

## A sokoldalú részecskehabok

A részecskehabok többet tudnak annál, minthogy csak csomagolóanyagként vagy hőszigetelőként alkalmazzák őket. Alapanyagaik nagyobb választéka és a feldolgozási technológiák társítása révén újabb alkalmazási területek nyílhatnak meg előttük. A részecskehabok társítása a fröccsöntéssel különösen ígéretes eljárás, amellyel rendkívül könnyű, mégis szilárd és tartós termékeket lehet előállítani. Legnagyobb hátrányuk, a durva felület ugyancsak esztétikussá tehető.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; műanyaghabok; részecskehabok; fröccsöntés; technológiatársítás; felületkikészítés.*

A polisztirol részecskehabot (EPS) mindenki ismeri csomagolóanyag, hőszigetelő táblák vagy lépésajtó tompító padlóelemek formájában. Kevésbé ismertek a műszaki eszközökbe beépített részecskehabok, mert azokat nem kifogástalan felületi minőségük miatt többnyire elrejtik.

A gépkocsikban az ilyen habok a nem túl nagy sebességgel felpattanó kövek energiáját nyelik el, ezzel megvédik a kocsik lakkozását, és a visszapattanó kövek a gyalogosoknak sem okoznak sérülést. A gépkocsi tartozékait (kocsiemelő, levehető vonóhorog) formázott részecskehabban tárolják a csomagtartóban. A napellenző és a kesztyűtartó is gyakran ilyen habból készül.

A pizzafutár polipropilén részecskehabból (EPP) készített dobozban hozza az ételt, hogy a megrendelő melegen kapja meg, és ilyen dobozokban szállítják az transplantálásra kerülő szerveket is. Ilyen habok védik a kerékpárosok vagy síelők sisakjában a sportolókat az ütéstől. Készülékházakban is pótolhatatlanok, különösen a szellőztető és kábelcsatornáknál, mert bármilyen háromdimenziós forma könnyen kialakítható belőlük, emellett hőszigetelő tulajdonságaik révén növelik az energia hatékonyságát.

A részecskehabok gyártói úgy gondolják, hogy ezek alkalmazási területeit lényegesen bővíteni lehetne, ha jobban megismernék őket, ha növelnék a habosított polimergyöngyök választékát, ha esztétikus felületet tudnának adni az ilyen habokból készített termékeknek, és ha a habosítást vízgőz befúvása nélkül el tudnák végezni. *Négy erre szakosodott cég, a GK Concept GmbH (Drezda), a Krallmann Gruppe, (Hiddenhausen), a T. Michel Formenbau GmbH & Co. KG (Lautert) és a Ruch Novaplast GmbH & Co. KG (Oberkirch) megalapította az intelligens könnyűszerkezetek „kompetenciahálózatát” (Intelligente Leichtbau-Systeme Kompetenznetzwerk, NILS), amelynek programjában új anyagok és új gazdaságos feldolgozási technológiák*

*ák kifejlesztése szerepel.* Egyik fontos célkitűzésük a fröccsöntés és a részecskehabok kombinálása (Partikelschaum-Verbund-Spritzgießen, PVSG), amelyben a jelenlegi EPS és EPP, ill. ezek kopolimerei, továbbá más hőre lágyuló műanyagok és elasztomerek részecskehabjai egy fröccsöntő szerszámban egyetlen lépésben habosíthatók és társíthatók (pl. körülfröccsönthetők) egy szokásos műanyaggal. A termékeket akár textíllel is lehet erősíteni, és különféle betéteket, pl. elektródákat lehet a termékbe beépíteni. Ezzel a technológiával meg lehetne teremteni a funkcionális könnyűszerkezetes építőelemeket.

## **A részecskehab lényegében „formázott levegő”**

A részecskehabok alapanyaga hőre lágyuló műanyagok gyöngynek is nevezett felhabosított granulátuma. Az ilyen gyöngyök térfogattömege 15–80 kg/m<sup>3</sup>, fajlagos mechanikai szilárdságuk és hőszigetelő képességük igen jó, a belőlük gyártott termékek pedig rendkívül könnyűek.

Szokásos feldolgozáskor a gyöngyöt sűrített levegővel töltik be a szerszámba, amelybe forró vízgőzt fújnak. Ettől a gyöngyök térfogata megnő, felületük meglágyul vagy megolvad, a részecskék összetapadnak és homogén habot képeznek. A levegővel töltött granulátumszemcsék egy része a szerszám falához nyomódva kb. 100 µm vastag fedőréteget hoz létre. A tömb zárt cellás szerkezetével ellentétben a felületen nyitott cellák vannak, és az leginkább a pattogatott kukoricára emlékeztet.

A formázás után a formadarabot a szerszámban a kivételhez szükséges hőmérsékletig hűtik, kivétel után pedig temperálják, hogy a nedvességet eltávolítsák a cellaszerkezetből, és stabilizálják az összetapadt gyöngyöket. A termék vastagságától függően a temperálás időtartama több óra is lehet.

Egy ilyen terméket felvágva, abban homogén cellaszerkezet látható. Mikroszkóp alatt vizsgálva észlelhető, hogy a részecskék a termékben egymástól 100–150 µm távolságban vannak, falvastagságuk pedig kb. 0,1 mm. A termék 90–95%-ban levegőből áll, tehát nem túlzás azt állítani, hogy egy ilyen termék lényegében „formázott levegő”. Nincs akadálya annak, hogy a habgyöngyökből készített termékben 5–150 mm között változó falvastagságú részletek legyenek, de a sűrűség is változhat a darabon belül.

## **Új alapanyagok a részecskehabok gyártásához**

A részecskehabosítás alapanyaga hosszú időn keresztül a polisztirol (PS) volt, ennek habosított gyöngyeit és a belőlük készített részecskehabokat EPS-ként (expandált polisztirol) jelölték. Ma már bevezetett termék a polipropilén hasonló változata, amelynek jele EPP. Gyártója, a JPS International, 2016-ban több mint 35 ezer tonnát adott el belőle, pedig a korábbi előrejelzések ezt a mennyiséget csak 2020-ra prognosztizálták. A két polimer kopolimerjeiből is gyártanak részecskehabokat, ezek PS-PP szerkezetűek. További célkitűzés, hogy bármilyen műanyagból vagy elasztomerből lehessen részecskehabot gyártani.

A jelenleg gyártott részecskehabok kb. 120 °C-ig hőállóak, de számos alkalmazásban, pl. a személyi védelemben magasabb hőmérsékleten is meg kellene őrizni jó mechanikai tulajdonságaikat. Ezért műszaki műanyagokból is próbálnak ilyen habokat készíteni, amelyeknek jó hasznát vennék a gépkocsi- és a repülőgyártásban. Jó példa erre az Adidas cég egyik sportcipője, amelybe *expandált hőre lágyuló poliuretánelasztomert (E-TPU)* építettek be, és amely 100%-ban elnyeli, majd rugalmassága révén visszaadja az energiát. A BASF SE (Ludwigshafen) *NeopolenPreflam* nevű új EPP-jének az a különleges tulajdonsága, hogy a repülőgépgyártás legszigorúbb éghetőségi követelményeit is kielégíti.

Az Evonik Industries AG (Essen) *Rohacell Triple F* márkanévű habosított gyöngyeinek alapanyaga polimetakrilimid. Ebből bármilyen bonyolult formájú, speciális, kemény részecskehabot lehet készíteni, amely jól alkalmazható a fröccsöntéssel kombinált habosításban. Hőre lágyuló polimerből pl. fedőréteg fröccsönthető rá a szebb küllem érdekében. Ilyenkor figyelembe kell venni, hogy a részecskehabok érzékenyek a hőmérsékletre és a nyomásra.

## Keresik az új technológiai megoldásokat

A részecskehabosítás és a fröccsöntés kombinációjában meglehetősen kellemetlen a vízgőzzel végzett habosítás. Egy fröccsgép és egy „gőzgép” elég rosszul férnek össze, és a gőzzel végzett habosítás, majd az ezt követő szárítás nem éppen energiatakarékos technológia. A műszaki műanyagokból készített habgyöngyök felhabosításához pedig a gőz hőmérséklete nem elég magas. Ezért keresik a gőzmentes habosítás lehetőségeit. Megoldásra vár a nagyobb darabszámú sorozatok gyártási idejének csökkentése is.

A részecskehabokból készített termékek felületének javítására az ún. bőrképzéssel, a texturálással, a fóliák hátoldalára habosítással és a rá/körül-fröccsöntéssel próbálkoznak.

A *bőrképzést* zárt szerszámban végzik; ehhez a szerszám hőmérsékletét rövid időre 250 °C-ra növelik, ilyenkor a fallal közvetlenül érintkező habrészecskék megolvadnak és tömör felületet, „bőrt” képeznek, amely kb. 1,5 mm vastag, és felülete egy texturált felületre emlékeztet.



1. ábra Részecskehabbal borított és texturálással díszített kormánykerekek

A *texturálás* azt jelenti, hogy a felületet valamilyen mintázattal látják el. Ilyen mintázatot lézersugárral „gravírozott” felületű szerszámban kap a termék. Részecskehabbal borított és texturálással díszített kormánykerekek láthatók az 1. ábrán. A *fólia hátoldalára habosítás* a fóliák hátoldalára fröccsöntéséhez hasonlít.

Alapvetően bármilyen mélyhúzzható termoplasztikus fólia hátoldalára lehet habosítani, némely esetben (pl. fémfóliákra) előzőleg tapadást

javító anyagot kell felvinni. Előformázott fóliákat hátoldalra habosítás előtt kontúrpon-  
tosan kell a szerszámba helyezni.

Jelenleg a rá/körülfröccsöntés tűnik a legéletképeőbb technológiának, amelyben egy részecskehab előtermékre a habénál magasabb olvadáspontú hőre lágyuló mű-  
anyagot fröccsöntenek (PVSG eljárás). Az előtermék felülete megolvad, és a két mű-  
anyag bonthatatlan kötést képez. Hogy a habszerkezetű előforma ne roskadjon össze, a  
hab sűrűségének egy minimális értéket kell elérnie, a ráfröccsöntett ömledéknek pedig  
könnyen kell folynia. Fordított esetben, amikor az előforma készül tömör hőre lágyuló  
műanyagból és erre viszik fel a részecskehabot (a hátoldalra habosítás egyik formája),  
a tapadás valamivel gyengébb.

Kísérletezéseik során a fejlesztők kerékpárhoz készítettek palacktartót. Felületét  
texturálták, felszereléséhez betétet építettek bele.

A Fakuma 2012 kiállításon a Krallmann, a Ruch Novoplast és az Arburg GmbH  
& Co KG. elsőként mutatott be részecskehabra hőre lágyuló műanyag fröccsöntésével  
gyártott terméket. Ez a 2. ábrán látható gépkocsi-kartámasz filmzsanérral egymáshoz  
kötődő két fél héjből áll, felszereléséhez az üreges talpba betétként beépített csavar  
van.



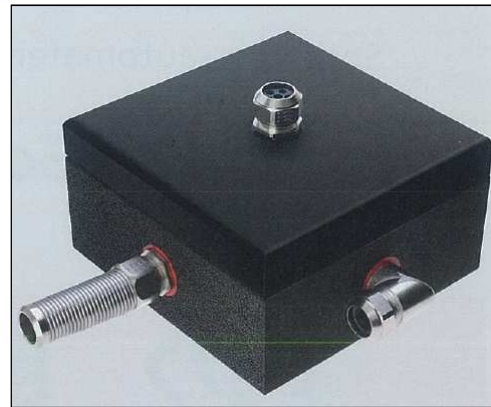
2. ábra A Fakuma 2012 kiállításon bemutatott  
első PVSG eljárással készített termék, egy filmzsanérral összekötött,  
két félhéjből álló gépkocsi-kartámasz. A jobb oldalon kinagyítva a termék fenekébe  
rejtett, felszerelést könnyítő betét látható

Ez a kombinált eljárás lehetővé teszi különböző betétek, szerelvények beépítését  
a termékbe, amellyel az új funkciókat kap, de funkcionálás lehet az is, ha a termék fe-  
lülete tetszetőssé vagy kellemes tapintásúvá válik. A Krallmann cég sikeres terméke a  
*K-Fix* márkanéven forgalmazott betétsorozat, amelynek tagjai habba ágyazott külön-  
böző szerelvényeket (menetes hüvelyt, bepattanó kötésbe illő horgot, bajonettkötést  
stb.) tartalmaznak, és amelyeket ugyancsak részecskehabból készített termékekbe lehet

beépíteni (3–4. ábra). A klímaberendezésekben és a különböző készülékek gyártásában ezeket már szívesen alkalmazzák.



3. ábra Menetes hüvelyt tartalmazó *K-Fix* elem. A hüvely tömör hőre lágyuló műanyagba van ágyazva, ezt veszi körül a tömítést szolgáló részecskehab



4. ábra Részecskehab készülékház beépített *K-Fix* elemekkel

A fröccsöntés és a habosítás párosítása kényes művelet. Sikerének titka a habosító automatából, fröccsöntő gépből és az ezeket kiszolgáló automatákból gondosan összehangolt gyártócella.

### **Szimulációs szoftver a termék és a gyártási folyamat optimalására**

A drezdai műszaki egyetem Könnyűszerkezetes Építési és Műanyagtechnikai Intézete (ILK, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik) szerint testreszabott társított anyagokat csak akkor lehet gyártani, ha azokat előzetes struktúrmechanikai számítások és szerszámmodellek alapján tervezik meg. Az ilyen számítások lehetővé tételére az intézetben speciális próbatesteken vizsgálták a részecskehabok tulajdonságait önmagukban és társított anyagokkal. Jelenleg a járművekben alkalmazott könnyűszerkezetes hordozóelemek tulajdonságai és habszerkezete közötti összefüggéseket akarják részletesen felderíteni. Munkájuk része az anyagfejlesztés és egy szimulációs modell kifejlesztése. A feladat nem könnyű. Míg fröccsöntéskor a szerszámfészkek egy ömledékáram folyamatosan halad a szerszámfészkek belseje felé, a részecskehab formázásakor a szinte súlytalan gömböcskék milliói ugrálnak az őket szállító levegőben, és ezek viselkedését kellene számokba foglalni. Elsőként a T. Michel cégnél kifejlesztett *MIC2* típusú injektor működését sikerült szimulálni.



## **Igényes szerszámokra és gyártóberendezésekre van szükség**

A szerszámok felületének lézertexturálása egyre szélesebb körben terjed. Ezzel a technikával nem csak a termék felületét lehet tetszetősebbé tenni, hanem befolyásolhatók vele a folyási utak, az összecsapási varratok és a levegőztetés is.

A részecskehabokat hagyományosan alumíniumszerszámokban gyártották. Újabban erre a célra egyre több jó minőségű szerszámacélt, műanyagot és kerámiaanyagot használnak. Az új szerszámanyagok nagyobb pontosságot, állóképességet és szebb felületet eredményeznek.

A korszerű lézeres maróműhelyekben nemcsak a textúrát, hanem magát a szerszámfészket is kimunkálják a szerszámtestben, ezáltal pontosabbak lesznek a szerszámokban a méretek, amelyek közül a részecskehabok formázásakor a textúra mélysége különösen fontos. Szerszámtervezéskor nagy gondot kell fordítani a jó temperálásra és a későbbiekben bevezetendő automatikus darabkiemelésre.

Gondot okoz, hogy a műszaki termékek végfelhasználói egyre igényesebbek, és olyan elvárásaik is vannak, amelyeknek a részecskehabok gyártói jelenleg még nem tudnak eleget tenni. A hegesztett acélból felépített jelenlegi fröccsgépek a nyitott térben ide-oda mozgó szerszámmal hamarosan már nem lesznek elég merevek ahhoz, hogy a kívánt méretpontosságú terméket PVSG eljárással elkészítsék. A gépfejlesztők már dolgoznak olyan gyártórendszerek fejlesztésén, amelyben a fröccsöntő egység a részecskehabosító automata kiegészítő része lesz.

## **Minőségbiztosítás megfelelő folyamat-ellenőrzéssel**

A termék minősége, különösen az összehegedés mértéke, a mérettartás és a tömeg a folyamatparaméterek függvénye. Egy mai műhelyben ezeket a paramétereket egy tapasztalt géptechnikus állítja be. Az ilyen „intuitív” módszer azonban nem tesz jót a reprodukálhatóságnak.

Vannak ugyan olyan gyártóhelyek, ahol használnak mechanikus vagy pneumatikus érzékelőket a hab belső nyomásának mérésére, de ezek nem elég pontosak és nem teszik átláthatóvá a folyamatot. Más szenzorok mérik a gőz, a víz, a vákuum és a levegő jellemzőit az elosztórendszerekben vagy a gőzkamrában. Ezek az adatok azonban az automatikus folyamatvezérlésben nem használhatók. A pontos és automatizált folyamatvezérléshez a szerszámfészknél és azon belül mért adatokra van szükség. Ehhez fejlesztették ki a T. Michel cégnél az első integrált digitális mérőszondát, amely *MIC-Probe3/1* megnevezést kapta. Ez a szonda a hab belső nyomását, hőmérsékletét és a szerszám hőmérsékletét méri. Ezek az adatok a fröccsgépre szerelt kijelzőn jelennek meg. A szonda 0–10 bar közötti nyomást, 180 °C-nál nem magasabb hőmérsékletet tud érzékelni. A fészek belsejében gőzbehatalástól védett további hőmérők mérik a hőmérséklet-eloszlást. Ezek 70 K-en belül igen nagy sebességgel tudják követni a hőmérséklet-változásokat.

A legfontosabb alapelvek tisztázása után minden gépgyártó képes lesz ugyanolyan szinten automatizált részecskehabokat előállító gyártórendszereket kínálni a feldolgozóknak, mint amilyeneket ma a hagyományos fröccsöntéshez alkalmaznak.

Összeállította: Pál Károlyné

Brexeler, I.; Bürkle, E.; Zeifang, R.: Luftnummern. Partikelschäume verbünden sich mit Thermoplasten zu Sandwich-Strukturen und montage-fähigen Leichtbauteilen = Kunststoffe, 105. k. 11. sz. 2015. p. 67–71.

Bürkle, E.: Konstruieren mit Luft. Hohes Leichtbaupotenzial durch die Verknüpfung unterschiedlichen Materialien und Verarbeitungsverfahren = Kunststoffe, 106. k. 10. sz. 2016. p. 132–138.