



A5

Változat: 5

Kiadva: 2014. február 11.

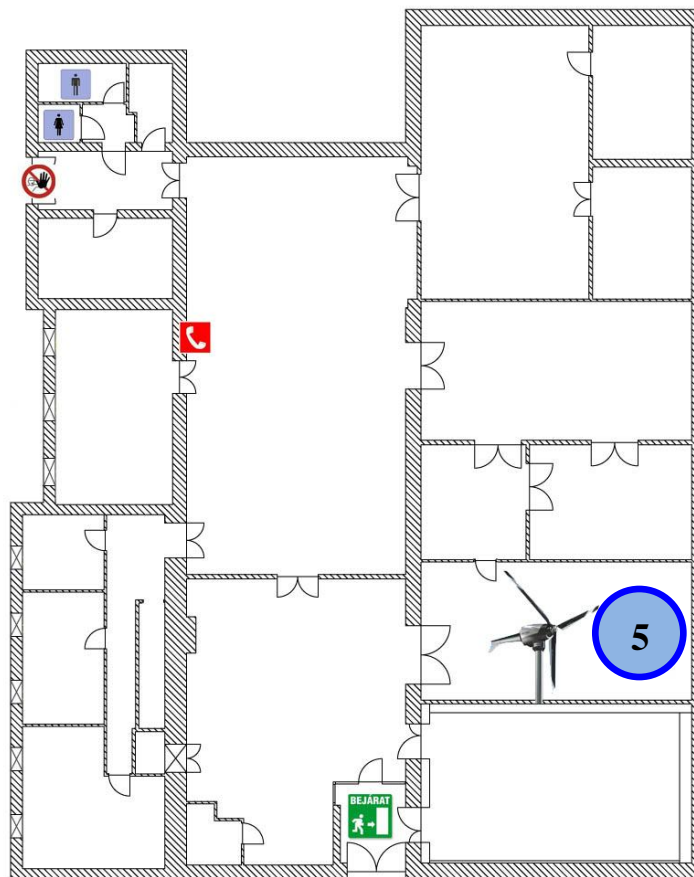
**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK**

Kompozitok

HŐRE KEMÉNYEDŐ POLIMER MÁTRIXÚ KOMPOZITOK

**A JEGYZET ÉRVÉNYESSÉGÉT A TANSZÉKI WEB OLDALON KELL ELLENŐRIZNI!
WWW.PT.BME.HU**

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE



TARTALOMJEGYZÉK

1. A GYAKORLAT CÉLJA	3
2. ELMÉLETI HÁTTÉR	3
2.1. A POLIMER KOMPOZITOK ERŐSÍTŐ ANYAGAI.....	4
2.2. A SZÁLAK KISZERELÉSI FORMÁI	7
2.3. A POLIMER KOMPOZITOK MÁTRIX ANYAGAI	8
2.4. POLIMER KOMPOZIT TERMÉK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁI.....	11
2.5. SZENDVICSSZERKEZET	14
3. A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK	16
4. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	16
5. AJÁNLOTT IRODALOM.....	16
MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	17

1. A gyakorlat célja

A gyakorlat során szálerősítésű, hőre keményedő mátrixú termék kerül elkészítésre különféle struktúrájú üvegszálal erősítőanyagból és poliészter gyantából. A kompozit terméket a hazai iparban legelterjedtebb és legegyszerűbb technikával, a kézi laminálás technológiájával állítjuk elő.

2. Elméleti háttér

A mérnöki gyakorlatban háromféle szerkezeti anyagcsoportot különböztetünk meg: fémek, polimerek, és kerámiák. A kompozit olyan szerkezeti anyag, amely két vagy több anyag társításával jön létre.

A kompozitok a műszaki célú szerkezeti anyagok legkorszerűbb családját képezik. Kialakításuk abból a felismerésből alakult ki, hogy az alkatrészek terhelése a legritkább esetben azonos a tér minden irányába. A legtöbb műszaki alkotásban, gépben, gépalkatrészben, építményben vagy bármely használati eszközben az igénybevétel, a terhelés jól meghatározott irányvonalak mentén érvényesül. Ezen erővonalak irányában gyakran nagyságrendekkel nagyobb szilárdságra, merevségre van szükség, mint más irányokban. Ez indokolja a homogén szerkezeti anyagok megerősítését nagyobb szilárdságú és/vagy moduluszú erősítőanyagokkal, a teherviselés kitértetett irányában.

A kompozit:

- többfázisú (alkotóiban fázishatárokkal elválasztott)
- összetett: több anyagból álló szerkezeti anyag, amely
- erősítőanyagból (tipikusan szálerősítésből) és
- befoglaló (beágyazó) anyagból: mátrixból áll,

és jellemzi, hogy

- a nagy szilárdságú és rendszerint nagy rugalmassági moduluszú (szálas) erősítőanyag és a
- rendszerint kisebb szilárdságú mátrix között
- kitűnő kapcsolat (adhézió, tapadás) van, amely
- a deformáció, az igénybevétel magas szintjén is tartósan fennmarad.

Az erősítőanyag szerepe, hogy biztosítsa a megfelelő merevséget és szilárdságot. A mátrixanyag szerepe, hogy összefogja a szálkötegeket, védje a szálakat a külső környezeti és fizikai behatásoktól, ill. biztosítsa a terhelés eloszlását.

Kompozit: a polimer mátrixú kompozit olyan szilárd anyagot jelent, amely legalább két alkotóból áll: az egyik a kisebb szilárdságú, és kis sűrűségű hordozóanyag, a mátrix, a másik pedig a nagy szilárdságú és/vagy nagy rugalmassági moduluszú szálal erősítőanyag. A kompozitokban található alkotóelemek elhelyezkedését vizsgálva megállapítható, hogy a folytonos (mátrix) fázis teljesen körülveszi az abban finoman eloszlalt másik fázist (erősítőanyag), emellett közöttük kitűnő kapcsolat (adhézió) van, amely a deformáció magas szintjén is fennmarad.

2.1. A polimer kompozitok erősítő anyagai

Kompozit gyártási technológiákban jelentős szerepe van a természetes (len, kender, szizál, stb.), az ásványi (kerámia, bazalt, stb.), a természetes alapú mesterséges (viszkóz, acetát stb.), valamint a mesterséges (üveg, szén, aramid, HOPE, stb.) szálaknak. Ez utóbbiakra részletesen kitérünk, különösen kiemelve a gyakorlat során is alkalmazott üvegszálal.

2.1.1. Üvegszál

Az üveg, mint szerkezeti anyag a szilikátok családjába tartozik. Elsősorban szilícium-oxidokból (SiO_2) áll, ez adja az üveg 55-65%-át. Emellett tartalmaz egyéb fénoxidokat is, amelyek a szilíciummal lényegében egyetlen óriásmolekulává egyesülnek, mégpedig elsődleges (primer), nagy kohéziós energiát képviselő kovalens- és ionos kötésekkel.

Az üveg ömledékből megfelelő fonófejen át nagyszilárdságú szálal húzhatunk, rendszerint 10^3 nagyságrendű elemi szálból álló köteg (roving) formájában. Az elemi szálak átmérője jellemzően 8-17 μm között található.

Az üvegszál, a többi elemi szállhoz hasonlóan, felületkezelést igényel. Egyrészlről meg kell védeni a feldolgozás – pl. szövés – során esetlegesen fellépő károsodástól; ezt nevezzük írezésnek. Az írezőanyag feladata tehát az ideiglenes védelem, és az összetartás. Másfelől biztosítani kell az üvegszál és a polimer mátrix közötti kapcsolódást, lehetőleg minél több elsődleges kötéssel, amelyet epoxivegyületek, vinilszilánok, esetleg fenolgyanta típusú kapcsolószerek felvitele biztosít.

Az üvegszál a legelterjedtebben alkalmazott erősítő szál, fizikai és mechanikai tulajdonságait az **1. táblázat** tartalmazza.

Az üvegszál erősítés alkalmazásának előnyei:

- olcsó,
- nagy mennyiségben rendelkezésre áll,
- UV stabil, vegyszerálló, elektromosan szigetel.

Hátránya:

- bizonyos technológiáknál erős koptató hatás (ahol közvetlenül súrlódik a szerszámon),
- viszonylag nagy sűrűség,
- törékeny,
- alacsony rugalmassági modulusz.

2.1.2. Szénszál

A szén kapcsolódási módjainak sokoldalúsága, a sokféle rendezettségi forma, amelyet a szénláncok képeznek, a polimerek műszaki anyagtudományának középpontjában áll. A szintetikus polimerek műszaki tulajdonságait, a polimerlánc szilárdságát a szén-szén kötések szilárdsága biztosítja. A legnagyobb szén-szén kötőerő a legszigorúbb rendezett rendszerben közismert: a gyémánt a magas kovalens kötésrendszerével, legmagasabb szintű rendezettségével a keménység mértékévé, etalonjává vált. A nagy fajlagos felületű korom, mint a gumi mátrixú kompozit aktív – kémiaiilag is kötődő – töltőanyaga, szintén régóta ismert. A szénből megalkotott erősítőszálban a szén grafítos szerkezetét hasznosítjuk.

A grafítszerkezet a hatszögletű egységekből felépített lamellák síkjának irányában rendkívüli szilárdságot biztosít. A szénszálakban ezt a rendkívüli grafít-szilárdságot és az ezzel párosuló igen nagy moduluszt használjuk.

A szénszálgyártás előterméke (prekursor) többféle polimerszál is lehet, ha azt úgy tudjuk elszenesíteni (karbonizálni majd grafítosítani), hogy közben ne olvadjon meg, ne égjen el, és a kívánt szerkezet alakuljon ki. Az elszenesítés és grafítizálás hőfoka és hőtartási ideje határozza meg a szál mechanikai tulajdonságait. Az így előállított szálak szilárdsága és modulusza széles határok között változtatható. 1997 óta a ZOLTEK cég Magyarországon is előállít PAN (poliakrilnitril) alapú szénszálat.

Az szénszál erősítés alkalmazásának előnyei:

- alacsony sűrűség,
- magas rugalmassági modulusz,
- magas szilárdsági értékek,
- alacsony hőtágulási együttható.

Hátránya:

- rideg,
- magas ár.

2.1.3. Aramid szál

Az aromás poliamid (aramid) szálak nagyfokú orientáció (azaz nyújtás) során nyerik el nagy szilárdságukat. Két fő típusuk van: a para-, valamint a meta-kötéssel kapcsolódó aramidok. A gyakorlatban a magas szakítószilárdságú para-kapcsolódású aramidok terjedtek el (márkanévek: KEVLAR, TWARON, stb.). A szálak kitűnő szilárdsága és viszonylag magas szakadási nyúlása igen jól hasznosul a gumikompozitokban pl. a radiál-gumiabroncsokban. Kitűnik továbbá, az aramid szállal erősített kompozit rendkívüli szívósságával, ütésállóságával (pl. golyóálló mellény).

Az aramidszál erősítés alkalmazásának előnyei:

- alacsony sűrűség,
- magas szilárdsági értékek,
- jó dinamikai tulajdonságok,
- hajlékony,
- lángállóság.

Hátránya:

- környezeti hatásokkal szembeni gyenge ellenállóképesség (UV- és nedvességérzékenység)
- alacsony nyomó szilárdsági értékek.

2.1.4. Polietilén szál

A nagy molekulatömegű ún. UHMWPE (Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene) gél jellegű oldatból kiindulva (gélfázisú szálképzés), és nagymértékű orientációt alkalmazva igen nagy szilárdságú, könnyű polietilén szálakat lehet előállítani (márkanév: Spectra, Dyneema). Elterjedésüket két fő tényező gátolja: az egyik, hogy a PE hőállósága a HOPE esetén is korlátozott (max. 140 °C);

a másik, hogy a PE csekély kötődést, adhéziót mutat más polimerekkel szemben, így a kompozit legfontosabb kritériumának, a szál-mátrix minél erősebb határfelületi kapcsolatának, csak különleges felületkezelésekkel tud megfelelni. Az erősítőszálak fontos tulajdonságait a 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat Az erősítőszálak mechanikai tulajdonságai

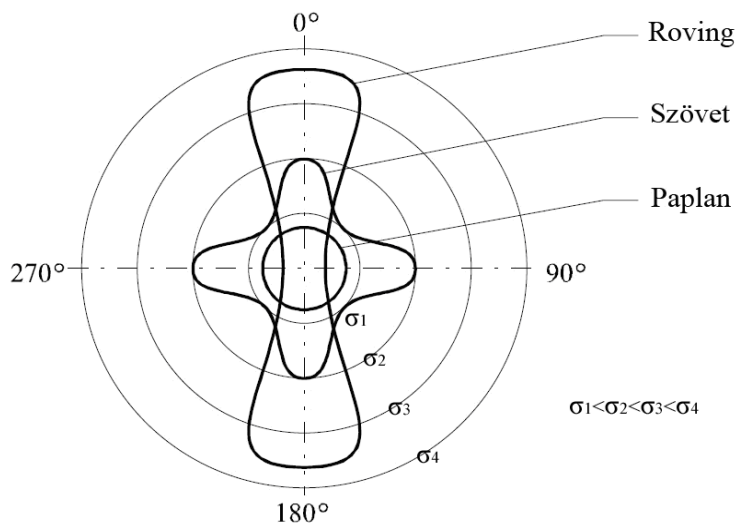
Szál típus	Sűrűség	Szakító szilárdság	Rugalmassági modulusz	Szakadási nyúlás
	ρ [g/cm ³]	σ [GPa]	E [GPa]	ϵ [%]
Üvegszál	2,5-2,8	3,2-4,6	70-85	1,8-5,7
Szénszál	1,7-2	2-7	200-700	0,5-1,5
Aramidszál	1,44	2,8-3,8	60-130	2,2-4
Polietilénszál (Spectra)	0,97	2,3-3,6	73-120	2,8-3,9
Acélhuzal	7,6	4	240	1,4

2.2. A szálak kiszerelési formái

Az erősítőanyagok kereskedelmi forgalomban 1D, 2D, és 3D-s formában lelhetőek fel. 1D-snek hívjuk a roving (köteg) vagy szalag formában megjelenő szálhalmazokat. Szőtt vagy nem szőtt és kötött textíliák tartoznak a 2D-s csoportba. A tér mindhárom irányában erősítőanyagot tartalmaznak a tűzött kelmék és a rétegvastagság irányában is erősítőanyagot tartalmazó 3D-s rendszerek.

A szálak irányultságának rendezésével bizonyos fokú orientáció érhető el. Az ún. **paplan típusú erősítőanyagok** minden irányban tartalmazznak szálakat, nincs mechanikailag kitüntetett irány. Az **unidirekcionális rétegekben** a szálak egy irányba állnak, a mechanikai tulajdonságok ebben az irányban kimagaslóak. A szövésel készített erősítő rendszerek általában két egymásra merőleges kitüntetett iránnyal rendelkeznek, de léteznek **multidirekcionális kelmék** is (pl. a síkban három kitüntetett irány).

Az egyes erősítőanyag formák mechanikai tulajdonságait ún. polárdiagramban szokás megjelölni. A fenti anyagok húzószilárdságának és rugalmassági moduluszának jellegét a terhelési szög függvényében, a 1. ábra polárdiagramban szemlélteti.



1. ábra Erősítőanyag kiszerelési formák szakítószilárdságának és rugalmassági modulusának polárdiagramja [3]

2.3. A polimer kompozitok mátrix anyagai

A kompozitok mátrixanyagaként többféle polimert használnak. A polimer mátrixok két nagy alapvető csoportra oszthatók: hőre keményedők és hőre lágyulók. Ahogy a nevük is mutatja, a feldolgozási folyamat során hőre van szükség. A hőre lágyuló polimerek (pl. polipropilén) olvasztás – alakadás – hűtés folyamattal dolgozhatók fel. A folyamat végén nem jön létre térhálós szerkezet, így e lépések reverzibilisek. Hőre lágyuló polimereket általában rövid (1-5 mm) szálakhoz használnak mátrixanyagként, amelyeket fröccsöntéssel, vagy extrúzióval dolgoznak fel. Megjelentek újabban az önerősített polimerek is, amelyekben mind a szál, mind a mátrix azonos, hőre lágyuló anyagból készül.

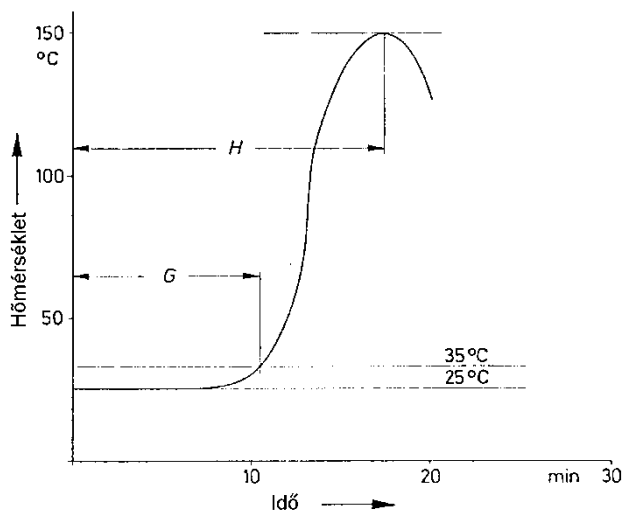
Napjainkban elsősorban hőre keményedő gyantákat használnak a nagy teljesítményű kompozitok előállításához. A hőre keményedő anyagok (pl. epoxigyanta, poliészter, vinilészter, poliimid,) folyadék halmazállapotból, egy irreverzibilis folyamat végén, térhálós szerkezetű szilárd halmazállapotba mennek át. Ha ez megtörtént, többé már nem olvaszthatók meg, habár a hőmérséklet változtatása jelentősen befolyásolja mechanikai tulajdonságaikat. Nagy előnyük, hogy szobahőmérsékleten feldolgozásuk során folyékonyak és feldolgozásukhoz - ellentétben pl. a fröccsöntéssel - nem szükséges nagy nyomás. Előnyükre még az alacsony árfekvésük, azonban nagy hátrányuk, hogy újrahaznosításuk ipari méretekben még nem megoldott. Az iparban jelenleg a két leggyakrabban használt hőre keményedő gyanta az epoxigyanta és a telítetlen poliészter gyanta. A szálerősített kompozitok szilárdságát döntő mértékben az erősítő szál tulajdonsága

határozza meg, mivel a beágyazó polimer mátrix szilárdsága és modulusza általában ennél kb. két nagyságrenddel kisebb.

Az alkalmazható gyanták jellemzéséhez szükség van a viszkozitás fogalmának ismertetésére: a **viszkozitás** egy közeg ellenállásának mértéke a csúsztató feszültség okozta alakváltozással szemben. Hétköznapi szóval folyóképességnek nevezhetjük. A viszkozitás a közeg (folyadék vagy gáz) belső ellenállását jellemzi az áramlással szemben, és fel lehet úgy is fogni, hogy nem más, mint a közeg belső súrlódása. Így a víz "folyósabb", kisebb a viszkozitása, míg az étolaj vagy a méz "nyúlósabb", nagyobb a viszkozitása.

2.3.1. Poliészter

A poliészter a legelterjedtebb gyantatípus, amely kétértékű karbonsavból és kétértékű alkoholból épül fel. Ezen komponensekből reakciójával keletkezik a poliészter gyanta, amelyhez a viszkozitás csökkentéséhez általában egy sztirol nevű szerves oldószer adnak. A sztirol a viszkozitás csökkentése mellett abban is játszik szerepet, hogy a poliészter láncok között keresztkötések keletkezhesse, melléktermék megjelenése nélkül. A poliészter gyanták csak korlátozott ideig tárolhatók, mivel egy bizonyos idő elteltével maguktól gélesedni kezdenek. Azonban ez az idő a feldolgozásuk során nem várható ki, ezért a gyantához iniciátor adnak, amelynek hatására a hozzáadása után a térhálósodás rövid időn belül megindul. Maga az iniciátor nem vesz részt a kémiai reakcióban, csak katalizálja azt. Miután a gyantához keverjük az iniciátort, abban rövid idő után (G: gélesedési idő) megindul a térhálósodáshoz vezető polimerizációs láncreakció, miközben egy exoterm folyamat játszódik le. A teljes kikeményedés (H: kikeményedési idő) néhány perc alatt végbemegy (2. ábra).



2. ábra A poliészter gyanta térhálósodásának exoterm hőeffektusa [1] (G - gélesedési idő; H - kikeményedési idő)

2.3.2. Epoxigyanta

Az epoxigyanta nyújtja a gyanták közül a legjobb tulajdonságokat. Mind mechanikai tulajdonságaiban, mind a környezeti hatásokkal szembeni ellenálló képességében megelőzi a többi gyantát, így előszeretettel alkalmazzák olyan iparágakban, mint pl. a repülőgépgyártás.

Az epoxigyantának számos jó tulajdonsága van. Egyik ilyen, hogy kicsi a viszkozitása, ezért szobahőmérsékleten is könnyen kitölti a rendelkezésre álló teret (pl. a szerszámot). Másik nagy előnye, hogy csak kis mértékben zsugorodik, így minimálissá válik a térhálósodás utáni belső feszültség.

Az poliészter gyantákhoz hasonlóan az epoxigyantákat is főleg erősítő, ill. töltőanyaggal társítva használják fel. Az epoxigyantával készített kompozitok – azonos erősítőszálak esetében – kedvezőbb szilárdsági és merevségi értéket mutatnak, mint a poliészter gyantával készítettek; ez elsősorban a tartós, ill. a váltakozó terhelésre vonatkozik.

2.3.3. Egyéb mátrix anyagok

A fentiekén kívül speciális célokra mátrixanyagként használnak még vinilészter gyantákat (vegyszerállóság + hőállóság), furán gyantákat (vegyszerállóság), illetve akril gyantákat (kémiai ellenállóság), stb.

2.4. Polimer kompozit termék gyártástechnológiái

A réteges felépítés biztosítja a kompozit konstrukció legfőbb műszaki előnyét: a teljes alkatrész, termék szilárdságát, illetve merevségét minimális önsúly mellett úgy optimalizálhatjuk, hogy az igénybevétel erővonalai mentén kapjuk a legjobb tulajdonságokat. A konstrukciós feladat lépései tehát a fő terhelés irányok meghatározása, a rétegek méretezése, és nem utolsósorban a rétegrend kialakítása. Mindezek közben figyelemmel kell lenni a termék gyárthatóságára is (költségek, szériaszám, technológia, stb.), amely alapján a gyártástechnológiát lehet kiválasztani.

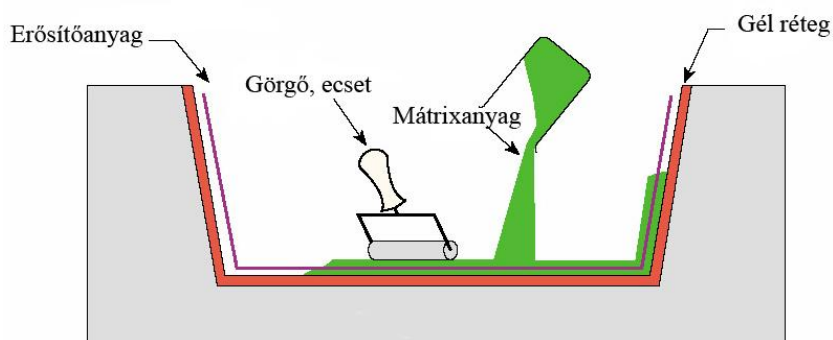
A technológia egyik kulcskérdése a térhálósítás közben tartása: az oligomert és monomert is tartalmazó mátrix alapanyag teljes átalakítása térhálós szerkezetűvé (konverzió). A gyakorlatban fontos, hogy végbemenjen a teljes konverzió, azaz a reaktív csoportok 100%-a átalakuljon, mivel a fizikai, mechanikai és kémiai tulajdonságok jelentősen függenek ezen konverzió mértékétől. A maradék, nem reagált monomer jelentősen módosíthatja a termék öregedését, fizikai és mechanikai tulajdonságait.

Kompozit alkatrészek gyártására igen sok technológia áll rendelkezésre. A gyakorlat során kézi laminálással állítjuk elő a kompozit mintadarabot, így ezt részletesebben tárgyaljuk.

2.4.1. Kézi laminálás

Az erősítő rétegek kézzel történő egymásra illesztésével (hand-lay-up, lamination) építették fel a mintegy 50 éve az első modern polimer kompozit termékeket sorozatgyártásban: így készültek, pl. a szövetségesek partraszállásakor felhasznált üvegszálás poliészter hajók. Ez a technológia alacsony költségei és széleskörű alkalmazhatósága miatt a legelterjedtebb. Prototípus, illetve kis sorozatgyártás esetén a leggazdaságosabb.

A kézi laminálás alapelvét a 3. ábra szemlélteti. A pozitív vagy negatív szerszám felületét formaleválasztóval kell kezelni, hogy a termék a szerszámból eltávolítható legyen. A termék külső rétege általában egy úgynevezett gél réteg, ez a gyantában dús töltött réteg áll ellen a környezeti hatásoknak (időjárás, mechanikai behatások). Ezt követően kerülnek felhordásra a termék teherviselő rétegei, erősítőanyag rétegek kerülnek átítatásra görgők, hengerek, illetve ecsetek segítségével. A legfontosabb, hogy tömör, légzárvány nélküli falvastagságot készítsünk, ehhez nyújt segítséget a levegő kigörgözése a már átimpregnált rétegekből.



3. ábra A kézi laminálás alapelve

A kész kompozit lemez akár több tíz rétegből is állhat, ehhez legfőképpen a megfelelő gyanta kiválasztására kell ügyelni (gélidő, exoterm hőcsúcs). A laminát tartalmazhat jelentős erősítéseket, megvastagításokat, bordákat, fém-betétet, valamint felépülhet szendvicsszerkezetként is.

A térhálósítás az alkalmazott gyantarendszernek megfelelően történik általában szobahőmérsékleten, de egyes esetekben emelt hőfokon is történhet. Utólagos emelt hőfokú térhálósítás a konverzió szempontjából minden esetben ajánlatos. Ezt követően a termék méretre vágása, szélezése ill., utólagos szerelése történik.

2.4.2. Egyéb gyártástechnológiák

Az egyes technológiák közös jellemzője, hogy kontrollált hő- és nyomásviszonyok mellett a folyékony halmazállapotú mátrixanyagból és a szálak szerkezetű erősítőanyagból térhálósított termék készíthető. Az alábbiakban a legfontosabb és legelterjedtebb technológiák kerülnek rövid bemutatásra.

Szórás: A laminálás technológia némileg „gépesített” változata, egy speciális szórófejen keresztül vágott szál és mátrixanyag keveréke kerül felszórásra a szerszám felületére. Nagyméretű termékek készíthetők gazdaságosan így (pl.: hajótestek, lemezszerű panelek).

Sajtolás: Nagy sorozatoknál alkalmazott gyártástechnológia; hidraulikus présgépeket fűthető fém szerszámokat, illeszkedő precíz szerszámfeleket alkalmazva. A mátrix- és erősítőanyag már előre összekeverve kerül a szerszámfelek közé. Rövid ciklusidővel, hosszú sorozatban gyártott termékek előállítására alkalmas technológia, pl. autóiparban, ajtó kárpit, belső burkoló elemek, stb.

	A5 – KOMPOZITOK	Változat: 5
		Kiadva: 2014. február 11.

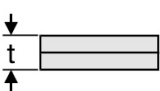
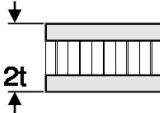
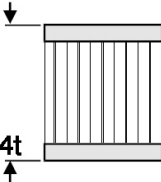
Tekerceselés: Forgó, tengelyszimmetrikus (általában hengeres) magra gyantával impregnált folytonos szálakat tekerceselnek fel. A rovingok fektetési szöge (tekerceselési szög) az igénybevételnek megfelelően előre számítható. A készterméket a magról lehúzzák, ezért szükséges, hogy a szerszám enyhén kúpos legyen. Főleg tartályok, csövek előállításához alkalmazható.

Pultrúzió: A hosszirányban folytonos szállal erősített kompozit profilgyártás a hőre lágyuló alapanyagú extrúzióhoz hasonló eljárás, azzal a lényeges különbséggel, hogy itt az impregnált erősítőanyagot áthúzzák a fűtött szerszámon. Ez az egyetlen folytonos hőre keményedő mátrixú kompozit gyártástechnológia, amely profilok, 1D-s termékek gyártására alkalmas (pl. gerendák, tartószerkezetekhez merevítések, lapátnyél).

Injektálás: A szerszámba „szárazon” kerül befektetésre az erősítőanyag. A zárt szerszámba túlnyomás vagy vákuum segítségével juttatjuk be a mátrixanyagot. A mátrixanyag áramlása során impregnálja az erősítőanyagot. Nagyon jó mechanikai tulajdonságokkal, kiváló minőségű termékek készíthetők (pl.: repülőgép alkatrészek, nagy teljesítményű gépalkatrészek).

2.5. Szendvicsszerkezet

A szendvicsszerkezet olyan két, egymással párhuzamos, sík vagy görbült nagy szilárdságú lemez (fedőlemez, héj), amely között könnyű, kis szilárdságú, a fedőlemezeknél vastagabb anyag (maganyag) helyezkedik el oly módon, hogy a három réteg egy mechanikai egységet képezzen. A szendvicsszerkezetek jellemzője a kis anyagmennyiséggel elérhető **nagy hajlítómerevség**. A szendvicsszerkezettel elérhető tulajdonságjavulásokat a 4. ábra szemlélteti.

	Tömör laminát	Magréteg - 1t	Magréteg - 3t
			
Hajlító merevség	1.0	7.0	37.0
Hajlító szilárdság	1.0	3.5	9.2
Tömeg	1.0	1.03	1.06

4. ábra A szendvicsszerkezet mechanikája

A szendvicsszerkezetek elsősorban kompozit anyagokkal kapcsolatban terjedtek el, ezeknél ugyanis a kedvező szilárdsági tulajdonságok mellett hátrányként jelentkezik az azonos geometriájú fémszerkezetekkel szembeni kedvezőtlen stabilitás és kisebb hajlítómerevség. Ez annak tudható be, hogy a kompozitok a fémeket megközelítő, vagy meghaladó szakítószilárdsággal, de néha azoknál lényegesen kisebb rugalmassági modulusszal rendelkeznek. Ennek következtében az ilyen anyagokból készült héjszerkezetnél merevségi problémák léphetnek fel, amelyet vagy költséges vastagságnöveléssel, vagy bonyolult és nem esztétikus bordázással, esetleg szendvics kialakítással lehet megoldani. A szendvicsszerkezetek elterjedésének másik oka, hogy technológiailag könnyen lehet szendvicsszerkezetet előállítani.

A kompozit szendvicsszerkezeteket többféle módon készíthetjük:

- Elkészítik formában a két erősített kompozit fedőlemezt, majd ezek közé ragasztják a maganyagot.

- Elkészítik a fedőlemezeket, majd a két héj közé habosítják a maganyagot.
- A formában lévő, még lágy, nem térhálósodott kompozit lemezre rászorítják a maganyagot, a lemezt kitérhálósítják – ezáltal a maganyag a lemezhez tapad –, majd vagy formában, vagy a formából kivéve a másik fedőlemezt rárétegzik a maganyag szabad felületére.
- Előre leszabott, hajlított vagy összeállított maganyagra, mint szilárd szerkezetre két oldalról rárétegzik a kompozit fedőrétegeket.

A felhasználható maganyagoknak igen sokféle típusa ismert, anyaguk lehet papír, alumínium, polimer, fa, stb. Leggyakrabban habosított polimer maganyaggal találkozhatunk, pl.: PUR, PVC.

3. A mérés során használt eszközök

- köpeny, gumikesztyű, szemüveg;
- olló, ecset, görgő;
- mérleg;

4. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
gyanta	resin	s Harz
héj, fedőlemez	shell, skin	e Deckschicht
kompozit	composite	r Faserverbundwerkstoff
maganyag	core	r Kernmaterial
paplan	mat	e Fasermatte
szálerősítés	fiber reinforcement	e Faseverstärkung
száltartalom	fiber content	r Fasergehalt
szendvicsszerkezet	sandwich structure	r Kernverbund
szénszál	carbon fiber	e Kohlenstoff-Faser
szövet	woven structure, fabrics	s Gewebe
üvegszál	glass fiber	e Glasfaser

5. Ajánlott irodalom

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000
2. G. W. Ehrenstein: Faserverbund-Kunststoffe, Hanser Verlag, München, 1992
3. Hintersdorf: Műanyag tartószerkezetek
4. P. K. Mallick, S. Newman: Composite Materials Technology, Hanser Verlag, New York, 1990

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Név: Jegy:

Neptun kód:

Dátum: Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. Feladat

A gyakorlat során üvegszálerősítésű poliészter mátrixú kompozit terméket fogunk előállítani.

A gyakorlat menete:

- A védő öltözet (köpeny, gumikesztyű, szemüveg) felvétele.
- A szerszám előkészítése, portalanítása majd felületkezelése.
- Az erősítő réteg (paplan, szövet) kiszabása, felületi tömeg meghatározása.
- A mátrixanyag kimérése majd iniciálása.
- Kompozit termék előállítása kézi laminálással.

2. Alapadatok, mért és számított eredmények

A felhasznált anyagok típusa

Mátrix:

Erősítőanyag:

FIGYELEM

Köpeny, gumikesztyű, védőszemüveg használata a gyakorlat során kötelező!

A felhasznált vegyi anyagok egészségre ártalmasak lehetnek, részben tűzveszélyesek.

Gyanta, katalizátor ill., aceton nyálkahártyához nem juthat.

A bőr szennyeződése esetén azonnal szappanos vizes mosás alkalmazandó.