuretán integrálhab esetén – az Elastofam I 4703/100/schw típusú hab példáján mérve – egyenletes, azt nem befolyásolja a formaüreg geometriai kialakítása.

2. Tézis – A nyomás becslése [1,6]

Kimutattam, hogy az iparban a formaüregben kialakuló nyomás számítására használt empirikus nyomás-átlagsűrűség formula – félkemény poliuretán integrálhabok esetén, az Elastofam I 4703/100/schw típusú hab példáján mérve – a valós nyomásértékekhez képest nagyobb értéket ad, így az erre a nyomásra tervezett szerszámok teherbírásra túlméretezettek. Bebizonyítottam, hogy pontosabb és költséghatékonyabb méretezést érhetünk el az átlagsűrűség és a nyomás közötti kapcsolatot leíró $p = 0,004\rho - 0,373$ egyenlet használatával.

3. Tézis – Terméktulajdonságok időfüggő vizsgálata [2,6]

A félkemény poliuretán integrálhab termékek – az Elastofoam I 4703/100/schw típusú habot vizsgálva – két jellemző tulajdonsága – a felületi keménység és a zsugorodás – időfüggő. A vizsgált habanyagra megállapítható, hogy a felületi keménység értéke a gyártástól számított 39 óra elteltével állandónak tekinthető, a továbbiakban az értékében számottevő változás nem várható. A felületi keménység időfüggése a

$Felületi\ keménység = 80,9 - 24,1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{0,2}\right)} - 28,8 \cdot e^{\left(\frac{-t}{8,5}\right)}$ egyenlettel írható le. A térfogati zsugorodás esetén a termék a gyártás után 148 órával éri el a végső méretét. Ez után a gyártmány méreteiben számottevő változás nem várható. A térfogati zsugorodás időbeli változása a $Térfogati\ zsugorodás = 0,046 - 0,024 \cdot e^{\left(\frac{-t}{5,399}\right)} - 0,022 \cdot e^{\left(\frac{-t}{49,231}\right)}$ egyenlettel írható le.

4. Tézis – A lényeges gyártástechnológiai paraméterek kiválasztása [3, 4, 6]

Megállapítottam, hogy félkemény poliuretán integrálhabok esetén a szerszám formaüregében kialakuló nyomás és a felületi keménység szempontjából a gyártástechnológiai paraméterek közül a belövési idő (BI), a belövési tömegáram (BT) és a térfogat (TF) a meghatározó. Továbbá kimutattam, hogy sem a lineáris-, sem a térfogati zsugorodás esetén nincsenek olyan hatótényezők, amelyek szignifikánsan befolyásolnák azok értékét.

5. Tézis – A nyomás és a felületi keménység mennyiségi leírása [5,6]

A nyomás becslésére – az Elastofoam I 4703/100/schw típusú hab példáján – mennyiségi összefüggéseket határoztam meg. Bizonyítottam, hogy a formaüregben kialakuló nyomás értéke meghatározható a belövési időből a $p = 0,33(BI) - 0,37$ egyenlettel, vagy a belövési tömegáramból $p = 0,01(BT) - 0,30$, illetve a termék térfogatából $p = 0,42(TF) + 2,31$. Kimutattam, hogy félkemény poliuretán integrálhab termékek felületi keménysége becsülhető a belövési időből $ShA = 11,39 + 21,00(BI) - 1,43(BI)^2$, a belövési tömegáramból $ShA = 19,82 + 0,53(BT) - 0,001(BT)^2$ illetve a termék térfogatából $ShA = 91,54 + 3,60(TF) - 3,78(TF)^2$.

6. Tézis – Az átlagsűrűség és a célmennyiségek kapcsolata [6]

Mennyiségi kapcsolatokat tártam fel a célfüggvények – a félkemény poliuretán integrálhab termékek felületi keménysége és lineáris- és térfogati zsugorodása – valamint az átlagsűrűség,

mint a poliuretán hab termékek fontos anyagi jellemzője között. Adott átlagsűrűség esetén a felületi keménység értéke a következő egyenlettel becsülhető: $ShA = 89,99 - 178,06 \cdot e^{\left(\frac{-\rho}{116,52}\right)}$. Adott átlagsűrűség esetén a térfogati zsugorodás értéke a $Térfogati\ zsugorodás = 0,113 - (1,4 \cdot 10^{-4})\rho - (8,1 \cdot 10^{-8})\rho^2$, a lineáris zsugorodás pedig a $Lineáris\ zsugorodás = 2,606 - 0,003\rho - (7,360 \cdot 10^{-6})\rho^2$ egyenlettel becsülhető.

Az eredmények hasznosítása

Az eredmények hasznosak lehetnek a poliuretánterméket gyártók és fejlesztők részére. A szerszámban ébredő legnagyobb nyomásra levezetett összefüggésekkel jól becsülhető a habosodáskor keletkező nyomás nagysága, ezáltal a szerszám teherbírásra való tervezése és optimalása megbízhatóbb alapokon végezhető. Ugyanez mondható el a zsugorodásról is: értéke az átlagsűrűségből számolható, így a szerszámtervezés során megfelelő méretű formaüreg alakítható ki, illetve a kívánt zsugorodás-érték eléréséhez az optimális beállítási paraméterek kiválaszthatók. Továbbá terméktervezés során is figyelembe lehet venni, hogy a termék a legyártás után mennyit fog zsugorodni.

Poliuretántermékek esetén a felületi keménység értéke kulcsfontosságú. Ha ismert az elérni kívánt keménység, akkor egyrészt az ahhoz tartozó sűrűség, másrészt az optimális gyártási körülmények is kiszámíthatók.

Az időfüggő tulajdonságok pedig a minőségellenőrök részére a termékek végellenőrzésének időpontjáról adnak felvilágosítást, illetve az egyenletekkel – egy adott időpontban mérve – a termék tulajdonságainak várható értéke becsülhető.

Irodalmi hivatkozások listája

- [VENACKER, 2007] VENACKER P.: *Polyurethane (PU)*, Kunststoffe International, 97, 142-148 (2007)
- [LO(1), 1994] LO Y., REIBLE D.D., COLLIER J.R., CHEN C.: *Three-dimensional modeling of reaction injection molding. I.*, Polymer Engineering and Science, 34, 1393-1400 (1994)
- [LO(2), 1994] LO Y., REIBLE D.D., COLLIER J.R., CHEN C.: *Three-dimensional modeling of reaction injection molding. II.: Application*, Polymer Engineering and Science, 34, 1401-1405 (1994)
- [MOHAMMED, 1994] MOHAMMED R.K., OSSWALD T.A, SPIEGELHOFF T. J., SUN E.M.: *Modeling and simulation of high Reynolds' number flows during reaction injection*

- mold filling*, International Polymer Processing, 9, 279-285 (1994)
- [ABDUL-RANI, 2005] ABDUL-RANI A.M., HOPKINSON N., DICKENS P.M.: *Effect of mold temperature on high-resilience cold-cure flexible polyurethane foam surface texture*, Journal of Cellular Plastics, 41, 133-151 (2005)
- [Clarke, 1985] CLARKE W.D.: *Foam pressure monitoring as a method of studying demold characteristics of appliance polyurethane insulation foam systems*, Journal of Cellular Plastics, 21, 257-260 (1985)
- [Vespoli, 1986] VESPOLI N.P., ALBERTINO L.M., PETERSON A.A., EWEN J.H.: *Mold filling studies of polyurea RIM systems*, Journal of Elastomers and Plastics, 18, 159-176 (1986)
- [Yokono, 1985] YOKONO H., TSUZUKU S., HIRA Y., GOTOH M., MIYANO Y.: *Simulation of foaming process of polyurethane integral skin foams*, Polymer Engineering and Science, 25, 959-964 (1985)
- [KIM, 1998] KIM D.S., GARCIA M.A., MACOSKO C.W.: *Using mold pressure rise data to obtain viscosity of fast polymerizing systems*, International Polymer Processing, 13, 162-171 (1998)
- [KODAMA, 1997] KODAMA K., RYOSHI H., OKAMURA M., FUJITA S., FUJITA J.: *New determination method of flowability and demolding properties in polyurethane rigid molded foams*, Journal of Cellular Plastics, 33, 318-329 (1997)
- [CHEN, 1997] CHEN R.S., LEE H.H., YU C.Y.: *Application of Taguchi's method on the optimal process design of fan injection molded PC/PBT automobile bumper*, Composite Structures, 39, 209-214 (1997)
- [SYRCOS, 2003] SYRCOS G.P.: *Die casting process optimization using Taguchi methods*, Journal of Materials Processing Technology, 135, 68-74 (2003)
- [SRIVASTAVA, 2008] SRIVASTAVA V.C., MALL I.D., MISHRA I.M.: *Optimization of parameters for adsorption of metal ions onto rice husk ash using Taguchi's experimental design methodology*, Chemical Engineering Journal, 140, 136-144 (2008)

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] **GRÓB P.,** MAROSFALVI J.: *Investigation of the pressure generated in the mould cavity during polyurethane integral skin foam moulding*, eXPRESS Polymer Letters, 2, 511-519 (2008)
- [2] **GRÓB P.,** MAROSFALVI J.: *Integrál poliuretán hab termékek időfüggő tulajdonságainak vizsgálata*, Műszaki Szemle, OGÉT különszám, 151-154 (2008)
- [3] **GRÓB P.:** *A Taguchi-módszer alkalmazása poliuretán integrálhabok vizsgálata során. I. rész. A felületi keménység*, Tudomány Hete 2008 konferencia, Dunaújváros (2008) (megjelenés alatt)
- [4] **GRÓB P.:** *A Taguchi-módszer alkalmazása poliuretán integrálhabok vizsgálata során. II. rész. A zsugorodás*, Tudomány Hete 2008 konferencia, Dunaújváros (2008) (megjelenés alatt)
- [5] MAROSFALVI J., **GRÓB P.:** *The effects of technological parameters on the hardness and shrinkage of PUR integral skin foams*, Gépészet 2008 konferencia, Budapest, p8 (2008)
- [6] **GRÓB P.:** *The effects of technological parameters on the properties of PUR integral skin foams*, Periodica Polytechnica Mechanical Engineering (megjelenés alatt)

További tudományos közlemények

- [7] MAROSFALVI J., MOLNÁR L., **GRÓB P.:** *Analysis of the deformation state at polyurethane integral skin foam moulds*, 6th Multidisciplinary Conference, Baia Mare (RO), 461-466 (2005)
- [8] MAROSFALVI J., MOLNÁR L., **GRÓB P.:** *Integrál PUR habosító szerszámok alakváltozási állapotának elemzése*, GTE Mechanoplast 2005 konferencia, Gyula, p1 (2005)
- [9] MAROSFALVI J., **GRÓB P.:** *Rapid tooling technologies for RIM moulds*, 7th Multidisciplinary Conference, Baia Mare (RO), 467-472 (2007)
- [10] **GRÓB P.,** MAROSFALVI J.: *Mérőrendszer integrál PUR habosítás vizsgálatához*, GTE Mechanoplast 2007 konferencia, Gyula, p1 (2007)
- [11] **GRÓB P.:** *Poliuretán elasztomerek az elektrotechnikában*, Elektrotechnika-mikrotechnika, (megjelenés alatt)