

Különleges műszaki kompaundok és kompaundálási technológiák

A műanyagok sokféleségét a kompaundokkal tovább lehet növelni, egyben tulajdonságaikat módosítani. A műszaki célú keverékek berendezéseit és technológiáit tekinti át az alábbi összeállítás: a WPC kompaundokról, az elasztomerkeverékekről és a különlegességnek számító, fékbetét céljaira szolgáló kompaundokról olvashatnak.

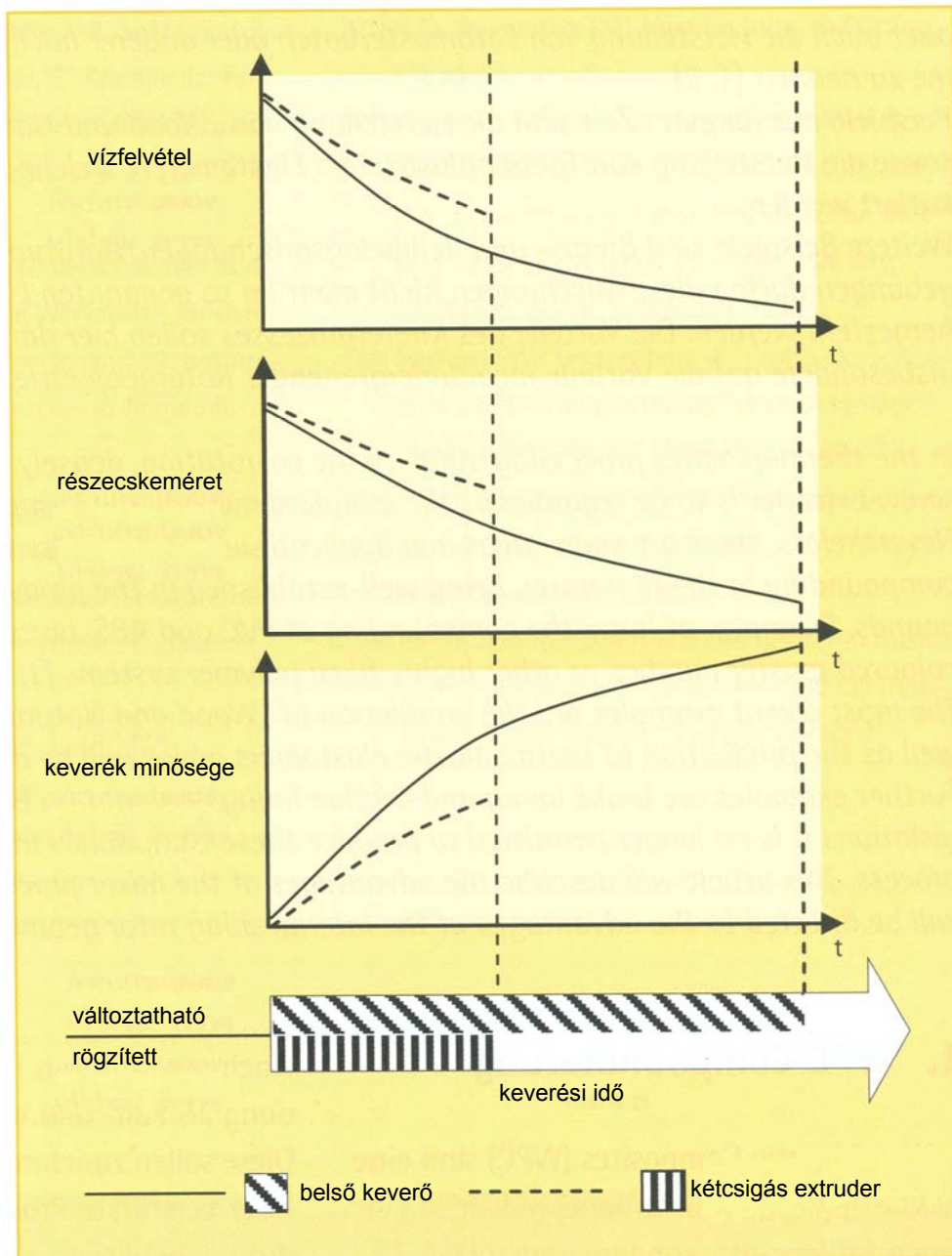
Tárgyszavak: fa-műanyag kompozitok (WPC); megújuló nyersanyag; elasztomerek; belső keverő; extruder; kompaundálási technológia.

Fa-műanyag kompozitok

A fa-műanyag kompozitok (elterjedt angol rövidítésük: WPC) a kompaundok viszonylag új osztályát alkotják, amelyek felhasználása (különösen az USA-ban) az átlagosnál gyorsabban nő. Egyik előnyük, hogy *részben megújuló nyersanyagból (faliszt, kender, len) készülnek*, mert ez bennünk az (erősítő) töltőanyag. Arra számítanak, hogy ezekkel az üvegszálas műanyagok egy része (pl. az autóiparban) lecserélhető lesz, és ezzel mind a termék tömegét, mind az árát csökkenteni lehet. Az anyagcsoport iránti érdeklődés miatt a feldolgozó-gyártók is igyekeznek speciális, erre a célra alkalmazható kompaundáló berendezéseket kifejleszteni. Kompaundokat egy vagy kétlépcsős eljárásban lehet előállítani. A második a hagyományos megoldás, ahol első lépésben elkészül a granulált kompaund, amelyet egy független, második lépésben feldolgoznak. A standard kompaundálási technikák között említhető az egy irányban vagy ellentétesen forgó kétcsigás extruder, a bolygócsigás (Planetwalzen) extruder, a gyűrűs extruder és az ún. fűtő-hűtő keverő (Heiz-Kühlmischer). A második lépés lehet fröccsöntés vagy extrúzió. Az úgynevezett egylépcsős vagy direkt eljárásban az előállítás és feldolgozás összekapcsolódik. Itt lényegében párhuzamos vagy kúpos szembeforgó kétcsigás extrudert használnak, de ezzel nem érhető el olyan mértékű homogenitás, mint a kétlépcsős eljárásban, ezért a termékek is valamivel „durvábbak”.

A WPC készítésekor problémát jelent a faliszt nedvességtartalma, ami a friss fa esetében az 50%-ot is elérheti. Ezért általában előszárítást kell alkalmazni, mert a legtöbb eljárás 12%-nál nagyobb nedvességtartalmat nem visel el a kompaundálás során. De jobb, ha ennél jóval kisebb a víztartalom. Leírtak azonban olyan, a nedvességtartalomhoz igazított csigakoncepciókat, amelyek alkalmazása lehetővé teszi a drága előszárítás elhagyását. A szárítás és az ugyancsak gyors reabszorpció (vízújrafelvétel) mellett problémát jelent a szálgeometria és szálminőség erős ingadozása, a nagy töltő-

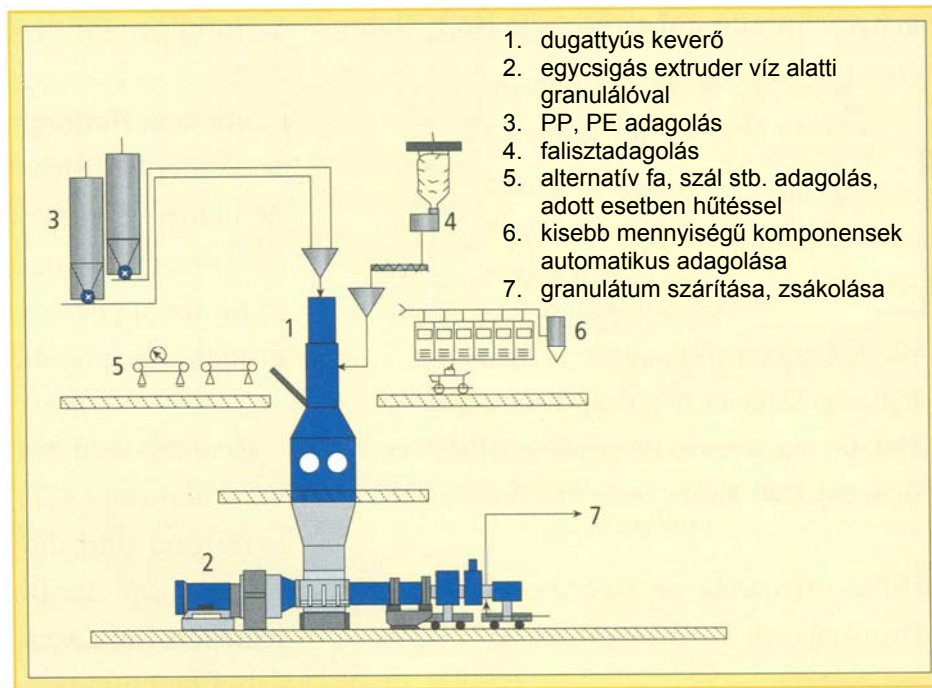
anyag-tartalom, amelyek mind megnehezítik az egyenletes száladagolást. Ezért gyakran a szálakat előzetes őrlésnek vetik alá és *0,5 mm-s vagy annál rövidebb szálakat* adagolnak a keverékhez. Ezek a kiegészítő műveletek és a hagyományos WPC gyártási eljárások viszonylag kis hatásfoka miatt a jelenleg elérhető WPC termékek nem



1. ábra A kétcsigás extruder és a belső keverő alkalmazásának összehasonlítása

hoznak olyan anyagi előnyt a felhasználóknak, mint ami elvileg elérhető lenne. A WPC termékek ideális kompaundáló-feldolgozó egységének olyan nagy flexibilitást

kell mutatnia, amennyire csak lehetséges. Ezt biztosítja például a dugattyús keverőben (Stempelknetter; ram type masticator) történő szakaszos feldolgozás. Ennek alkalmazása lehetővé teszi a keverési idő, a bevitt energia és a hőmérsékleti program rugalmas megválasztását. A variálható keverési idő és a nagy energiabevitel lehetővé teszi a fa-örlemény jobb kihasználását és a vízfelvétel csökkentését. A belső keverő alkalmazásának további előnyeit mutatja be az 1. ábra. A görbék lefutása tükrözi, hogy a belső keverő alkalmazásával lényegesen jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező kompaund jön létre.



2. ábra Egy dugattyús keverőre épülő WPC gyártósor felépítése

A 2. ábra mutat egy dugattyús keverőből, egy azt követő egycsigás extruderből és egy víz alatti granuláló berendezésből álló gyártósort. A természetes szálak adagolására többféle módszer is létezik. Szabaddon folyó porok esetében adagolócsigával ellátott big-bag ürítő állomás alkalmazható. Ha a töltőanyag ezen a módon nem adagolható, akkor közvetlenül a keverő szájnyílásába kell vezetni – például szállítószalagok segítségével – ez is könnyen automatizálható. Elképzelhető a vödrökkel való adagolás is, ezt használják például a fékbetétek gyártásánál. A keverő közvetlen táplálása nagy flexibilitást tesz lehetővé, hiszen pl. szállítószalaggal folyamatos szálakat, összetapadt szálhalmazokat vagy más módon nem jól adagolható műanyagokat (pl. reciklátumot) is adagolhatnak. A dugattyús keverő alkalmazásának másik előnye az, hogy a szálak szárítását össze lehet kapcsolni magával a kompaundálási folyamattal, az előszárítás elvben elhagyható. A szakaszos működés miatt a folyamat hozzáilleszt-

hető a változó nedvességtartalomhoz anélkül, hogy a konfiguráción változtatni kellene. Lehetséges pl. 20%-nál nagyobb nedvességtartalmú szálak feldolgozása is úgy, hogy ezzel csak a feldolgozási idő nő meg. Egy 70% száltartalmú PP kompaund esetében, amelyben a szál 15% körüli kiinduló nedvességtartalmú, a közepes ciklusidő mindössze 6–7 perc. Ez azt jelenti, hogy óránként több ezer kg kihozatal elérhető. Az egyes komponensek hozzáadása után kerül sor a szálak szárítására. A tulajdonképpeni kompaundálás során is lehetőség van a nedvességtartalom további csökkentésére. Mire a kompaund kikerül a keverőből, a nedvességtartalom már 1% alatti. Az előkeverék egy fűtött és szigetelt aknán keresztül egy egycsigás extruderbe jut, ez hozza létre a kellő nyomást a víz alatti granuláláshoz. A két utolsó lépés a granulátumok szárítása és zsákokba csomagolása. A technológia könnyen módosítható üvegszálalás kompaundokra is, tehát egy berendezéssel többféle termék, ill. termékcsalád is előállítható.

TPE/TPV feldolgozás

A hőre lágyuló elasztomerek (TPE) iránti igény folyamatosan nő, elsősorban azért, mert újrafeldolgozhatóságuk miatt az autóiparban egyre szívesebben használják őket. A hagyományos szerkezeti anyagokhoz képest előnyt jelent az olcsó feldolgozhatóság és a kisebb tömeg. Röviden megfogalmazva *a hőre lágyuló elasztomerek olyan anyagok, amelyek mechanikai jellemzői az elasztomerekre, feldolgozhatóságuk viszont a hőre lágyuló műanyagokra emlékeztet. Az 1. táblázat néhány gyakrabban előforduló TPE típust mutat be.* A blokk-kopolimerekben a kemény és lágy szegmensek egyetlen makromolekulában helyezkednek el. A feldolgozóhoz ezek a rendszerek már „kész” anyagként kerülnek, legfeljebb akkor kell őket kompaundálni, ha valamilyen speciális töltő- vagy erősítőanyagot, adalékot (színezéket, lágyítót stb.) szeretnének bevinni. Más a helyzet az elasztomerkeverékekkel, ahol a lágy és a merev fázis fizikailag elkülönül, és két különböző polimer keverékéről van szó. Itt általában hagyományos elasztomereket (pl. EPDM) kombinálnak hőre lágyuló polimerekkel (elsősorban PP-vel). Megkülönböztetünk nem térhálós és térhálós rendszereket – aszerint, hogy a diszpergált elasztomerfázis térhálós-e vagy sem. Amikor az elasztomerfázis térhálósodik, fázis inverzió megy végbe: a térhálós elasztomer diszpergált fázisban fordul elő a hőre lágyuló mátrixban. Az alkalmazási területtől függően a következő feladatok merülnek fel:

- a kopolimer módosítása az alkalmazási területtől függően,
- elasztomerkeverékek (TPE-O) előállítás,
- elasztomerkeverékek előállítás térhálósított kaucsukfázissal (ún. hőre lágyuló vulkanizátumok).

Az első feladatot rendszerint folyamatos keverőberendezésekkel (pl. egy irányban forgó kétcsigás extruderekkel) oldják meg. A második és harmadik feladat megoldásában is használnak folyamatos technológiákat. Érdekes alternatívát kínál azonban egy belső keverő – kétcsigás kihordóextruder rendszer is (esetenként fogaskerék-szivattyúval kiegészítve), amelyet a szokott granulálórendszer követ.

A hőre lágyuló elastomerek csoportosítása

Hőre lágyuló elastomerek	
Blokk-kopolimerek	Elastomerkeverékek
TPE-S (sztiroltípusok) pl. SBS, SIS TPE-E poli(éter-észter) TPE-A poli(éter-amid) TPE-U (poliuretánok)	Hőre lágyuló poliolefinok: nem térhálós = TPE-O térhálós = TPE-V egyéb (pl. fluorpolimer vagy szilikon alapján)

Vegyük példaként egy *PA66 alapú TPE-V rendszer* előállítását. Első lépésben a térhálósító kivételével összekeverik a komponenseket nagy nyíróerők mellett (max. 140 fordulat/min sebességen), amely során összekapcsolódik a hőre lágyuló fázis felolvadása és az elastomer diszperziója. A térhálósítót ezután kisebb fordulatszám mellett, kb. 290 °C-on adják a rendszerhez. Az utolsó lépésben bekövetkezik az elastomer térhálósodása és fázis inverziója. Az eloszlás mértéke és jósága határozza meg a keletkező anyag tulajdonságprofilját. A belső keverő után kapcsolt extruder és esetenként fogaskerék-szivattyú arra szolgál, hogy létrehozza a granuláláshoz szükséges nyomást. A kihordást meg lehet oldani egycsigás extruderrel is, ez is iparilag alkalmazott megoldás. A folytonos és szakaszos megoldás közti választáskor a következőkben részletezett szempontokat kell figyelembe venni.

Aprítás, adagolás és kihozatali teljesítmény

Az előaprítás általában viszonylag drága művelet (7–13 cent/kg). A nagy kristályosságú EPDM elastomereket viszonylag könnyű aprítani, és nem hajlamosak az összetapadásra. Az amorf anyagok esetében azonban célszerű az aprított anyagot erősen „púderezni”, azaz porral bevonni, hogy megakadályozzák az összetapadást. A kis viszkozitású amorf anyagok az erős hidegfolyási hajlam miatt az aprítás után roszszul tárolhatók, célszerű közvetlenül a kompaundálás előtt elvégezni az előaprítást. Ez azonban csökkenti a kihozatalt és növeli a fajlagos költségeket. A folyamatos technológiákban az adagolás helyét a berendezés tervezése során döntik el, és azon nem könnyű a későbbiekben változtatni. Mivel a csiga fordulatszáma az egész csiga mentén azonos, a teljesítménybevitel mértékét csak a csigageometria (gyúróelemek, továbbítóelemek, keverőelemek stb.) változtatásával lehet módosítani, ami azt jelenti, hogy minden csigageometria tulajdonképpen csak egy feladatra lesz ideális. Tekintettel arra, hogy a tartózkodási idő eloszlása a folyamatosan működő technológiák esetében elég szűk, a komponensek adagolási pontosságának nagyoknak kell lennie, mert a koncentráció ingadozása a későbbiek során nem tud kiegyenlítődni. A belső keverő fordulatszáma a technológia tetszőleges pontján, bármelyik komponens adagolásakor megváltoztatható. A technológus a keverési körülményeket tetszőlegesen hozzáigazíthatja a megoldandó feladathoz. Belső keverőkben a TPE-O rendszerek keverési ideje 4–6

perc, ami azt jelenti, hogy megfelelő keverőkkel 1,5–2,5 t/h kihozatali teljesítmény érhető el, ami valamivel nagyobb, mint a jelenlegi folytonos keverők 1–1,5 t/h-s teljesítménye. Ez is növelhető ugyan nagyobb átmérőjű csigák alkalmazásával, de az megnehezíti a termikus viszonyok kézbentartását.

Rugalmasság, diszpergálás

Belső keverővel könnyebb a feldolgozási technológiát hozzáigazítani az aktuális szükségletekhez, mint a folyamatos technológiával. Természetesen nem minden tekintetben előnyösebb a belső keverő, mint a kétcsigás keverőextruder. Az utóbbit például lényegesen könnyebb tisztítani, ha az egyik feladatról a másikra állnak át, és a kétcsigás extrudernek öntisztító hatása is van. A belső keverőben a rotornál és a kopólemezekon, valamint a portömítésekénél keverékmaradványok halmozódhatnak fel, ami megnehezíti pl. a színváltást. Ma már vannak olyan konstrukciók (pl. a **Harburg-Freudenberg GmbH** berendezései), amelyekben a tömítéseket pormentesen védik, és szükség esetén könnyen tisztíthatók.

A diszperzió minősége szempontjából a folyamatos és a szakaszos módszer egyenértékűnek tekinthető. A belső keverőben ugyan nagyobb a rés, mint az extruderben, de ezt kiegyenlítheti a nagy nyírófeszültség és az erős plasztikus deformáció hatása. A belső keverő előnye, hogy a diszpergálási fázis után le lehet csökkenteni a fordulatszámot, és a keverés további szakaszában anyagkímélő módon lehet folytatni a feldolgozást. A kétcsigás extrudernél a fordulatszám, a teljesítmény és a tartózkodási idő szorosan összefügg, ezért ott csak a csigageometria változtatásával lehet átállni egy másik technológiára. Az extruderben a belső keverőhöz képest jóval inkább szükség van arra, hogy a feldolgozásra váró alapanyagok egymáshoz illeszkedjenek – de a TPE-k esetében általában nem ez a helyzet. A folyamatos technológiáknál nagyon fontos a komponensek folyamatos és egyenletes adagolása, mert a gyenge disztributív keverés miatt az extruderben könnyebben kialakulhatnak inhomogenitások. Az extruder közel ideális radiális (sugárirányú) keverést biztosít, de gyengébb a tengelyirányú (axiális) keverés tekintetében. A keskeny „feldolgozási ablak” (az a feldolgozási paramétertartomány, amelyben ideális vagy közel ideális termék kapható) megnehezíti a nagy mennyiségű töltőanyag bevitelét (pl. a WPC kompaundoknál). Ugyancsak nehézséget jelent a nagy mennyiségű lágyító bevitele, mert a diffúziós folyamatok hőmérséklet- és időfüggők. A kétcsigás extruderek kihozatali teljesítménye 1 t/h körüli, de a tartózkodási idő általában nem több, mint 0,5 perc – ami lényegesen rövidebb, mint a belső keverők keverési ideje. Általánosságban elmondható, hogy a nagy mennyiségű, standardizált termékeknél a folyamatos technológiák előnyei jobban kihasználhatók, viszont ott, ahol az anyagminőségben, receptekben gyakori változás van, a szakaszos keverők nagyobb előnyt jelentenek.

Fékbetétek és csiszolókompaundok

2006 óta bizonyos EU irányelvek (89/391/EGK, 98/24/EK, 2000/1907/EK, 2000/2037/EK, 2004/37/EK) miatt nem, vagy csak igen korlátozottan használhatók

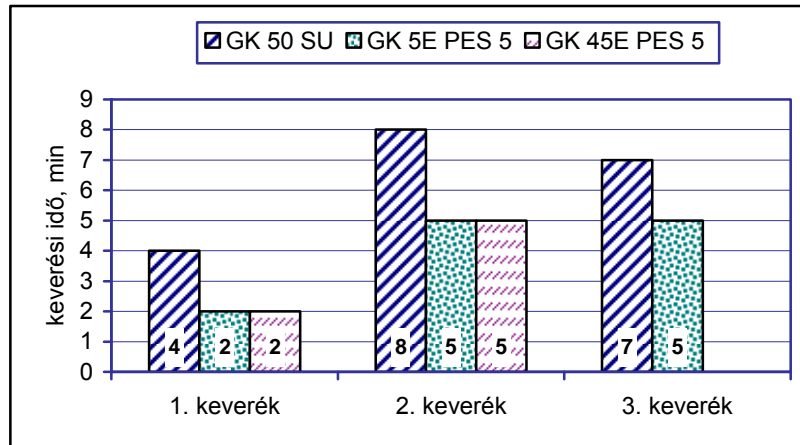
oldószeres bizonyos polimerek feldolgozásánál – amelyek különben egyszerűbb technológiát tettek lehetővé, de károsak a környezetre és az egészségre. Az oldószert ugyanis el kell távolítani, és ez azt jelenti, hogy a levegőt igen gondosan meg kell tisztítani az oldószermaradványoktól. Éppen ezért egyre több cég áll át ilyen esetekben a „száraz” keverési technológiákra. Itt különbséget kell tenni a dugattyús keverővel és a szilárdtestkeverőkben (Lödige, Eirich) végzett technológiák között. A dugattyús keverőkben lényegében egy őrlési folyamat megy végbe, amelynek köztes terméke egy szabadon folyó por, amelyet hideg vagy meleg préssel alakítanak át végtermékké. Az első olcsóbb.

Különbséget kell még tenni az egy- és a kétlépcsős keverési technológiák között; a végterméktől megkívánt tulajdonságok döntik el, hogy melyiket célszerű használni. A dugattyús keverőben a folyamat egylépcsős, és jobb keverési minőséget biztosít. Ha sok a polimer a receptúrában, a dugattyús keverő alkalmazása száraz keverési technológia esetében elkerülhetetlen. Ilyenkor a hideg présselési technológiát lehet használni. A porszerű keverékeknél, amelyeket a szilárdtestkeverők előállítanak, ez nem elegendő. A fék- és súrlódó betétek gyártásához használt kompaundok rendszerint sok töltőanyagot tartalmaznak, amelyből 10–20% szálal anyag. A felhasznált gyanták hőérzékenyek és a polimertartalom általában kisebb, mint a korábban tárgyalt elasztomerkeverékekben. Az adalékok beviteléhez a polimert legtöbbször plasztifikálják. A belső keverők jó hűtőfelület/kevert tömeg aránya és az egymásba hatoló rotorok között fellépő nagy nyíróerők lehetővé teszik a hőérzékeny gyanták feldolgozását – még akkor is, ha a polimertartalom nem több mint 2%. A dugattyús keverőkben az is megoldható, hogy a dugattyú mozgását a kialakuló nyomás függvényében vezéreljék, ami megkönnyíti a nagy száltartalmú rendszerek feldolgozását anélkül, hogy a szálak erősen degradálnának. További trükköt jelent kis mennyiségű (2%) víz hozzáadása, ami nedvesíti a töltőanyagot, növeli a viszkozitást és a falhoz való tapadást (hőátadást a hűtés során). Ha jól választják meg a használt gyantát, még az esetleges vízmaradványok sem feltétlenül hátrányosak: ezzel lehet pl. aktiválni a térhálósító rendszert. A 3. ábra mutatja, hogy az egymásba hatoló keverők esetében jelentősen csökkenthető a keverési idő és az adagolási lépések száma az érintkező keverőelemekhez képest.

Természetes felületeket imitáló kompaundok

Az erősödő környezettudatosság és a növekvő nyersanyagárak népszerűekké tették a megújuló nyersanyagokból készülő, vagy legalábbis ilyen komponenseket tartalmazó műanyagokat és kompaundokat. Egyelőre azonban a *kizárólag megújuló forrásokból készülő anyagok hőállósága sok esetben nem éri el az adott alkalmazáshoz szükségeset*. Ezért jó megoldást jelent, ha a hagyományos kompaundokban megszokott üvegszálakat és/vagy ásványi őrleményeket (legalább részben) természetes eredetű anyagokkal helyettesítik. A természetes szálaknak az üvegszálaknál kisebb sűrűsége a mai energiaárak mellett pl. az autóiparban nagy előnyt jelent. Fontos természetesen a mátrixpolimer megfelelő megválasztása is. A poliiolefinnek 0,9 g/cm³ körüli sűrűsége ugyancsak hozzájárul a tömegcsökkentéshez. Ha pl. egy 30% üvegszállal vagy ásványi

anyaggal erősített kompaundban kicserélik a szervesetlen anyagot természetes szálra, kb. 10% tömegcsökkenés érhető el. A **Schulman GmbH Polyfort NF** néven fejlesztett ki juta, len vagy kenderszálakat tartalmazó kompaundokat, amelyekből elsősorban autók beltéri elemei gyárthatók.



3. ábra Az egymásba hatoló és az érintkező keverőelemeket tartalmazó keverők keverési idejének és az adagolási lépések számának (berajzolt értékek) összevetése különböző fékbetétkompaundok esetében (a típusszámok a Harburg-Freunderberger Maschinenbau GmbH keverőire vonatkoznak)

1. keverék: kész keverék dobfékhez; 2. keverék: előkeverék tárcsafékhez; 3. kész keverék tárcsafékhez

A természetes anyagokból készülő termékek iránt tehát nő az igény, de ezek nem minden esetben alakíthatók olyan könnyen, mint a műanyagok, és a természetesnek tűnő felületek kialakítása sem túl könnyű feladat. Ugyancsak a Schulman jelentkező *Schulaterra* márkanevű termékekkel, amelyek természetes szálak mellett ásványi anyagokat és pigmenteket is tartalmaznak a különleges optikai hatások elérése érdekében. A hatás része az, hogy a mátrixpolimer átlátszó legyen (pl. PP-kopolimer, polikarbonát vagy PMMA). *A létrehozott termékeknek filc vagy gránit, esetleg márvány kinézetet lehet kölcsönözni.* Az átlátszatlan felületek mellett előállíthatók áttetsző jellegűek is, amelyek pl. háttérvilágításban kitűnően felhasználhatók. Az új kompaundok alkalmazási területe igen széles a háztartási és fogyasztói cikkektől a bútortiparon és a csomagoláson keresztül a sport- és szabadidőcikkeig. Ennek kedvez az a vásárlói igény, hogy egyedivé tegyék tárgyaikat és ezek az anyagkombinációk szinte végtelen variációs lehetőségeket kínálnak. A kompaundok feldolgozása ugyanolyan, mint bármelyik hőre lágyuló műanyagé, egyedül az újrafeldolgozhatóság korlátozott. Lehetséges feldolgozási módok a fröccsöntés és a lemezextrúzió (adott esetben hőformázással kombinálva). Az utóbbi különösen a bútortiparban használható. A fröccsöntésnél természetesen figyelembe kell venni mindazokat a sajátosságokat, amelyek minden töltött és erősített műanyag esetében jelentkeznek (szálorientáció, a

fröccsnyomás és a fröccssebesség hatása a töltőanyag és a mátrix szétválására, a felületminőségre stb.). Az erős optikai effektusok miatt kerülni célszerű az összecsapási zónákat a jól látható felületeken. Hasznos lehet olyan új technológiák alkalmazása, mint a *Variotherm* eljárás. A természetes szálak hőérzékenysége miatt a feldolgozási hőmérsékletet 200 °C alatt kell tartani.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Keuter, H., Kny, M., Limper, A., Rinker, M.: Neue Wege in der Compoundierung von Spezial-Elastomermischungen = GAK, 61. k. 8. sz. 2008. p. 509–515.

Druwen, Sven-M.: Der Natur auf der Spur = Kunststoffe, 100. k. 3. sz. 2010. p. 94–95.