

Új technológiák könnyűszerkezetes autóelemek gyártására

A műanyag-feldolgozásban ritkán lehet hírt adni teljesen újszerű feldolgozási eljárásról. Az alábbiakban három ilyen technológiát mutatunk be: a hőre lágyuló műanyagok transzferöntését, továbbá az egymással rokon termopréselést és termohabosítást. Mindkettővel rendkívül erős és szilárd formadarabokat lehet előállítani. Ezek szállal erősített szerkezetek, szálvázat tartalmaznak vagy szendvicsszerkezetűek. Az utóbbiak alsó és felső rétege ún. szerves bádoggal, a közöttük lévő tért műanyaghab tölti ki. Az új technológiák elsősorban az autógyártók érdeklődésére számíthatnak.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőre lágyuló műanyagok; transzferöntés; termohabosítás; könnyűszerkezetes technológia; autógyártás.

A gépkocsikban egyre több a szállal erősített műanyagból készített alkatrész. Ennek egyik oka, hogy az ilyen alkatrészekben, különösen a karosszériaelemekben az erősítőszálak irányával, rendeződésével széles határok között változtatható az darabok merevsége és szilárdsága, amelyek emellett sokkal könnyebbek, mint a fémből készült elemek, ami az üzemanyag-fogyasztás csökkentése és a teljesítmény növelése érdekében az autógyártás egyik fő célkitűzése, de a környezetet is kevésbé terheli.

A szállal erősített műanyag alkatrészek terjedésének másik oka, hogy a vásárlók szívesen vásárolnak egyedinek tűnő gépkocsikat, és gyakrabban cserélik autójukat. Emiatt a gépkocsigyártók egy-egy modellből kisebb sorozatokat forgalmaznak. *Szállal erősített műanyagokkal könnyebb és olcsóbb újabb és újabb modelleket létrehozni.*

A hosszú (vagy „végtelen”) szállal erősített műanyagok feldolgozása, különösen a belőlük készített elemek formázása azonban nem olyan egyszerű, mint a hőre lágyuló műanyagoké. Ilyeneket korábban többnyire sok kézi munkával, réteget rétegre fektetve „lamináltak”, és mátrixként hőre keményedő gyantát (poliésztergyantát vagy epoxigyantát) használtak. *A gépkocsigyártásban a tömegtermelést azonban csak erős automatizálással lehet fenntartani.* Ebbe kell beilleszteni a szállal erősített műanyag elemek gyártását is, amelyek mátrixa ma már hőre lágyuló műanyag.

Egy munkacsoport ezért kifejlesztette az eredetileg hőre keményedő műanyagokkal dolgozó *reaktív transzferöntés* (RTM, resin transfer moulding) hőre lágyuló műanyagot, pontosabban reaktív poliamid 6 mátrixot alkalmazó változatát, a *T-RTM* (*Thermoplastisches Resin Transfer Moulding*) eljárást, amely magas szinten automatizálható.

Egy másik munkacsoport a gépkocsielemekek merevségét növeli úgy, hogy azok változatlanul könnyűek maradjanak. Ezt olyan szendvicsszerkezettel éri el, amelynek alsó és felső rétege „végtelen” üvegszállal magas százalékban erősített vékony mű-

anyag lemez, ún. „szerves bádog”, magja pedig műanyaghab. Az újdonság abban van, hogy a szendvicsszerkezet előállítását és annak formázását ugyanabban a szerszámban, egyetlen lépésben végzik. Az eljárásnak két változata van. Az ún. „*termopréselés*”-ben (*Thermopressen*) a szerszámba az alsó és felső szerves bádog közé korábban gyártott kész habréteget fektetnek, majd együttesen sajtolják formára őket. Az ún. „*termohabosítás*”-ban (*Thermoschäumen*) a szerszámba fektetett két (egyelőre előformázott) szerves bádogréteg közé gázt tartalmazó és gyöngy formájú műanyagot injektálnak, majd a zárt szerszámba forró vízgőzt fűjnek, amittől a gyöngyök felhabosodnak.

T-RTM eljárással gyártott erősítőelem egy VW gépkocsi B-oszlopához

A Volkswagen AG (VW) a BASF SE és a KraussMaffei Technologies GmbH együttműködésével fejlesztett ki automatikus gyártási eljárást egy erősítőelem előállításához, amelyet a VW egyik gépkocsimodelljében a B-oszlop erősítéséhez alkalmaznak. Az eljárás a gyantatranszferöntésen (RTM) alapszik, de újdonsága abban van, hogy hőre keményedő gyanta helyett *reaktív poliamid 6, pontosabban annak aktivátorral és katalizátorral összekevert monomerje, kaprolaktám ömledékével itatják át az előzőleg a szerszámba helyezett előformázott szálvázat*. A befröccsentett keverék reakciója az impregnálás után néhány percen belül végbemegy, a szerszámból üvegszállal erősített poliamid 6 formadarabot vesznek ki.

A hőre lágyuló mátrixszal készített üvegszálal formadaraboknak számos előnyük van a hőre keményedő gyantával gyártottakéval szemben: formájuk utólag módosítható, hegeszthetők, nem utolsósorban pedig olcsóbbak. Eddig mégsem sikerült ilyeneket előállítani, mert a polimerek ömledékének viszkozitása túlságosan nagy ahhoz, hogy a száraz szálvázat pórusmentesen átítassák vele. Ezt a nehézséget poliamid esetében úgy lehetett áthidalni, hogy a szálvázat nem a polimer ömledékével, hanem annak kis molekulatömegű monomerjével itatják át, amelynek viszkozitása a vízéhez hasonló.

A reaktív poliamid nem újdonság, eddig is alkalmaztak anionosan polimerizálható poliamidot, amelyet önthető vagy reaktív poliamidnak neveznek, és félkész termékeket, lemezeket, csöveket gyártanak belőle. A T-RTM eljárás újdonsága abban van, hogy kidolgozták azt a rendszert, amelyben a kaprolaktámot úgy keverik össze az aktivátorral és a katalizátorral, hogy a reakció csak a szerszámban, impregnálás után induljon meg, ahol 2–3 perc alatt be is fejeződik. És mindez automatikusan megy végbe.

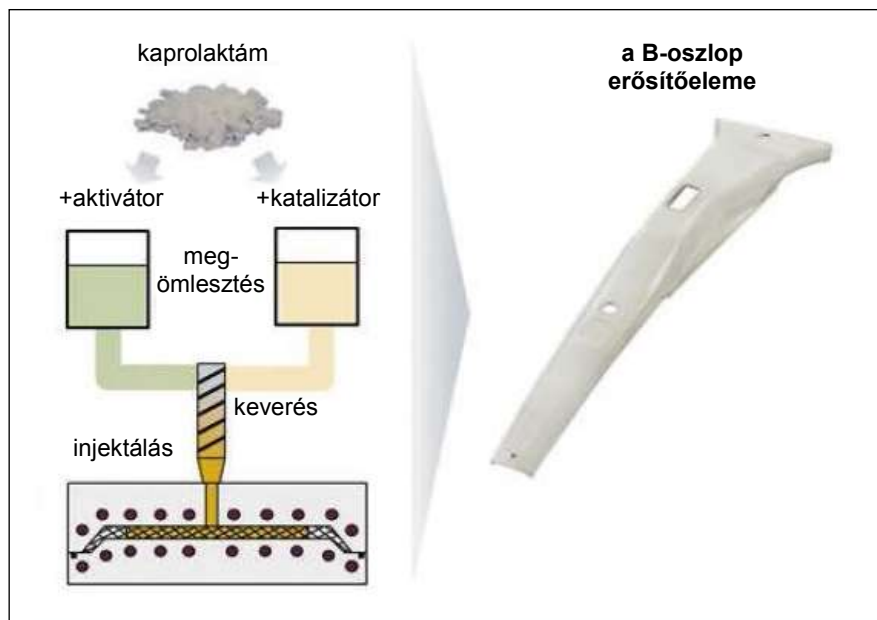
A T-RTM eljárás

A T-RTM eljárás első pillantásra alig különbözik a klasszikus RTM eljárástól. Az első lépésben kiszabják az erősítőszövetből (a B-oszlophoz üvegszövetből) az egyelőre sík (2D-s) félkész erősítő formát. Az erősítő vázat több rétegből lehet felépíteni, az egyes rétegekben a szálak iránya eltérő lehet, ami által a gyártandó darab nagyobb terhelésnek kitett részeit céltartan jobban meg lehet erősíteni. Az üvegszövet gyártás-

kor speciális felületkezelést kap, hogy a folyékony kaprolaktám jól nedvesítse, a kész darabban pedig biztosítsa az üvegszálváz és a poliamidmátrix közötti jó tapadást.

Az üvegszövetrétegekből felépített száraz 2D-s vázat egy erre a célra szolgáló szerszámban előformázzák. Ebben a lépésben kötőanyagot is alkalmazhatnak, de ügyelni kell arra, hogy az a következő lépésben a poliamid polimerizációját és a jó tapadást ne gátolja. Előformázás és szélezés után az erősítő vázat behelyezik a konstans 150 °C-os RTM szerszámba, amelybe záródás után befröccsentik a reaktív PA-rendszert. Ez átítatja az üvegszálvázat, és abban polimerizálódik.

A VW szállal erősített műanyagok tanulmányozására létesített wolfsburgi technikumban egy hagyományos RTM eljáráshoz használt, könnyen módosítható szerszámot alakítottak át a T-RTM technológia alkalmazásához, amelyet egy 1000 tonnás sajtológépen üzemeltetnek. Az első sikeres kísérleteket azonban korábban a KraussMaffei cég müncheni technikumban, az adagolórendszer kipróbálásakor végezték.



1. ábra Az üvegszálváz átítatása a reaktív PA-rendszerrel (bal oldal) és a B-oszlop kész erősítőeleme (jobb oldal)

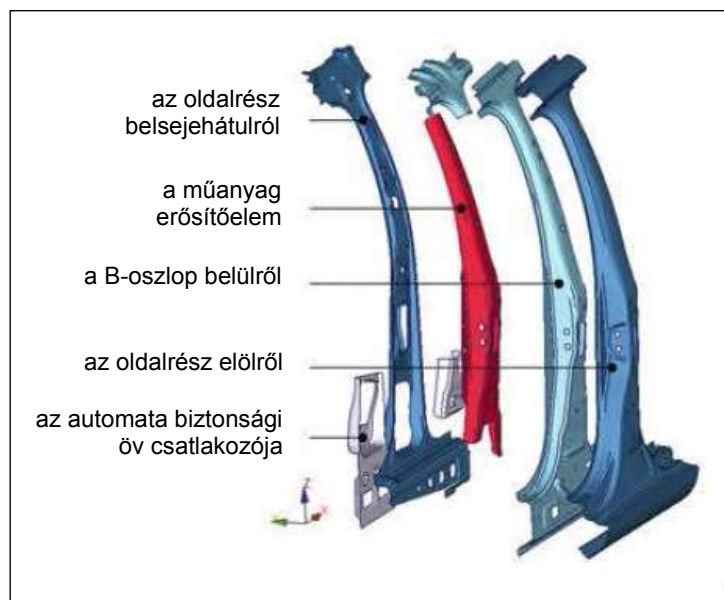
A reaktív PA rendszer alapanyaga a kaprolaktám, amelyhez aktivátort és katalizátort kevernek, de más adalékokkal is kiegészíthetik a keverékeket. A BASF a katalizátort, ill. az aktivátort (plusz a többi adalékanyagot) tartalmazó kaprolaktámot két kész keverékként, szobahőmérsékleten szilárd granulátum formájában szállítja Wolfsburgba. A granulátumokat külön-külön két fűthető tartályba töltik, ahol 70 °C felett vízhez hasonló viszkozitású ömledékké olvadnak. Ezek önmagukban inaktívak. Reaktívvá csak akkor válnak, amikor a kb. 100 °C-os keverőfejben egyesítik őket, majd bekerülnek a 150 °C-os RTM szerszámba. A folyamat vázlatja az 1. ábrán látható. A

polimerizáció abban különleges, hogy a PA6 végtermék olvadáspontja alatt megy végbe, azaz a folyékony kaprolaktám úgy alakul át szilárd poliamiddá, hogy közben a polimer nem kerül ömledékállapotba. Emiatt a kész formadarab az izoterm módon fűtött szerszámból melegen emelhető ki. A T-RTM eljárás zárt rendszerben megy végbe, a kaprolaktámot nedvességtől tökéletesen elzárt környezetben fröccsentik be.

A kb. 100 °C-on befröccsentett kis viszkozitású monomer tökéletesen átítatja az üvegszálvázat a legbonyolultabb formában is. A B-oszlop erősítőelemében a falvastagság 6,3–12 mm között változik, a késztermékben létrejött, gyakorlatilag pórusmentes laminátumban 54–58% közötti üvegszál-tartalmat mértek.

A VW új B-oszlopa

A gépkocsikban B-oszlopnak nevezik az első ajtók mögötti merevítőoszlopot, amely a karosszéria és a tető közötti kapcsolatot teremti meg. Egyik fontos funkciója, hogy oldalirányú ütközéskor elnyelje az ütközés energiáját, amit az ún. Pfahl-Crashtest-ben ellenőriznek. A VW a B-oszlopokat hagyományosan nagy szilárdságú acélból készíti. Egyik új modelljében – amelyet közepes darabszámban az észak-amerikai piacra gyárt – az oszlop erősítőelemét üvegszálal PA6-ból állítja elő. *Ezáltal a gépkocsinak ez az építőeleme 36%-kal könnyebb, mint a tisztán acélból gyártott elem.* A műanyag betét vastag fala és bonyolult formája miatt kivitelezésére az T-RTM eljárás bizonyult a legalkalmasabbnak. A betét miatt az oszlop formáját is át kellett tervezni. Az erősítőelemet ragasztással rögzítik az oszlop belsejébe (2. ábra). Ezzel a B-oszloppal a gépkocsigyártás egy újabb lépéssel került közelebb az autókarosszériák könnyűszerkezetes felépítéséhez.



2. ábra A VW új B-oszlopának elemei különböző nézetben

A reaktív poliamid

A kaprolaktám PA6-ot eredményező anionos polimerizációjáról már az 1950-es években jelentek meg publikációk. A standard nagyipari hidrolitikus polimerizáció 24 órás időtartamával szemben az anionos polimerizáció néhány perc alatt végbemegy. Az utóbbit az iparban rotációs öntéshez vagy „önthető poliamid”-ként félkész termékek, profilok, csövek, kötélvasutak görgői, és más olyan termékek gyártására alkalmazzák, amelyektől elvárják, hogy szívósak, kopásállóak legyenek. A szállal erősített műanyag elemek előállítására kifejlesztett T-RTM eljárás széles alkalmazási területeket nyithat meg az anionos polimerizációval létrehozott poliamid előtt, annál is inkább, mert a kaprolaktám polaritásának következtében benne nagyon sokféle adalékot lehet feloldani.

A BASF egyik legfontosabb gyártója a kaprolaktámnak, ezen kívül műszaki műanyagokat forgalmaz és társított/erősített anyagokhoz is kínál folyékony hozzávalókat. A cégnél három éve foglalkoznak hőre lágyuló mátrixszal készített szálvázaz anyagokkal és az ehhez kapcsolódó anionos laktámpolimerizációval. Az Ultramid 6 márkanevű poliamidokéhoz hasonló „toolbox”-ot (útmutatót, eszköztárat, „szerszámládat”) készített is róla. Ennek az útmutatónak a segítségével különböző receptúrák állíthatók össze, amelyek az aktivátoron és a katalizátoron kívül megfelelő hőstabilizátort, belső formaleválasztót vagy ütésállóságot növelő adalékot tartalmaznak, emellett a gyártási folyamattal összehangolt reaktivitással rendelkeznek – reakciójuk többnyire 140–160 °C között 2–3 perc alatt lejátszódik.

Annak érdekében, hogy a szálak összeférhetőségének növelésére alkalmazott felületkezelő anyag ne zavarja a polimerizációt, a BASF az üveg- és szénszálgyártó cégekkel együttműködve saját felületkezelő anyagokat fejlesztett ki. Ezért teljes harmonizált rendszert kínál ügyfeleinek, amelynek része a megfelelő receptúra alapján összeállított reaktív PA6 monomer és az ezzel kompatibilis félkész textil. A reaktív hőre lágyuló rendszer *A* komponense kaprolaktámot és aktivátort, a *B* komponens kaprolaktámot és katalizátort tartalmaz. Felolvasztás után a berendezésben ezeket legtöbbször 1:1 arányban kell összekeverni.

A belőlük gyártott készterméknek a merevség és szilárság optimális viszonya mellett jó a hőstabilitása. További előnye az előállítás in-situ jellege, továbbá a formamódosítás, a hegesztés, az újrafeldolgozás lehetősége. A BASF a késztermék tervezésében és előállításában is segítséget nyújt vásárlóinak, amelynek része lehet a folyamat szimulálása is.

A gyártóberendezés és az adagolórendszer

Az adagolórendszert a KraussMaffei cég készítette és hangolta be. A cég az 1980-as évek óta gyűjti a tapasztalatokat ezen a területen, korábban az ún. NY-RIM eljáráshoz, az utóbbi években a T-RTM eljáráshoz tucatnyi berendezést készített.

A T-RTM eljárás legkényesebb eleme a gyártóberendezés, amelyet kifejezetten kaprolaktám reaktív feldolgozására terveztek, ezen belül is a keverő és az adagoló. A

KaussMaffei a berendezésbe speciális keverőfejet, nagy teljesítményű tengelyirányú dugattyús szivattyút és elektromos temperálást épített be. A kaprolaktám feldolgozásához korábban használt nagyméretű keverőfejek helyett a B-oszlop gyártásához lényegesen kisebb keverőfejet alkalmaztak, amit a villamos fűtés tett lehetővé. A feldolgozási hőmérséklet felső határa benne 160 °C, a kihordási sebesség 10–200 g/s között állítható be. A keverőbe harmadik komponens, pl. színezett kaprolaktám, újabb aktivátor vagy katalizátor is adagolható.

Az adagolórendszer szivattyúit is hozzá kellett igazítani a kaprolaktám nagyon alacsony viszkozitásához. A tengelyirányú dugattyús adagolószivattyúkat a cég maga fejlesztette ki és gyártotta le. A szivattyúk erőátvitelére egy tömítés nélküli integrált mágneses kupplungon keresztül megy végbe. A gyártóberendezés valamennyi vezetékét fűtik, a csatlakozókat is fűtőpatronokkal látták el, hogy elkerüljék a kaprolaktám bedermedését.

A kaprolaktám olvadéka kémiai szerkezete miatt könnyen vesz fel a levegőből nedvességet. Hogy ezt elkerüljék, a napi adag tárolóját üzemeltetés alatt is vákuum vagy nitrogénatmoszféra alatt tartják. A berendezés beindítása előtt ugyanilyen célból ugyancsak nitrogénnel öblítik át a rendszert.

Szendvicsszerkezetű elemek gyártása termopréseléssel vagy termohabosítással

A műanyagok habosítása – gyakran más technológiákkal társítva – egyre gyakrabban fordul elő a műanyag-feldolgozásban. Ilyen párosítással számos esetben a formadarabok funkcióinak gyarapítása mellett tömegüket is lehet csökkenteni, ami a könnyűszerkezetes építésmódban elsőrendű követelmény.

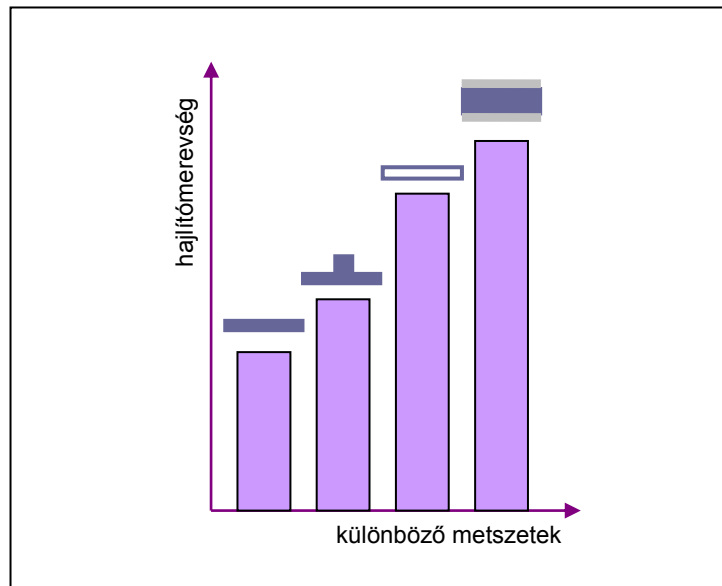
A könnyűszerkezetes építőelemek nagy része több rétegből felépülő szendvicsszerkezet. Nagy felületű, lapos és hajlítóterhelésnek kitett elemek merevségét növelni lehet a rétegeihez felhasznált anyagokkal úgy, hogy tömege ne változzék. Ehhez a nagyon merev és szilárd fedőrétegek közé nagy csúsztató rugalmassági modulusú réteget kell beépíteni.

Egy tartóelem hajlítómerevsége erősen függ a geometriájától. Minél nagyobb a keresztmetszetének magassága, annál merevebb. Egy profil hajlítómerevsége kialakításának függvényében a következő sorrendet adja: négyszög keresztmetszetű tömör profil < négyszög keresztmetszetű bordázott profil < négyszög keresztmetszetű üreges profil < négyszög keresztmetszetű szendvicsszerkezetű profil (3. ábra).

Ha egy építőelemet úgy akarnak szendvicsszerkezetűvé tenni, hogy emiatt tömege ne változzék, a szerkezet magasságának növelésekor csökkenteni kell a fedőlapok vastagságát, mert figyelembe kell venni a habosított mag tömegét is. A műszakilag ésszerű szendvicsvastagság függ a beépítendő elem számára rendelkezésre álló tér nagyságától, de attól is, hogy milyen vastagságú félkész termékek kaphatók a piacon, amelyeket fedőlemezként lehet alkalmazni.

A gépkocsikban rendszerint szűk a hely, és a harmadik tengely irányába korlátozott a méretek növelése. Az ilyen helyeken gyakran úgy merevítik az elemeket, hogy

az üreges profilokba megfelelő formára vágott habbetéteket ragasztanak be. Ez az eljárás azonban időigényes és drága.



3. ábra Különböző keresztmetszetű profilok hajlítómerevsége

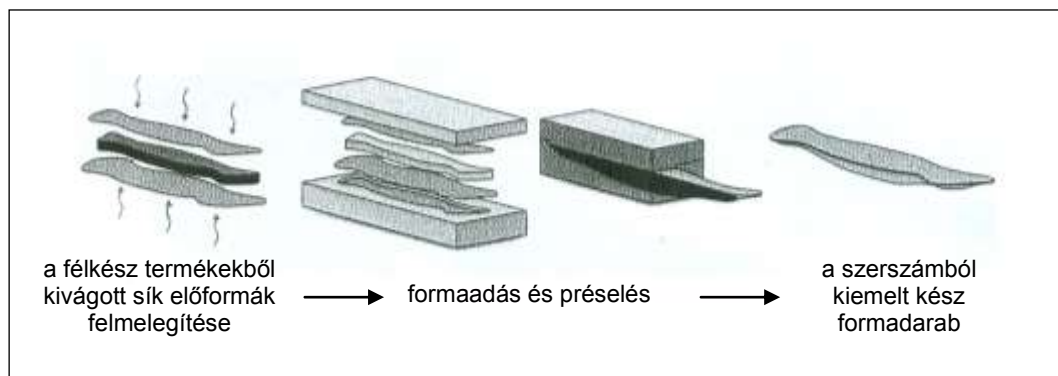
Meggyorsíthatja és automatizálhatóvá teheti a merev szendvicsszerkezetű autóalkatrészek gyártását a Drezdai Műszaki Egyetem Könnyűépítési és Műanyagtechnológiai Intézetében (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik der TU Dresden) kifejlesztett két teljesen új műanyag-feldolgozó eljárás, amelyet kidolgozói termopréselésnek, ill. termohabosításnak (Thermopressen, Thermoschäumen) neveztek el. Az új technológia megvalósítását az új hőre lágyuló fedőanyagok és az új habanyagok tették lehetővé. Ezzel az eljárással a hab tökéletesen kitölti a fedőrétegek közötti teret, a szendvicsszerkezetű építőelem pedig egyetlen lépésben alakul ki, ugyanabban a szerszámban képződik maga a szerkezet és a kész forma.

A termopréselés

A gyártószerszámba egymás után helyezik be az előmelegített sík formájú alkotókat: az alsó fedőanyagot (többnyire szállal erősített hőre lágyuló „szerves bádogot”), a magot képező egy vagy több nyomásálló habréteget, majd a felső fedőréteget képező újabb szerves bádogot. Szerszámzáráskor a rétegek összepréselődnek, felveszik a szerszám alakját. Szerszámnyitás után kiveszik a háromdimenziós kész formadarabot (4. ábra). A térbeli forma felvételekor a szerves bádogba beépült textilszerű erősítő váz deformálódik vagy redőződik, a szálak a szélső rétegekből az erős nyújtásnak kitett területek felé húzódnak el.

Ebben az eljárásban a szerves bádog- és habrétegek egymáshoz képest elmozdulnak. Az eközben fellépő súrlódást a hibátlan formaleképezés érdekében minimalizálni

kell. A nyomásálló hab igen nagy nyomást fejt ki a rétegek között, ami nagyon megnöveli a súrlódási erőket. *A megfelelő rétegpárok kiválasztása alapvetően befolyásolja a kész darab minőségét.*



4. ábra A termopréselés folyamata

Fedőanyagokból és köztes anyagokból ma igen nagy választék áll a feldolgozók rendelkezésére. A fedőanyagok lehetnek üvegszálal vagy szénszálal szerves bádogok, mátrixuk pedig készülhet biobázisú műanyagból is. A köztes rétegek sokfélesége is megkönnyíti azt, hogy a belőlük gyártott terméket „testre szabják”. A szerves bádog és a köztes rétegek alapanyaga a legkritikább esetben azonos, a határrétegek közötti tapadást ezért előzetesen mindig gondosan meg kell vizsgálni.

A fröccsöntéssel összehasonlítva kisebb nyomással, következőképpen olcsóbb szerszámmal végezhető el a formázás. A ciklusidőt elsősorban a szerves bádog lehülése szabja meg, amely másodperc nagyságrendű.

A termohabosítás

A termohabosításban a szerves bádog formázását a részecskehabosítással társították. Ezt az eljárást a drezdai kutatóintézet több más partnerrel együttműködve (Kurtz GmbH, Kreuzwertheim; Georg Kaufmann Formenbau AG, Busslingen, Svájc; Ruch Novoplast + Co KG, Oberkirch; Wobbe-Bürkle-Partner, Hitzacker/Elbe; Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH, Drezda) fejlesztette ki.

Ebben az eljárásban a szerszámba behelyezik az alsó és felső fedőréteget képező előmelegített és előformázott szerves bádogot, majd szerszámzárasítás után a két réteg közé gázzal töltött habosítható műanyag gyöngyöt injektálnak. Ezután forró gőzt fűjnek be, amitől a gyöngy felhabosodik, tökéletesen kitölti a két fedőréteg közötti teret, és velük is erős kötést képez.

A kísérletekben előformázott szerves bádoggal dolgoztak, de a későbbiekben megoldják a fedőrétegek formázását a gyártószerszámban a felhabosodó gyöngy nyomásának segítségével. A szükséges nyomás nagysága hasonló a termopréselésben alkalmazott nyomásával. Mivel a két fedőréteg között a gyöngyök viszonylag szabadon

mozognak, a maganyag és a fedőanyag között nem lép fel számottevő súrlódás. Ezzel az eljárással erőteljesebben lehet a szendvicsszerkezetet formázni, mint termopréssel, és a habszerkezetű mag cellái homogénebbek, nincsenek helyi összenyomódások.

A kész formadarab fizikai tulajdonságai erősen függenek a részecskehab tulajdonságaitól. Egy zárt cellás homogén habmagban pl. az egy irányból érkező energia minden irányban egyenletesen oszlik el. Az erőhatásra deformálódó habmag visszaalakuló képességétől függően mindig lehet számítani az eredeti forma helyreállítására.

A termohabosítás jelenleg még kísérleti fázisban van. Jelenleg egy újszerű szerkezéstechnika, alternatív gőzbeűvő technika és új nagy teljesítményű habanyagok fejlesztésére koncentrálnak.

A két új feldolgozási eljárással előállított szendvicsszerkezetekre, ill. termékekre jellemző a végtelen szálakkal erősített szerves bádoggal fedőrétegekből eredő nagy merevség és szilárdság, ezért ezek igen nagy terhelést képesek elviselni, ütéskor pedig habmagjuk elnyeli az energia nagy részét. A profilok belső részének kitöltése habbal a merevséget is növeli, ezért a fedőrétegek vastagságát akár 0,5–1 mm-ig lehet csökkenteni.

Összeállította: Pál Károlyné

Bitterlich, M.; Ehleben, M. stb.: Maßgeschneidert auf reaktives Polyamid 6 = Kunststoffe, 104. k. 3. sz. 2014. p. 80–84.

Spitzer, S.; Bürkle, E. stb.: FKV-Sandwichstrukturen beflügeln den Leichtbau = Kunststoffe, 103. k. 9. sz. 2013. p. 162–165.