

## A pultrúzió gyorsítható, és már hőre lágyuló mátrixszal is megy

A pultrúzió (szálitatásos profilhúzás) hagyományosan a hőre keményedő műanyagok feldolgozási technológiája, mert a térhálósítás előtt kis viszkozitású gyantákkal könnyen át lehet itatni az erősítő szálkötegeket. Újabban hőre lágyuló mátrixszal készített profilokat is gyártanak ezzel az eljárással. Ennek titka az *in situ* polimerizálás. A szálköteget kis viszkozitású monomerrel itatják át, amely a profilhúzás folyamata alatt a hozzáadott katalizátor és aktivátor hatására polimerizálódik.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; pultrúzió; szálitatásos profilhúzás; kaprolaktám; poliamid; anionos in situ polimerizáció.*

### Profilhúzás nagyobb sebességgel

Pultrudáláskor végtelen szálkötegeket – legtöbbször üvegszálakat, esetleg szén- vagy aramidyszálakat – reaktív gyantával (telítetlen poliészter-, poliuretán- vagy epoxigyantával) itatnak át, majd az impregnált szálkötegeket fűtött profilszerszámon húzzák keresztül. A szerszámból folyamatosan kilépő, hő hatására térhálósodott (kikeményedett) profilt megfogó pofák húzzák tovább a vágószerkezetig, ahol azt a szükséges hosszúságra darabolják.

A Krauss Maffei cég müncheni reakciótechnikai technikumában üzembe helyezték a vállalat második *iPul* típusú pultrudáló gyártósorát. Az első berendezést az elmúlt évben állították fel, azon lapos profilokat lehet gyártani. A második gépen vasbeton szerkezetekben alkalmazott acélrudakat helyettesítő üvegszálakos *Rebar* rudakat (1. ábra) állítanak elő. Az *iPul* típusú gyártósorok egyik újdonsága, hogy a többnyire nyitott impregnáló kád vagy vályú helyett zárt impregnáló szakaszt, „injekciós boxot” tartalmaznak, ami lehetővé teszi nagyon gyorsan reagáló poliuretán vagy epoxigyanta alkalmazását is.

A berendezésen epoxigyantával átitatott üvegszálkötegekből (rovingból) húzzák a profilokat, de terveik között szénszálakos profilok gyártása is szerepel. Ezeknek a profiloknak a betonacéllal szemben pozitív tulajdonságuk, hogy nem korrodálnak, ezért vékonyabb betonrétegbe ágyazhatók be. Emellett könnyebbek, egy fuvarral több profil szállítható, és az építkezés helyszínén is könnyebb őket kezelni. Nem elhanyagolható előnyük, hogy végtelen hosszúságban gyárthatók, és a gyártósor végén dobra is felte-

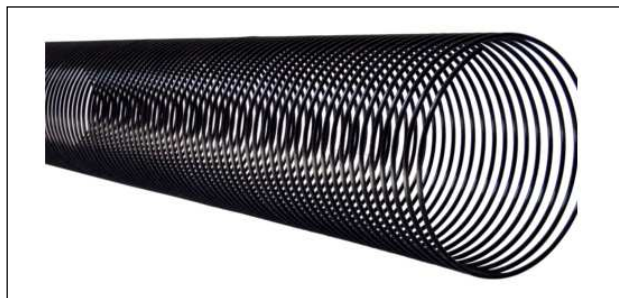
kerceselhető. Tipikus alkalmazási területük az út- és hídépítés, de nagyon jól beválhatnak korrozív környezetben felépített raktárépületekben is.

A pultrudálás egyik hátránya, hogy viszonylag lassú technológia, eddig minden erőfeszítés ellenére sem sikerült a 0,5 m/min gyártási sebességet növelni. Az *iPul* gyártósoron berendezés ennél 3–6-szor gyorsabb, percenként 1,5–3 m hosszú profilt lehet vele előállítani. Ehhez hozzájárult az Evonik cég is, amely a gyártáshoz egy speciális epoxigyantát fejlesztett ki; a pultrúzióban járatos Thomas Technik közreműködésével pedig speciális elhúzórendszert fejlesztettek ki, és megoldották az ún. rádiuszos pultrudálást, amellyel görbült formákat tudnak gyártani (2. ábra). Az új gyártósorok kialakítását a szerszámgyártó Alpex cég is segítette.

A két új *iPul* típusú gépnek akár hatszorosára növelhető termelékenysége, a nyitott impregnáló kád helyett alkalmazott zárt impregnáló szakasz és az elhúzás új módja újabb területeket nyithat meg a pultrúziós technika számára.



1. ábra A Krauss Maffei második *iPul* berendezésén gyártott üvegszálás Rebar rudak betonszerkezetek erősítésére



2. ábra Rádiuszos pultrudálással készített formadarab

## Szállítási profilhúzás hőre lágyuló műanyaggal

Terhelésnek kevésbé kitett alkatrészek gyártására – pl. az autógyártásban – nagyon jól beváltak a rövid szállal erősített hőre lágyuló műanyagok. A nagyobb vagy tartós terhelés alatt üzemeltetett szerkezeti elemeket ma is inkább szállal erősített hőre keményedő műanyagokból készítik. Ehhez az is hozzájárul, hogy az ilyen elemek erősítésére hosszú („végtelen”) szálkötegeket alkalmaznak, amelyek a hőre keményedő kis viszkozitású gyantákkal könnyen átíthatók.

A stuttgarti egyetem Műanyagtechnikai Intézetében (IKT, Institut für Kunststofftechnik) a poliamidgyártás egy már korábban ismert, speciális eljárását, a kaprolaktám ún. anionos polimerizációját felhasználva fejlesztették ki a *poliamid 6 mátrixú pultrudált profilok* gyártástechnológiáját. Az autógyártás számára előnyös a

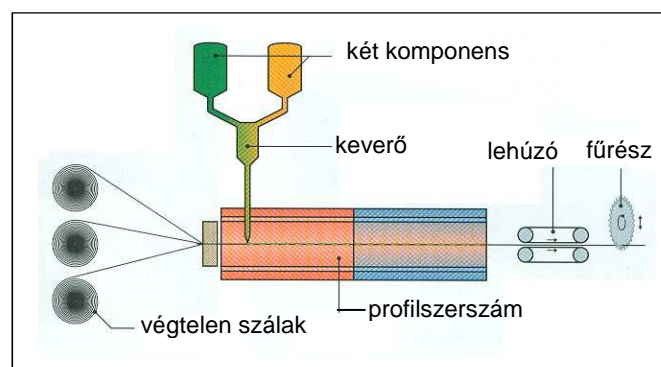
hőre lágyuló mátrix hegeszthetősége, jobb ütésállósága, emellett az újrahasznosítás lehetősége.

Az IKT eljárásának lényege, hogy térhálósítható gyanta helyett itt a PA 6 monomerjével, az (előzőleg aktivátorral és katalizátorral összekevert) ugyancsak kis viszkozitású kaprolaktámmal itatják át az üvegszálkötegeket (amelyek a végtermék térfogatának legalább 60%-át képezik), és amikor az impregnált szálakat áthúzzák a fűtött szerszámban, itt a térhálósodás helyett gyűrűfelnýtásos anionos *in situ polimerizáció* megy végbe. A profilszerszámból ez esetben is folytonos szilárd profil lép ki.

Azokban a próbálkozásokban, amikor hőre lágyuló műanyagokkal közvetlenül próbálták a rovingot nedvesíteni, legfeljebb 2 mm vastag szalagokat tudtak előállítani. Az *in situ polimerizációval 10 mm vagy annál vastagabb falú termékeket is gyártottak*; olyan profilokat, amelyek előállítása költségtakarékos, és amelyek nem csak szilárdak és merevek, hanem könnyűek is. Mivel a mátrix hőre lágyuló műanyag, a profilra könnyen fröccsenhető egy másik műanyag, de körülöntése sem okoz problémát. Ezáltal módosítható a profil formája vagy újabb funkcióval lehet ellátni.

Ahhoz, hogy ez az eljárás jól működjön, jól kell ismerni a használt anyagok kémiaiáját és az eljárás sajátosságait. A polimerizáció folyamatában felépülő PA láncok hosszát úgy kell szabályozni, hogy a képződő polimer mechanikai tulajdonságai megfelelők legyenek, továbbá, hogy a monomer maradéka  $>1\%$  legyen. A fejlesztők nagy számú kísérletet végeztek az optimális paraméterek meghatározására és a befolyásoló tényezők felderítésére. A szokásos tényezők (nedvesség, aktivátor és katalizátor koncentrációja; hőmérséklet) mellett kiderült, hogy nem elhanyagolható hatású a profilszerszám acéltípusa és a szálak felületére felvitt írező anyag sem.

A gyártási technika vázlatát a 3. ábrán látható. A rovingokat egy előmelegítő és szortírozó szerszámon vezetik keresztül, majd belépnek a profilt adó szerszámba, amelynek az első szakaszában injektálással impregnálják őket a megfelelő adalékokkal összekevert kaprolaktámmal. A szerszám első felét fűtik, második felét temperálják (túlmelegedéskor hűtik). Mire a szálköteg végighalad a szerszámon, lejátszódik az *in situ polimerizáció*. A gyártósort lehúzó szerkezet és méretre vágó fűrész egészíti ki.



3. ábra Az IKT *in situ* polimerizációval működő pultrúziós gyártósorának vázlatát

Gyártáskor oda kell figyelni arra, hogy a kaprolaktám, a katalizátor és az aktivátor, ill. ezek keveréke ne érintkezzen nedvességgel. Ezért ebben a technológiában nem lehet nyitott impregnáló fürdőt alkalmazni, sőt az impregnálás terében és az előkészítő tartályban célszerű védőgázt alkalmazni.

A gyártósoron különböző formájú profilokat lehet gyártani és különböző erősítőszálakkal lehet dolgozni. Mivel maga a szerszám is modulokból épül fel, nem csak a fűtőzóna, hanem a kaprolaktám bevezetési nyílásának helye is változtatható.

A pultrudálás eredménye erősen függ az erősítőszáltól és attól is, hogy milyen írező anyagot vittek fel a szál felületére. Az üvegszálakat legtöbbször dobra felteker-cselve, enyhén megcsavart kötegek, rovingok formájában szállítják, a benne lévő egyedi szálak átmérője általában 16 vagy 20  $\mu\text{m}$ . A szállal erősített (nem pultrudált) végtermékek mechanikai tulajdonságai erősen függenek a szál átmérőjének és hosszának viszonyától. Mivel a pultrudált termékekben a szálak (elméletileg) végtelenek, a szálátmérő hatása itt elhanyagolható.

Számos vegyület gátolja az anionos polimerizációt. A kísérletekben biztosak akartak lenni abban, hogy a mátrix és a szálak között jó lesz a tapadás, és hogy a szálak könnyen kezelhetők lesznek, ezért az üvegszálakat egységesen egy megbízható speciális írező anyaggal kezelték.

Miután bebizonyosodott, hogy az új gyártósoron elő lehet állítani végtelen hosszú üvegszállal erősített hőre lágyuló profilokat, szisztematikus vizsgálatokat végeztek a paraméterek (elhúzás sebessége, reakciózóna hőmérséklete) hatásának meghatározására. Minden esetben 82 % (m/m) (~60 % (V/V)) üvegszállal dolgoztak. A legkevesebb maradék monomert és a legmagasabb hajlítómódulust 160 °C-kal és 2 mm/min húzási sebességgel készített mintákon mérték.

Ezekkel a paraméterekkel sikerült olyan stabil gyártási folyamatot előállítani, amellyel a további vizsgálatokhoz próbatesteket tudtak gyártani.

Összeállította: Pál Károlyné

Schmidhuber, S.: Die neue Licht auf dem Bau. Pultrudierte faserverstärkte Bewehrungsstäbe überzeugen durch Korrosionsbeständigkeit, geringes Gewicht und hohe Zugfestigkeit. = K-Zeitung, 2018. 1-2, sz. jan. 28. p. 13.

Krauss Maffei: iPul pultrusion systems. More speed in pultrusion. = [https://www.kraussmaffei.com/media/files/kmdownloadlocal/rpm-en/RPM\\_FL\\_iPul\\_en\\_17.pdf](https://www.kraussmaffei.com/media/files/kmdownloadlocal/rpm-en/RPM_FL_iPul_en_17.pdf)

Krauss Maffei: Pultrusion – Radius Pultrusion = <https://www.kraussmaffei.com/rpm-de/pultrusion.html>

Epple, S.; Bonten, Ch.: Stabile Leichtgewichte. Endlosfaserverstärkte Thermoplast-halbzeuge mit großem Materialquerschnitt = Kunststoffe, 107. k. 3. sz. 2017. p. 104–106.