

Könnyebb és erősebb szerkezetek szállal erősített műanyagokból

A szállal erősített műanyagok valódi műszaki anyagok, amelyek nagyon sok területen egyenértékű helyettesítői a fémeknek. Mintegy 50 éve használják őket, és ez idő alatt mind az alapanyagok, mind pedig a feldolgozási technológiák sokat fejlődtek. Alkalmazásuk a repülőgépgyártásban, az űrtechnikában, a járműiparban nélkülözhetetlen, de más iparágakban is nehezen lennének meg nélkülik.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; szállal erősített műanyagok; kompozitok; technológiák; járműipar; repülőgépgyártás; hajógyártás.

Szállal erősített műanyagokat kb. 50 éve dolgoznak fel – hőre keményedő poliésztergyantával átítatott üvegpaplant, ún. SMC-t (sheet moulding compound) és ugyanilyen gyantával kevert üvegszálat, ún. BMC-t (bulk moulding compound) az 1960-as évek óta, hosszú üvegszállal erősített hőre lágyuló műanyagokat, GMT-t (Glasfasermatte) vagy LFT-t (long-fibre reinforced thermoplastics) az 1980-as évek óta. A szállal erősített műanyagokat azokban az iparágakban alkalmazzák, ahol a szerkezeteknek könnyűnek és erősnek kell lenniük. Ilyen a repülőgépipar, az űrtechnika, a járművek és szállítóeszközök gyártása, az építőipar, az elektrotechnika, az elektronika, az orvostechika, a hajóépítés, a szélenergia hasznosítása, a sport- és szabadidőcikk gyártása. *A szállal erősített műanyagok tömegegységre vetített merevsége és szilárdsága meghaladja a fémekét, az azonos térfogatú szálerősítésű műanyag szerkezet 25%-kal könnyebb az alumíniumból, 60%-kal pedig az acélból készített hasonló szerkezetnél.*

A polimermátrixot erősíthetik rövid vagy hosszú szállal, a szál anyaga pedig lehet üveg, szén, ásványi anyag, műszál (pl. aramid), növényi vagy állati eredetű rost. A szállal erősített szerkezet a természetben is megtalálható. Jó példa erre a bambusz, amely hosszú rostjai révén rendkívül könnyű és rendkívül erős.

Európában 2006-ban 1,1 millió tonna üvegszálas műanyagot dolgoztak fel, 6,2%-kal többet, mint az előző évben. 2007-ben 6% körül volt a növekedés. A szállal erősített műanyagok közül egyre nagyobb az igény a *szénszálas kompozitok* iránt, mert ezek feldolgozása jól automatizálható.

A hőre keményedő gyanták közül mátrixként elsősorban telítetlen poliésztergyantát (PU), epoxigyantát (EP) vagy fenol-formaldehid gyantát (PF), a hőre lágyuló műanyagok közül polipropilént (PP), poliamidot (PA) vagy poli(butilén-tereftalát)-ot (PBT) alkalmaznak. A mátrix feladata a szerkezetre ható terhelés továbbítása a szálak felé, hogy azok szilárdságát optimálisan ki lehessen használni.

Az elmúlt 60 évben sokféle új anyagot és feldolgozási technológiát fejlesztettek ki a szállal erősített műanyagok szélesebb körű alkalmazhatóságára. Ezekről az *1. táblázat* ad áttekintést. A hőre keményedő gyantával készült szerkezeti elemek előállításában egyre nagyobb szerepet kapnak a magas műszaki színvonalú eljárások, pl. az autoklávus és a prepregtechnikát felhasználó eljárások.

Mellettük azonban széles körben alkalmazzák a kézi laminálás elvén alapuló „ősi” módszer korszerű változatait is, amelyek a táblázatban „injektációs eljárások”-ként szerepelnek.

A sínjárművek külső és belső burkolóelemeinek jelentős része ma hosszú vagy „végtelen” üvegszállal erősített hőre keményedő fenol-formaldehid vagy poliésztergyantából készül, többnyire még most is *kézi laminálással*. A nyitott szerszám belső felületére először a külső hatásoknak ellenálló fedőréteget viszik fel, majd váltakozva üvegszálal félkész terméket (nemszött paplant vagy szött textilt) és folyékony gyantát fektetnek rá. A gyanta behatolását a vázanyagba hengerekkel vagy más átítatódást gyorsító eszközökkel segítik.

Az *injektációs eljárások* nagy előnye a kézi rétegeléssel szemben a környezet-terhelés csökkentése. Ezek egyik népszerű változata a klasszikus *RTM eljárás*, amelyben nyomás vagy vákuum alatt itatják át a vázanyagot a gyantával, és amelyben a hőmérsékletet tetszés szerint lehet szabályozni. A vákuumos módszer alkalmas arra, hogy viszonylag egyszerű eszközökkel készítsenek kis sorozatban nagy felületű, egyedi igényeket kielégítő szerkezeti elemeket. A főképpen a szénszálal anyagok feldolgozásában terjedő automatizálás lehetővé tette a nagy sorozatok rövid ciklusidejű gyártását, aminek elsősorban az autógyártás látja hasznát.

Vasúti kocsikban, villamosokban beltéri használatra jól beváltak a nagy darabszámban igényelt, *SMC*-ből sajtolt burkolóelemek. Sajtolásakor a kezelhetőség érdekében félszilárd viszkozitásúra beállított gyanta a meleg szerszámban először folyóssá válik, kitölti a szerszámüreget, majd nyomás és hő hatására térhálósodik. Az eredetileg hőre keményedő gyantákra alapozott módszernek ma már van hőre lágyuló változata is, a *GMT-eljárás*, amelyben üvegpaplannal erősített polipropilént dolgoznak fel sajtolással.

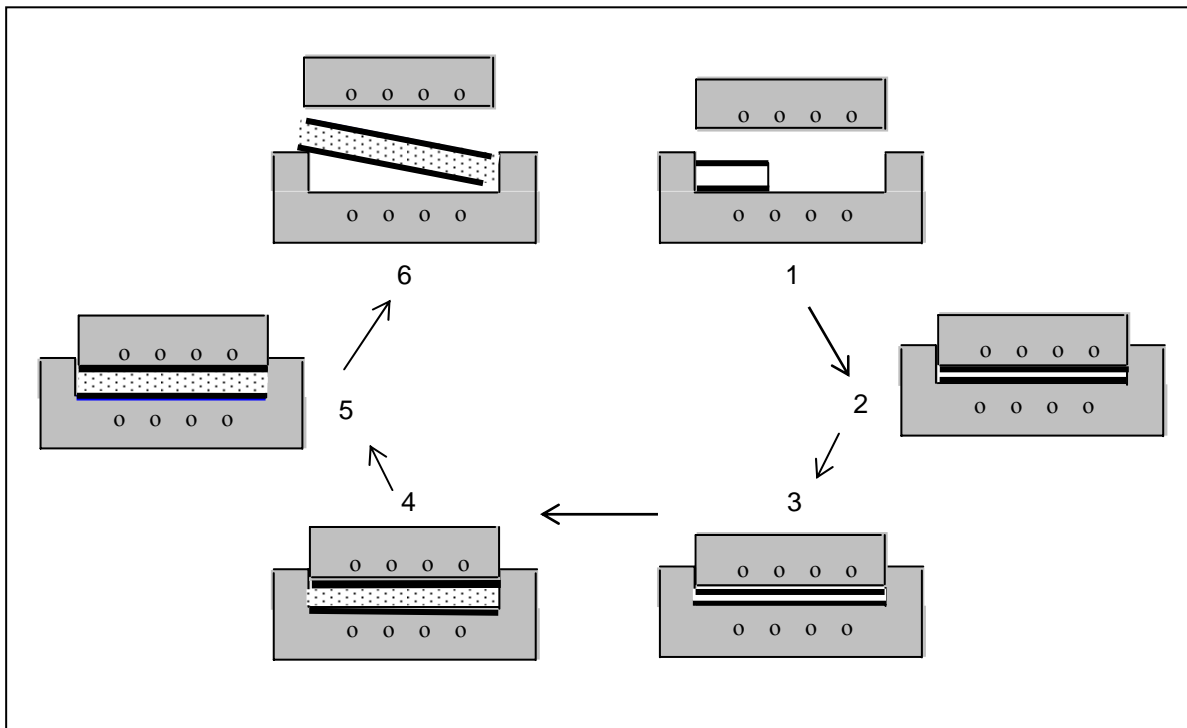
Az *SMC* eljárásnak egy új módját fejlesztették ki az aacheni Műanyagfeldolgozó Intézetben (**IKV, Institut für Kunststoffverarbeitung**). Egyetlen sajtolási eljárásban *SMC* alapanyagokból szendvicsszerkezetű terméket készítenek, amely két tömör fedőlap között habosított köztes réteget tartalmaz. Az eljárást *OSS-SMC (one-step-sandwich-SMC)* eljárásnak nevezik. Ezzel a szerkezettel tovább csökkentik a termékek tömegét a szilárdság csökkenése nélkül. Az eljárás lényege, hogy a sajtolószerzámba három *SMC*-réteget töltenek; amelyek közül csak a középső réteg tartalmaz habosítószer. Szerszámozáskor a betöltött anyag a rétegződés megtartása mellett kitölti a szerszámüreget, és a meleg szerszámfal hatására először az alsó és a felső réteg térhálósodik. Csak ezután indul meg a hő hatására a középső réteg habosodása, amelyet ugyanennek a rétegnek a térhálósodása követ. Szerszámnyitáskor a habmagvú szendvicsszerkezetet készen veszik ki a sajtológépből. Az eljárás menetét az *1. ábra* mutatja. A tömör alsó és felső réteg sűrűsége $1,9 \text{ g/cm}^3$ körül van. A habmag sűrűsége

A szállal erősített műanyagok feldolgozására kifejlesztett fontosabb eljárások áttekintése

Eljárások	Jellemzők	Termékek
Hőre keményedő mátrixszal		
Kézi laminálás, gyantával kevert szál szórása	a legrégebbi és legegyszerűbb eljárás kis és közepes sorozatok nyitott szerszámban gyártására; a PU vagy EP-gyantát váltakozva rétegelik a félkész szálal termékkel; részlegesen gépesített változatában a gyanta+térhálósító+vágott szál keverékét pisztollyal szórják a felületre	vitorlázó repülő, repülőgépmoდეllek, hajótestek, tartályok, prototípusok
Autoklávus eljárás	az ún prepreg (formázható sík félkész termék térhálósítható gyantából és erősítőszálból) leggyakoribb feldolgozásmódja; nyomás alatti tartályban (az autoklávban) vákuumfólia alatt max. 20 bar nyomás és max. 200 °C alatt térhálósítják	bonyolult formájú, erős mechanikai és termikus terhelésnek kitett elemek a légi- és űreszközök vagy a versenysport számára
Vákuumsajtolás	a prepregből vagy a kézi laminálással kialakított formadarabot vákuumfólia alatt egyszerű szerszámban térhálósítják; kis sorozatokhoz alkalmazható	könnyű és merev építőelemek; szövettel erősített szilárd gyanta fedőréteg felragasztása könnyű támasztóelemekre
SMC-sajtolás	sajtoló- vagy transzfereljárás SMC prepregekhez (UP gyantával átítatott üvegszálpaplanokhoz)	autóalkatrészek (reflektor, hengerfejfedél, csomagtartófedél, tehergépkocsi vezetőfülkéje)
Meleg sajtolás, nedves sajtolás	sajtolóeljárás gyantával átítatott szálal féltermékek formázására magas hőmérsékleten; nagy sorozatokhoz alkalmas; stabil szerszám szükséges hozzá	kis és közepes méretű építőelemek gyártása közepes és nagy sorozatban valamennyi iparág számára
Injektálásos eljárások (RTM = resin transfer moulding, gyanta transzferöntése) a) poliuretán feldolgozása b) R-RIM (reinforced reaction injection moulding) c) S-RIM (structural reaction injection moulding)	a) a folyékony reaktív gyantát kétrészes zárt és stabil szerszámba előre behelyezett száraz vázanyagra injektálják nyomás alatt b) a folyékony, nagyon reaktív polioliol-poliizocianát keverékét az üvegszállal együtt a keverőfejből a szerszámba fröccsentik, ahol végbemegy a polikondenzáció; közepes sorozatok gyártására alkalmas c) a „b” eljáráshoz hasonló, de a külön megerősítendő helyeken a szerszámba a reakciókeverék bevitele előtt külön erősítőanyagot helyeznek	alkatrészek az autóipar és az elektrotechnika számára; természetes szállal erősített és textillel borított utastéri elemek; szabadidős használatra szánt csónakok; RTM eljárással készített szélerőművi építőelemek

Eljárások	Jellemzők	Termékek
Vákuuminjektálás (hagyományos)	Nyomás helyett vákuummal itatják át az erősítőanyagot; az ellenforma nyújtható fólia is lehet	szélrotorok, vitorlášhajók, repülőgépelemek
SLI vákuuminjektálás (SLI = single line injection)	az injektálásos és az autoklávós eljárás kombinációja; a gyantát az autoklávon belül a száraz vázanyagba injektálják	nagy teljesítményű társított szerkezetek repülőgépekhez
Száltekerceselés	a gyantával nedvesített szálát gépi berendezésen forgó magra tekerceselik, amely meghatározza a kész darab formáját	hengeres, kúpos vagy forgásszimmetrikus elemek gyártása (tartályok, csövek, tengelyek, hordozórakéta)
Rotációs eljárás	kívülről befelé laminálás (max. 200 g-ig, max. 6 m hosszú) fűthető, forgó hengerben; a gyanta a centrifugálás révén itatja át az erősítőanyagot; van gyanta+szál keverékének beszórásával alkalmazott változata is	főleg hengeres üvegszálás elemek (csövek, tartályköpenyek), ritkábban enyhén kónuszos formadarab (pl. árboc)
Szállításos profilhúzás (pultrúzió)	a végtelen szálköteget gyantával itatják át, majd profilszerszámban áthúzva térhálósítják. Kétdimenziós profilok előállítására alkalmas közepes vagy nagy sorozatban. Van nyitott és zárt változata	profilok
Hőre lágyuló mátrixszal		
GMT sajtolása (GMT = glasmatten-verstärkte Thermoplaste)	az üvegpaplannal erősített PP-t kézzel vagy adagolóberendezéssel helyezik a fémből készített szerszámba, majd max. 180 °C-on formára sajtolják	autóalkatrészek (reflektor, hengerfejfedél, csomagtartófedél, tehergépkocsi vezetőfülkéje)
Plasztikáló sajtolás	a hosszú üvegszálakat tartalmazó granulátumot plasztikálóberendezésben ömlesztik meg és ilyen formában juttatják a fémszerszámba, majd formára sajtolják; kis vagy közepes sorozatok gyártására alkalmas	autóalkatrészek (műszerfal, frontelem, légkamra)
BMC fröccsöntése	az eredeti fröccsöntés hosszú üvegszálás granulátumot (vagy nedves tollhoz, ill. savanyúkáposztához hasonló) gyanta-szál keveréket alkalmazó változata; a betáplálást hengerszékről közvetlenül vagy tömőfa segítségével végzik	jó és nagyon jó minőségű háromdimenziós formadarabok valamennyi iparág számára
LFT fröccsprégelése	a hosszú szállal erősített granulátum ömledékét résnyire nyitott szerszám alsó felébe töltik, majd a szerszám zárásával „prégelik” formára nyomás alatt az anyagot	nagy szilárdságú, kevésbé deformálódó, igen nagy felületű elemek (gépkocsik elülső eleme, alvázborítás, műszerfal)

a habosítószer (pl. nátrium-hidrokarbonát) mennyiségének növelésével csökken, a nyomás növelésével nő. Ezért a kísérletek során elő tudtak állítani 1 g/cm³ sűrűségű habmagot 3% NaHCO₃ adagolásával 3 bar nyomás alatt vagy 5% NaHCO₃-mal és 5 bar nyomással is. De míg az előbbi mintában kisebb számú, de nagyobb térfogatú pórusok keletkeztek, az utóbbiban (a nagyobb mennyiségű habosítószer erőteljesebb gócképző hatására) kisebb térfogatú, de nagyobb számú pórus, azaz finomabb pórus-szerkezet alakult ki. A teljes szendvicsszerkezet sűrűsége optimális körülmények között 1,4 g/cm³-re is csökkenthető.



1. ábra Habosított magot tartalmazó szendvicsszerkezet gyártása
SMC technikával egyetlen lépésben

- (1. lépés: az anyag behelyezése a szerszámba, a középső réteg habosítóanyagot tartalmaz; 2. lépés: szerszámzárás, az anyag szétterül a szerszámban; 3. lépés: az alsó-felső réteg térhálósodik; 4. lépés: a középső réteg felhabosodik; 5. lépés: a felhabosodott mag térhálósodik; 6. lépés, a szerszám kinyílik, a kész szendvicset kivesszük.)

Az autógyártás új kedvencei a hosszú (4,5–50 mm-es) szállal erősített hőre lágyuló műanyagok. A Daimler cég pl. ilyenekből gyártja Vito és Viano NCV5 típusú gépkocsijainak elülső paneljét. Ehhez a Ticona cég Celstran és Compel márkanévű hosszú szálas granulátumait használja fel, amelyeket PP, PA66, PA6, PBT vagy POM mátrixszal kínál. Az erősítőszál lehet üveg, aramid vagy szénszál. A granulátumot pultrúziós eljárással állítják elő, de a hőre keményedő gyantákkal ellentétben itt nem kész profilt (pl. horgászbót) kapnak, hanem hőre lágyuló műanyagba ágyazott végte-

len üvegszálköteget, amelyet hosszú granulátummá aprítanak fel. Az ilyen granulátum párhuzamosan rendeződött szálakat tartalmaz, amelyek nagyon erősen tapadnak a mátrixhoz. A granulátumot hagyományos fröccsöntéssel dolgozzák fel (így készítenek pl. ajtóelemeket) vagy fröccsprézeléssel (amelyet nagy felületű, lapos formadarabok, pl. ülésvázak, alvázborítás készítésekor alkalmaznak).

A repülőgépgyártásban a legszigorúbbak a biztonsági előírások miatt a követelmények, de emellett itt is törekszenek a tömeg és a költségek csökkentésére. Az új *Airbus A380* tömegének negyedét pl. a szállal erősített műanyagok teszik ki, amelyeknek köszönhetően a gép tömege 40%-kal, a költségek 30%-kal lettek kisebbek. A gépen mintegy 1000 alkatrészhez összesen 2,5 tonna poli(fenilén-szulfid) (PPS) alapú szállal erősített műanyagot (a **Ticon**a cég *Fortron* márkanévű anyagát) használtak fel. Ennek az anyagnak nagy az ütésállósága, a hajlítószilárdsága, a méretállandósága, ellenáll az olyan agresszív közegeknek, mint az üzemanyag, a motorolaj, a hidraulikaolaj és nem utolsó sorban nehezen ég, kevés füstöt fejleszt, magas az éghetőséget jellemző oxigénindexe, ezért különösen alkalmas légi járművekhez. *A PPS kompozitból gyártott alkatrészek nemcsak könnyebbek, de feldolgozásuk 20–25%-kal olcsóbb, mint ha alumíniumból készítenék őket. Fortronból és szénszálból készített Brilon nevű termékből laminálással állítják elő a Tepex márkanévű félkész lemezeket, amelyekből robusztus, mégis könnyű elemek gyárthatók hőformázással. A repülőgép üléseit kényelmesebbé tevő gerinctámasz (Lendenwirbelstütze) pl. 54%-kal könnyebb, ha alumínium helyett Tepex-ből készítik. Az Airbus 155 ülését figyelembe véve az ülésenként 130 g-os tömegcsökkenés összesen 72 kg-mal teszi könnyebbé a repülőgépet. PPS-sel peremezik az A380-as két 26 m hosszú tartósíkját, és ebből az anyagból vannak a merevítőbordák és profilok is.*

Az Airbus versenytársa, a **Boeing** sem mond le a kompozitok használatáról. Hivatalosan „álomgépnek” (*Dreamliner 787*) nevezett repülőgépének 50%-a műanyagkompozit. Emiatt a gépet házon belül „plasztikbombázó”-nak becézik.

Összeállította: Pál Károlyné

Diebold, K.: Leichtigkeit Stärke beweisen. = *Plastverarbeiter*, 59. k. 12. sz. 2008. p. 74–77.
Michaeli, W.; Lippe, D.: Weight reduction of SMC parts. *SMC-sandwich structures*. = *Composite Materials*, 2007. 2. sz. p. 36–38.

Röviden...

Szénnanocsöves kompaundok

A **PolyOne** kompaundálócség (Cleveland, Ohio, USA) és a **Zyvex Performance Materials** (Columbus, Ohio, USA) szénnanocsövekkel töltött műanyagkompaundokat fejleszt, amihez a **Stratek Plastic Ltd.** (Wallingford, Connecticut, USA) Tek-Mix technológiáját alkalmazzák. Ezzel a nanocsöveket egyenletesen lehet elosztatni a műanyagmátrixban. A **Zyvex** az együttműködésben a szénnanocsöveket gyártja, a **PolyOne** a kompaundok gyártási feltételeit és az értékesítési hálózatát biztosítja.

O. S.

13.03.2009. KI (213027)