

Fémömléssel kofröccsöntött és lágymágneses töltőanyagot tartalmazó műanyagok

A fémmel társított műanyag nem újdonság, a műanyagömlék kofröccsöntése fémlvadékkal azonban meglepő ötlet, de megvalósítható. Mágneses töltőanyaggal is készítettek már műanyagokat, de a lágymágneses töltőanyagokat tartalmazó műanyagok alkalmazása a mágneses áramsűrűség növelésére igazi novum.

Tárgyszavak: műanyag/fém hibrid; többkomponenses fröccsöntés; fémötvözet; sporteszköz; lágymágneses kompaundok; szabályozástechnika.

Kofröccsöntés fémlvadékkal

A műanyagtermékek funkcionalitásának növelése és ezeknek a funkcióknak egyetlen darabba sűrítése a fröccsöntés sokféle speciális változatát hozta létre. A műanyagok társítása fémmel ma már megszokott dolog, van amikor a fémet vonják be műanyaggal, máskor a műanyagot fémmel, a fröccsöntött műanyagba ágyazott fémbetét is hétköznapi eszközeink része.

A műanyagokat gyakran azért társítják fémmel, hogy a természete szerint villamosan szigetelő műanyagot villamosan vezetővé tegyék. Erre többféle eljárást fejlesztettek ki. Villamosan vezető korommal vagy fémporral elő lehet állítani villamosan vezető kompaundokat. Fémbetétek fröccsszerszámba helyezésével és körülfröccsöntésével is megvalósítható a villamos vezetés. Az elektronika műanyaglapok felületére utólag viszi fel bonyolult eljárásokkal a vezető hálózatot. Mindezek viszonylag bonyolult többlépcsős eljárások.

Az aacheni műszaki főiskola (**RWTH Aachen**) „*Integratív gyártástechnika magas munkabérű országok számára*” (*Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer*) elnevezésű kutatási programjának keretében rövid gyártósoron, egyetlen munkafázisban (egyetlen fröccsöntő gépen és egyetlen szerszámban) előállítható, áramot vezetni képes és bármilyen bonyolult formájú fröccsöntött műanyag formadarab előállítására alkalmas eljárás kifejlesztését tűzte ki célként. Ehhez a többkomponenses eljárást kívánták továbbfejleszteni, és a műanyag fröccsöntését a megolvasztott fém nyomás alatti öntésével akarták kombinálni. A fejlesztésbe tíz ipari vállalatot is bevontak. A munkát az RWTH keretén belül működő Műanyag-feldolgozó Intézet, az **IKV (Institut für Kunststoffverarbeitung)** koordinálta.

Munkájuk első eredményét a 2010-es düsseldorfi műanyag-kiállításon mutatták be. Ez egy sportszemüveg volt, amelynek átlátszó műanyag ablakába villamosan vezető pályát építettek be, amely fűtőelemként funkcionált, és megakadályozta a szemüvegben a páralecsapódást.

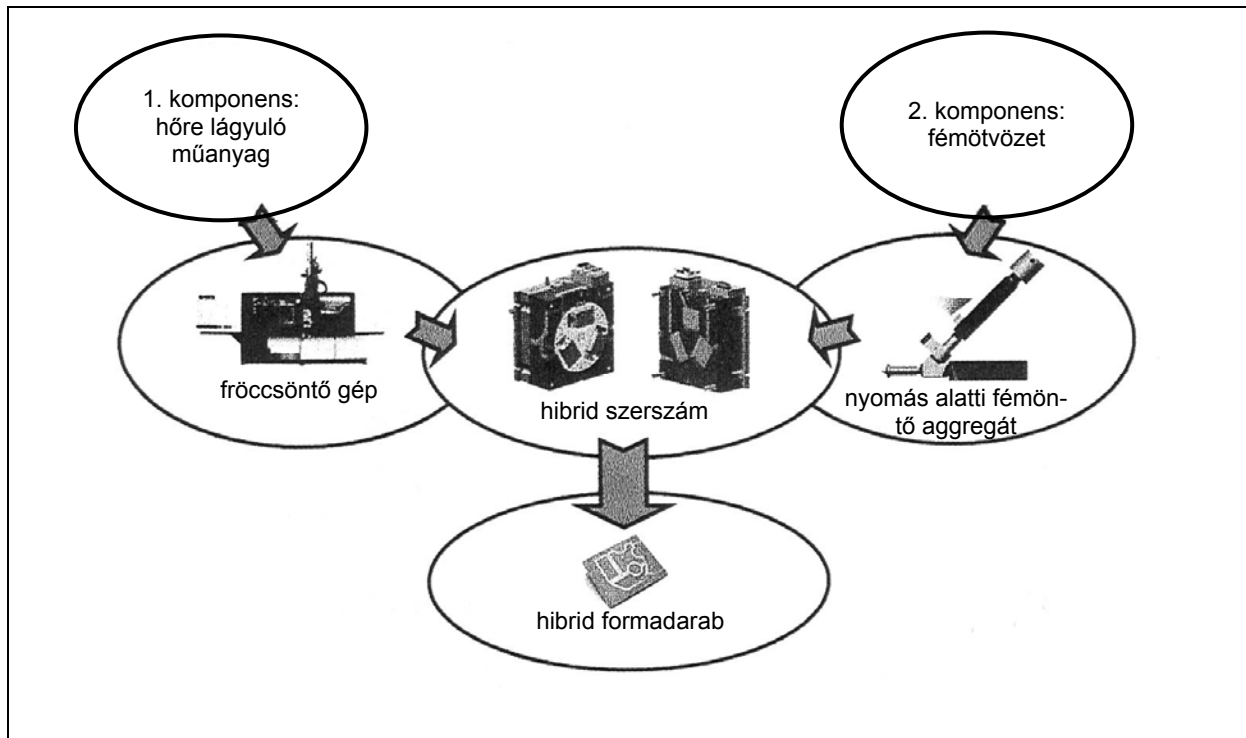
A tervezett hibrid eljáráshoz először a szemüveg elemeihez (tetszőleges rajzolatú vezető fémhály, átlátszó ablak, az ablak kerete) az anyagokat kellett kiválasztani. A fémkomponens feldolgozásakor sem mechanikusan, sem termikusan nem sérülhettek meg a műanyag elemek, ezek hőállóságának (hőalaktartóságának) meg kellett haladnia a fém olvadási hőmérsékletét. Alacsony hőmérsékleten olvadó különböző fémötvözetek kereskedelmi forgalomban kaphatók, ilyeneket kiolvadó maggal gyártott üreges testek formázásához és gyors prototípusgyártáshoz használnak. Az ón és a cink ötvözetei pl. 200 °C alatt olvadnak, és $8 \cdot 10^6$ S/m vezetőképességük is kielégítő. A szemüveg ablakának az átlátszóság mellett biztonsági okokból rugalmasnak és ütésállóknak kell lennie. Ilyen célokra általában ún. mikrokristályos poliamidokat alkalmaznak, ezek a felsorolt követelmények mellett UV-állóak és mechanikai tulajdonságaik is jók. Az ablak keretéhez is poliamidot választottak. A szemüveget végül is az **Evonik Industries AG** (Essen) *CX 7323* (ablak) és *CX 9794* (keret) polimerjéből fröccsöntötték.

A poliamidokat feldolgozás előtt szárítani kell. Az átlátszó poliamid feldolgozásához optimalizált *KKT 55* típusú szárító- és szállítóberendezést a **Koch GmbH** (Pforzheim) szállította. A szorpciós elven működő berendezés szavatolja, hogy a műanyag-granulátum a fröccsöntő gépbe pontosan a megkívánt szárazsággal jut be.

A fröccsöntéshez alapgépként a **Ferromatik Milacron GmbH** (Malterdingen) *K-Tec 200 S/2F* fröccsöntő gépét használták fel. Ezt egészítették ki a **Christmann Kunststofftechnik GmbH Babyplast** nevű fröccsaggregátjával, amelyet a fémöntéshez átalakítottak. Ezt azért lehetett megtenni, mert a fémolvadékok nyomás alatti öntése és a fröccsöntés gép- és szerszámtechnikája, sőt ciklusideje is hasonlít egymásra. A többkomponensű fröccsöntést az 1990-es évek elején kezdték alkalmazni, és azóta a gép- és szerszámtechnika sokat fejlődött, de a műanyagok fröccsöntésének és a fémek nyomás alatti öntésének társítására nincs korábbi példa.

A háromállomásos indexlapos szerszámot az IKV a **Gebr. Krallmann GmbH**-vel (Hiddenhausa) és a **Hasco Hasenclever GmbH + Co KG**-vel (Lüdenscheid) közösen fejlesztette ki. (A szerszám mozgó felén lévő ún. indexlap a szerszám tengelye körül el tud fordulni, és az egymást követő szerszámzáraskor újabb és újabb fészekrészeket lehet kitölteni az aktuális anyaggal.) Az indexlap elfordulását az egyes állomásokhoz szervo-elektromosan vezérlik. Az egyes állomásokhoz tartozó szerszámvetéteket külön-külön vízárammal temperálják. Mindkét műanyagömlék és a fémolvadék pneumatikusan működtetett tűzárós fúvókán keresztül jut a fűtött csatornából a megfelelő fészekrészbe. Hogy a nagyon gyorsan megdermedő fémolvadék biztosan elérje a folyási út és a pályavastagság kívánt arányát, az indexlapos szerszámot a második állomásnál nagy dinamikájú varioterm temperálással látták el.

A gyártási folyamat és a gyártósor egyes elemeinek vázlata az *1. ábrán* látható.



1. ábra A műanyagból és a fémolvadékból gyártott hibrid formadarab gyártósorának vázlata

A gyártásnak egyik legkényesebb pontja a villamos érintkezést létrehozó tű behelyezése a szerszámba úgy, hogy pontosan a megfelelő helyen legyen és az ömledék se sodorja el. Erről a **Kuka Roboter GmbH** (Augsburg) hattengelyű *KR5 arc* típusú robotja gondoskodik, amelyhez a speciális megfogószerkezet az **ASS Maschinenbau GmbH** (Overath) készítette. Ugyanez a robot emeli ki a szerszámból a kész darabot.

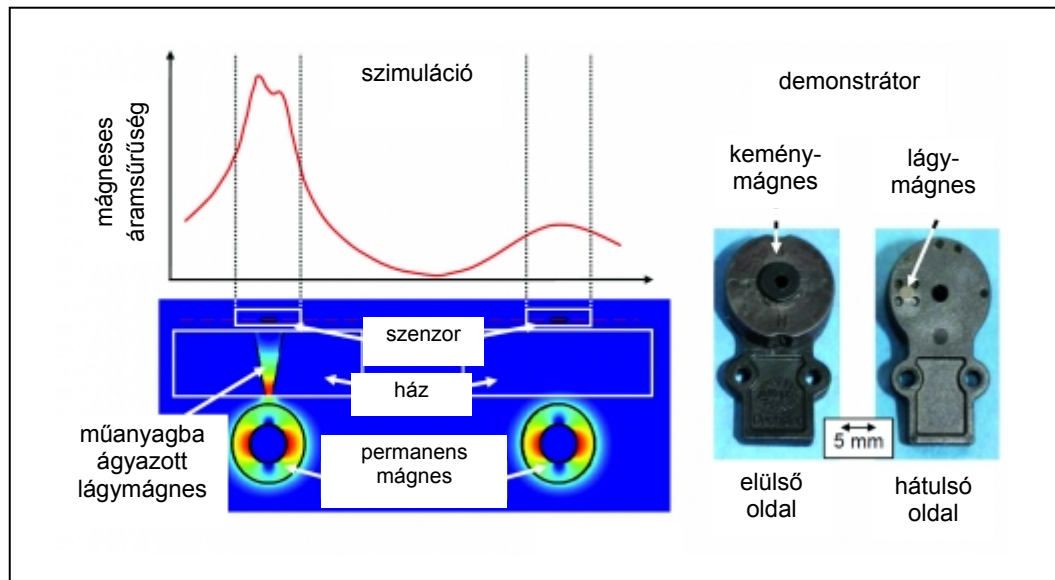
A szemüvegek minőségének biztosítására és a vezető pálya részletes ellenőrzésére online és inline eszközöket alkalmaznak a gyártási folyamatban. A fémaggregátban pl. az olvadécsatornák mögé beépített érzékelők a fémcsatorna alakváltozásából határozzák meg a csatornában fellépő nyomást. A műanyag komponensek gyártását nyomás/hőmérséklet-érzékelők felügyelik. A vezető pálya villamos ellenállását minden egyes darabon inline mérik és rajzban rögzítik.

A fejlesztőcsoport azt a célt máris elérte, hogy nagyon rövid gyártósoron sikerült nagyon bonyolult formájú műanyag/fém hibridet nagyon rövid ciklusidővel egyetlen szerszámban előállítani. Joggal remélik, hogy az eljárás továbbfejlesztésével azt ipari felhasználásra alkalmassá teszik, és a műanyagok és fémek kofröccsöntése a költség-takarékos és gazdaságos ipari eljárások egyik lehetséges változatává válik.

Erősítő hatású polimermátrixú lágymágnesek

A mágneses töltőanyaggal (fémekkel vagy ferrittel) kevert műanyagok nem számítanak újdonságnak. A ferromágneses töltőanyagot tartalmazó keverékek lehetnek

kemény- és lágymágnesesek. A műanyag mátrixszal készített keménymágneseket az elektronikában, az elektrotechnikában és a mechatronikában sokféle célra alkalmaz-
 zák. A lágymágneses töltőanyagok gyengébb húzóerejük miatt felületesen szemlélve
 kevésbé népszerűek. Kisebb hiszterézisvesztésük miatt azonban gyakori kapcsoló-
 váltáskor érzékelőkben, hajtórendszerekben és relékben nagyon hasznosak lehetnek.
 Nagy áthatolhatóságuk (permeabilitásuk) következtében a lágymágnesek permanens
 mágnessel társítva „mágneses vezető”-ként működhetnek.

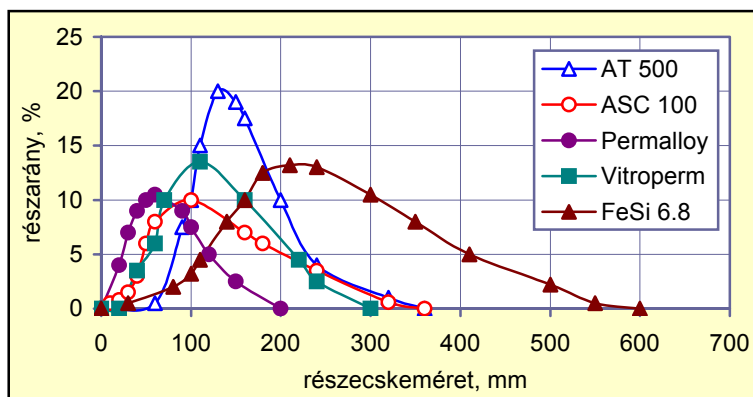


2. ábra Az Oechsler cégnél kifejlesztett Mikromag demonstrátor fröccsöntött permanens mágnes fröccsöntött lágymágnessel felerősített mágneses áramsűrűségének mérésére

A német oktatási és kutatási minisztérium (**BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung**) „Mikromag” projektjének keretein belül az aacheni IKV a **Siemens** (München), az **Oechsler** (Ansbach) és az **Arburg** (Loßburg) céggel közösen dolgozik olyan lágymágneses kompaundok fejlesztésén, amelyekből tetszőlegesen bonyolult, összetett formadarabokat lehet egyetlen lépésben fröccsönteni. Az Oechsler cégnél kifejlesztett szimulációs berendezésen vizsgálják a permanens mágnesekkel kombinált fröccsöntött lágymágnesek tulajdonságait. Egy többpólusú permanens mágnes mágneses áramsűrűsége egy lágymágnes szűk ablakán átengedve 50–60%-kal növelhető (2. ábra). Ezáltal javul a szenzor teljesítőképessége és pontossága. A mágneses mező erősítéséhez viszonylag magas (15–20) relatív permeabilitás szükséges. Ez csak alkalmas és magas részarányú töltőanyag-tartalommal érhető el.

Az IKV különböző lágymágneses anyagokat [vas (*AT 500, ASC 100*), vas-nikkel (*Fe81Ni* ötvözet, *Permalloy*) és vas-szilícium (*FeSi 6.8*) port a svédországi **Höganäs AG**-től (Höganäs), vákuumömlédekből származó nanokristályos *Vitroperm* vas-szilíciumot a Hanau-tól (Hesse)] vizsgált az **A. Schulman** cég (Kerpen) kis viszkozitá-

sú *Schulamid 6 NV 12* márkanévű poliamid 6-jában különböző arányban bekeverve. A tiszta vasporok (*AT 500*, *ASC 100*) szabálytalan formájú részecskékből álltak, és csak a részecskeméret-eloszlásban különböztek (3. ábra). Az *FeSi 6.8* ezzel szemben sima felületű gömböket, a *Vitroperm* kis lapokat alkotott. A különböző formák az előállítási eljárásokkal függenek össze. A kompaundokat sűrű csigaszárnnyú egy irányba forgó két-csigás extruderen készítették el, majd 80x80x2 mm-es lapokat; 14,2 mm átmérőjű, 1,5 mm² keresztmetszetű, 445 mm folyási hosszú spirálokat és 38 mm külső, 30 mm belső átmérőjű, 3 mm vastag gyűrűket fröccsöntöttek belőlük. A tekercseléssel ellátott gyűrűk *DIN EN 60404-6 (IEC 60404-6) szabvány* (Mágneses anyagok – 6. rész: Eljárás lágymágneses és por alakú anyagok mágneses tulajdonságainak mérésére a 20 Hz-200 kHz frekvenciatartományban gyűrű alakú próbatetek segítségével) szerinti vizsgálata mellett speciális mérőjárommal a spirálból kivágott lapos próbateteket (maximális keresztmetszetük 15x2 mm², optimális hosszuk 30–32 mm) közvetlenül is mérték.



3. ábra
A lágymágneses töltőanyagok részecskeméret-eloszlása

Tiszta vasporból (*AT 500*, kb. 99% vaspor) sajtolt és különböző részarányban lágymágneses töltőanyagot tartalmazó műanyagkompaundokból fröccsöntött gyűrűk hiszterézisgörbéinek meredekségét (relatív permeabilitását) összehasonlítva egyértelmű volt, hogy az utóbbiak többségének permeabilitása jóval kisebb, és ezt a töltőanyag fajtája és részaránya is viszonylag erősen befolyásolja. Míg a *Vitroperm* erősítette legjobban a külső mezőt, az *FeSi 6.8*-at tartalmazó kompaundok lapos hiszterézisgörbét adtak, ami a töltőanyag kisebb relatív permeabilitására vezethető vissza. Összehasonlíthatók azonban a műanyagkompaundokkal és a tiszta vassal mért koercitív térerősségek és hiszterézisvesztések azonos telítési indukció mellett. A permeabilitás függésének jelentős csökkenése a mágneses térerősségtől a kompaundokban is kimutatható volt.

Az erősen töltött villamosan vezető műanyagok vizsgálataiból ismeretes, hogy a töltőanyagok nem oszlanak el egyenletesen a formadarabban, hanem feldúsulnak a folyási utak mentén. Hasonló jelenséget észleltek a mágneses töltőanyagot tartalmazó kompaundokban is. A töltetlen és a gyengén töltött keverékek viszonylag egyenletesen oszlottak el a lapszerszám szélességében, a sok töltőanyagot tartalmazók folyásfrontja az előbbiekkal szemben nem volt párhuzamos, a középtengely vonalában az ömledék előresietett. Ez a kisebb ömledékrugalmassággal és a gyorsabb dermedéssel magya-

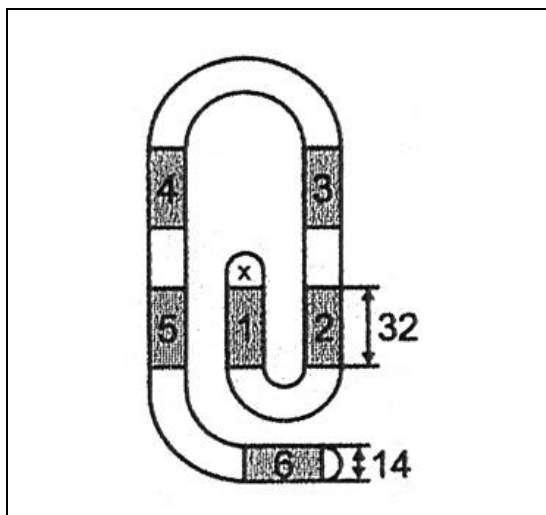
rázható. A frontvonal mögött néhány cm-re az áramlási viszonyok miatt feldúsult a töltőanyag, és a középtengely irányába sodródott. A kész lapokon kimutatható volt a középvonal mentén a nagyobb koncentráció. A gömb alakú töltőanyagok hosszabb utat tettek meg, mint a szabálytalan alakúak.

Mivel a fémrészecskék koncentrációja a folyási út mentén folyamatosan növekszik, a fröccsöntött formadarabok mágneses tulajdonságai sem homogének, hanem a mérési hely sűrűségétől függenek. Ezt látható a 4. ábrán, amely a fröccsöntött lapos spirálok különböző részein vett minták helyét és az 5. ábrán, amely az egyes mintákon mért sűrűséget, ill. permeabilitást mutatja. A járommal mért legnagyobb permeabilitást a Vitroperm-tartalmú kompaundokon mérték, de megfelelően nagy a permeabilitása a nagy szemcseméretű vasszemcsékkel (AT 500) és a Permalloy-jal készült keverékeknek is. A lapos próbatesteken mért értékek valamivel kisebbek voltak, mint a tekercselt gyűrűké. Ez a mérőjáromban fellépő mágneses árammal, ill. mágneses erővonalakkal magyarázható. Ennek ellenére folyamatelemzéshez ez a módszer jól alkalmazható.

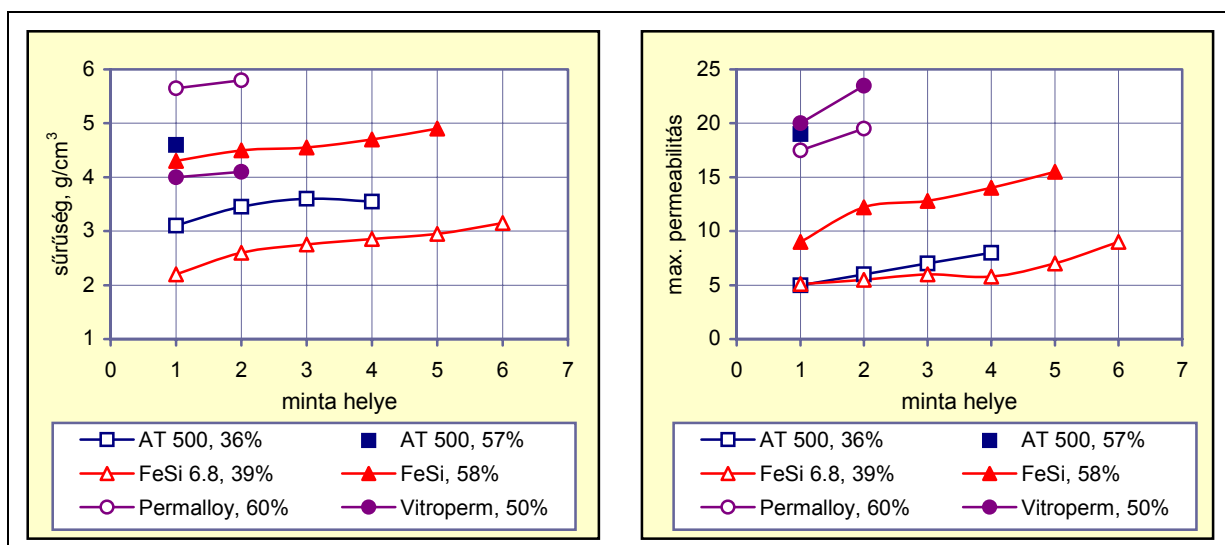
Beépített mágneses tekercsekkel a műanyagba ágyazott keménymágnesek közvetlenül a fröccsszerszámban mágnesezhetőek. Ha sikerül a lágymágneses töltőanyagok rendeződését a fröccsöntés alatt elérni és mágneses tulajdonságaikat a mágneses tér irányába rendezni, az Oechsler cégnél kifejlesztett mágnesetekercses fröccsszerszámban el lehet kezdeni ezek gyártását és elemzését. A szerszámban egyszerű, 30x30x2 mm³-es lapot lehet előállítani.

A kitöltési próbák során azt tapasztalták, hogy a fészek kitöltése és az ömledék folyása másképpen történik, ha a mágnes működik, ill. nem működik. Ha FeSi-tartalmú kompaundokat fröccsöntettek a szerszámba, mágneses térben az ömledékfront elágazott, a mágneses tér irányában oszlopszerű struktúrák alakultak ki. Az utónyomás vagy az ömledékben fellépő helyi nyomások a darab belsejében gátolták ezeknek a struktúráknak a megjelenését. A Vitropermből fröccsöntött darabok töltőanyagrendeződésének vizsgálatakor különböző rétegeket találtak. A hosszabb ideig ömledék formájában maradó belső (4–7) rétegekben a töltőanyag a mágneses tér irányába rendeződött, a külső (1–3, 8–9) rétegekre a mágneses tér kevésbé hatott. Ez azonban a relatív permeabilitást csak kevésbé érintett, a töltőanyag fajtájától függetlenül a mágneses tér irányában legfeljebb 0,5 értékű eltérést okozott.

A kutatók a kísérletek eredményeiből azt a következtetést vonták le, hogy lágymágneses töltőanyagokkal elő lehet állítani – töltőanyagfajtától függően – legfeljebb 60%-os fröccsönthető műanyagkompaundokat. A szabálytalan formájú, nagy szemcseméretű töltőanyagok rosszabbul, a sima felületű, golyó alakú töltőanyagok jobban folyó keverékeket eredményeznek. Az erősen töltött polimerek folyási tulajdonságai eltérnek a töltetlen vagy csak kevés töltőanyagot tartalmazókéétól. A kész darabok lágymágneses tulajdonságai a töltőanyag fajtáján és részarányán kívül függenek attól is, hogy a darab melyik részén mérik őket. A gyártószerszámban kialakított mágneses tér megváltoztatja az ömledék folyási tulajdonságait, de csak kevésbé hat a lágymágneses tulajdonságokra. A további kísérletekben optimalizálni kívánják a gyártási és a szerszámtechnikát.



4. ábra A fröccsöntött spirálból vett minták helye (a spirál vastagsága 1,5 mm, x a beömlés helyét jelzi)



5. ábra A fröccsöntött spirálból kivágott próbatestek sűrűsége és relatív permeabilitása a mintavétel helyének, a töltőanyag fajtájának és részarányának %(V/V) függvényében

Összeállította: Pál Károlyné

Michaeli, W.; Grönlund, O. stb.: Neuer Prozess für Kunststoff-Metall-Hybride = Kunststoffe, 100. k. 9. sz. 2010. p. 136–140.

Beheizte Sportbrille einstufig spritzgegossen = K-Berater, 55. k. 10. sz. 2010. p. 34.

Hopmann, Ch.; Fragner, J.: Magnete mit verstärkender Wirkung = Plastverarbeiter, 63. k. 6. sz. 2012. p. 30–33.