

Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Polimermérnöki Tanszék



SZAKDOLGOZAT

Készítette: László Noémi
Konzulensek: Dr. Szabó Tamás József

2013

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani dr. Szabó Tamás Józsefnek útmutatásáért és segítségéért valamint a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar Polimermérnöki Tanszékének és a Technische Universität Bergakademie Freiberg intézményének a szakmai felkészítésben, a szakdolgozatom elkészítésében

Tartalom

Bevezetés	1
1. Kompozitok általános jellemzése	4
2. A polimer kompozitok jellemzése.....	6
2.1 A mátrixanyagok általános ismertetése.....	6
2.2 A polimer kompozitok vázanyagai.....	9
3. Szálerősítéses polimer kompozitok	16
4. Kapcsolat a szál és mátrix között	17
5. A polimerkompozitok feldolgozása	19
5.1 A hőre lágyuló polimerkompozitok gyártástechnológiája	19
5.1.1 Extrúzió.....	20
5.1.2 A kompozit gyártáshoz használt extrúder jellemzése.....	21
5.2 Flíszgyártás.....	23
5.2.1 Öntés	24
5.2.2 Centrifugálöntés	24
5.3 Hőre keményedő kompozitok gyártástechnológiája [11].....	24
5.3.1 Pultrúzió	25
5.3.2 Laminálás.....	26
5.3.3 Sajtolás	26
5.3.4 Hidegsajtolás	28
5.3.5 Fröccsajtolás.....	28
5.3.6 Szórás	28
5.3.7 Vákuuminjektálás.....	29
5.3.8 Szendvicsszerkezetek kialakítása	30

5.3.9	Nano részecskével töltött polimerkompozitok gyártása [12]	31
5.4	BMC és SMC gyanta feldolgozása, hosszúszálas kompozitok gyártása [13]	32
6.	Polimer kompozitok vizsgálata	33
6.1	Kompozitok elektronmikroszkópos vizsgálata	33
6.2	Húzószilárdság meghatározása	38
6.3	Mechanikai tulajdonságok vizsgálata [15]	41
7.	Konklúzió.....	43
	Irodalomjegyzék.....	44

Abstract

Heutzutage benutzt man verschiedene Komposite, die eine Möglichkeit ist, die verschiedenen Vorteile der Materialien, wie z.B Kunststoffe, Keramik, Baustoffe und Metalle zu nutzen. Diese Materialien haben unterschiedliche Eigenschaften wie Härte, Zugfestigkeit und Dauerfestigkeit, und bei Komposite kann man diese vorteilhafte Eigenschaften ausnutzen. Bei der Kunststofftechnik ist es eine Neuerung, mit der die Widerstandbarkeit, die Härte größer und die Qualität besser werden.

Bei Polymerkomposite gibt es die Change, Faden (vor allem Metallfaden), Kristalle, Schaum oder Perlen als Stärkung anzuwenden. Bei der Querrichtung ist die Zugfestigkeit größer, als Faserverstärkung angewandt werden.

Die Komposite werden mit Extrusion, Spritzgießen, Pultrosion oder Streuung dargestellt. Bei der Anwendung ist es wichtig die Qualität Bei Anwendung muss die Kennwerte beobachtet werden. Beim Fall der Konstruktionen ist es wesentlich die Übereinstimmung von Anforderungsmatrix des Bauteils und Eigenschaftmatrix des Werkstoff. Wenn man eine neue Konstruktion machen möchten, muss man auf der zyklischer, statischer und dynamischer Beanspruchung achten.

Die Komposite erleichtern das Leben wegen ausgebreiteter Eigenschaftmenge. In der Menschenwelt werden viele „Mischungen“ hergestellt, denken wir nur an die Autoindustrie, an das elektrische Geräte oder nur einfach an das alltägliche Leben.

Diese Materialien sind aufgrund der unterschiedlichen Größen der zweiten Fasen und die unterschiedlichen Kunststoffmatrix sehr populär und sie sind allbeibliebt.

Absztrakt

Manapság egyre inkább előtérbe kerülnek a kompozit anyagok, melyek remek lehetőséget biztosítanak arra, hogy a különféle anyagtípusok, így a polimerek, fémek, kerámiák előnyös tulajdonságait kihasználhatóvá tegyék. E anyagtípusoknak különböző tulajdonságai vannak, így a keménység, húzószilárdság, és a kompozitok révén ez kihasználhatóvá válik. Polimer technológiák szempontjából a kompozit tekinthető egyfajta újításnak is, melynek segítségével az ellenálló képesség, a keménység valamint a minőség javítható.

Polimerek esetében erősítésre használhatók a tűk (főként fémtűk), kristályok, gyöngyök, habok. Szálerősítés alkalmazás esetén a keresztirányú húzószilárdság nagyobb lesz.

A kompozitokat extrúzióval, fröccsöntéssel, szórással, pultrúzióval állítják elő. Az anyagok alkalmazása esetén fontos az elérendő minőség ismerete, s ehhez az anyagi jellemzők megismerése. Lényeges természetesen az is, hogy az alkalmazásmátrix és az úgy nevezett tulajdonságmátrix egymásnak megfeleljen, eleget tegyen. [16] Amennyiben egy új konstrukció tervezéséről van szó, figyelembe kell venni az igénybevételt, így a ciklikus, a statikus és dinamikus hatásokat, s ennek megfelelően anyagot választani.

A kompozitok –köszönhetően széleskörű tulajdonsághalmazának- jelentősen megkönnyíti az emberi világ életét. Gondoljunk csupán az autóiparra, az elektromos készülékekre vagy egyszerűen csak a hétköznapi életre.

Ezek az anyagok, a második fázis különböző mérettartománya, valamint az első fázis különböző mátrixanyagai miatt manapság egyre népszerűbbek és közkedveltebbek.

Bevezetés

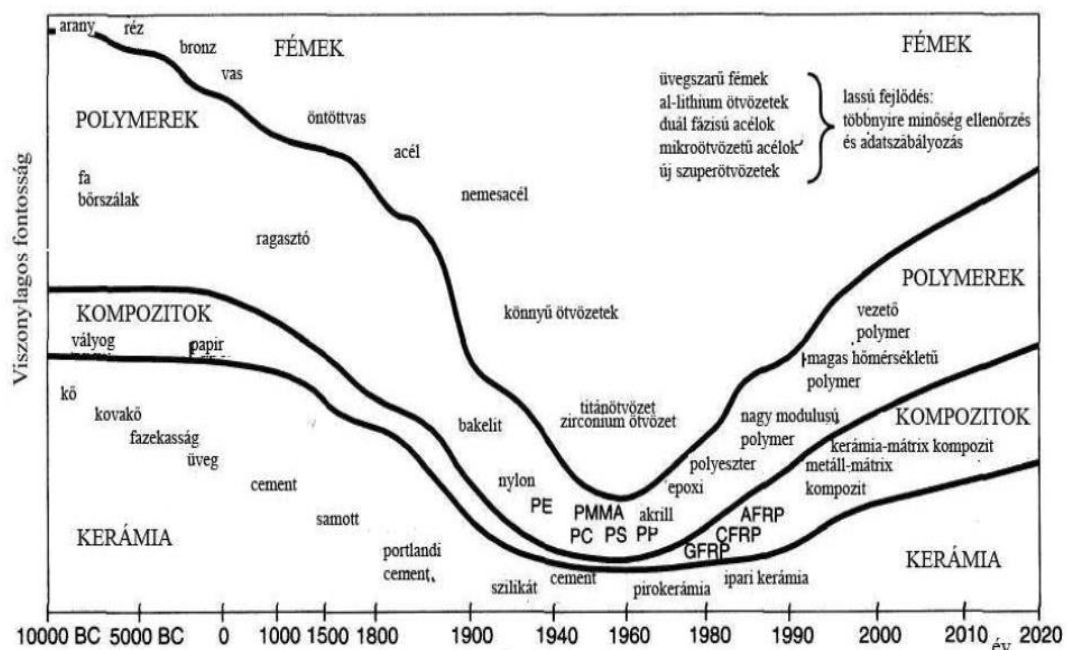
A kompozitok napjainkban az egyik, talán legsokoldalúbb anyagnak tekinthető anyagkombináció vagy társított anyag. A mindennapi életben igen gyakran használt kompozit jelentős minőségi fejlődési lehetőséget hordoz magában, köszönhetően a széleskörű tulajdonság-halmaznak, amelynek eredményeként változatos anyagi jellemzők érhetőek el.

Gyakori alkalmazásnak tekinthető többek között a gumiabroncs, a nyomtatott áramkört lapok, a horgászbót, az elektronikai, műszaki alkalmazás, az autóipar, melyeknek esetében csupán egy komponens alkotta anyag nem tudná kielégíteni a felhasználás, igénybevételi követelményeket, mint például a szilárdsági, kopási, súrlódási, keménységi követelményeket.

A következőkben a kompozitok fejlődési fázisait, legfontosabb lépéseit szeretném bemutatni.

A kompozitok már a történelem során is nagy jelentőséggel bírtak. A régmúlt emlékeinek tekinthetőek a különféle agyagból, szárítással, égetéssel készült edények. Azonban a jobb ellenállóképesség miatt az agyaghoz szalmaszálakat adtak, ennek eredményeként a koramúlt agyagedényei tekinthetők kompozitnak, egész pontosan szálerősítéses kompozitnak is.

Az 1. ábra a különböző anyagcsoportok esetén megfigyelhető fejlődési tendenciát mutatja be. [1]



1. ábra: A kompozitok fejlődése [1]

A kompozitok közül tehát a vályog tekinthető az elsőnek, amelyet még ma is használnak házak építésekor. A fémek fémekkel alkotott társítása szintén definiálható kompozitnak, illetve ezeket nevezhetjük más néven ötvözeteknek is, melyek fejlődése a fegyver,-szerszám készítésével vonható párhuzamba. A bronz és vaskort követően az öntöttvasak megjelenése szintén fontos támpontot jelent, hiszen az öntöttvas a különböző benne oldott anyagaival, így a szénnel, szilíciummal, mangánnal, kénnel és foszforral szubjektíven, de tekinthető kompozit anyagnak.

A későbbiekben a korrozív hatásokkal való ellenállás érdekében megjelentek a titán és cirkónium ötvözetek, melyeknek fémtartalma a vegyi hatásokkal szemben, így például a savakkal, valamint az oxidatív hatásokkal való ellenállás javítása a funkciója.

Manapság az alumínium kompozitok népszerűsége töretlen, köszönhetően az alumínium előnyös tulajdonságának, így kis sűrűségének, szívósságának, korrózió állóságának, ugyanakkor a gazdasági szempontokat tekintve olcsóbb, mint más, hasonló tulajdonságú fém. Az ilyen kompozitok alkalmazása elsősorban az űrtechnikában, tároló akkumulátor lapok, villamos érintők és csapágycsatlók gyártásában jellemző.

A kerámiák esetében vélhetően a legnagyobb mértékű fejlődést a vasbeton jelentette. Ezen anyagtársítás előnyössége a ráható terhelésekkel magyarázható.

A vasbeton nem más, mint betonba ágyazott acélbetétek. A beton a ráható nyomó igénybevételnek kiválóan ellenáll, azonban a húzó igénybevételeknek nem. Ezt a beépített acélbetétek biztosítják. A vasbeton az építészetben foglalt el kiemelkedő szerepet, e tulajdonságai valamint kis karbantartási igénye miatt.

A polimerek esetében szintén egy tendencia figyelhető meg az ábra alapján. A hadiipar kevlar mellénye a világháború egyik vívmánya.

Az ember egykor köveken, barlangfalakon, szövegeken, cserépdarabokon örökölte meg tevékenységét, azonban az író kultúra és civilizáció a papír megjelenéséhez köthető.

A fa a természetben fellelhető természetes anyag, amely egykor és mai is fontos szerepet tölt be az építészet terén, manapság forgácsolt termék, rétegelt lemezek, modifikált anyagok formájában érhető el.

Az ún. PMC (Polymer Matrix Composite) anyagok felhasználhatóak sportcikk, alkatrészek, kémiai berendezések részeként, valamint elektromos tulajdonságai miatt szubsztrátok, kondenzátorfóliák, optikai sajátosságai miatt árnyékoló fóliák, szükségleti cikkek. A biológiai szempontból fontos implantátumok alapanyaga is egyben.

A kompozitok fejlődésének mozgatórugója a műszaki, elektronikai ipar korszerűsödése, az energia-igényesség, a költséghatékonyság, az esetleges újrahasznosíthatóság s az ebből adódó gazdaságosság.

Dolgozatom témája a különböző társított anyagok, különösképpen a műanyag kompozitok csoportosításának, jellemzésének tulajdonságainak, alakíthatóságának, felhasználhatóságának bemutatása.

1. Kompozitok általános jellemzése

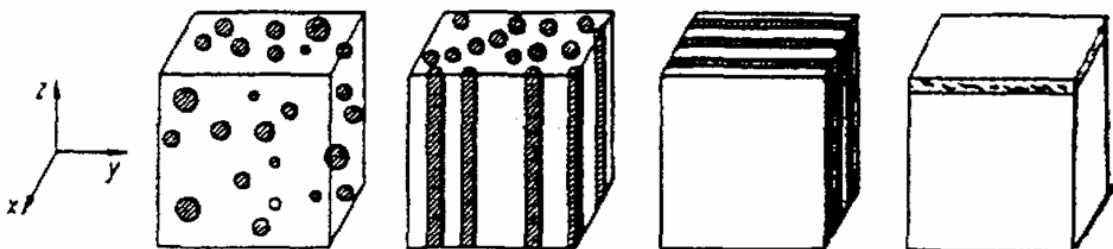
A kompozitok több, különböző anyagtípusból felépülő összetett rendszereknek tekinthetők. Ezek az anyagok egy főkomponensből, más néven mátrixanyagból, valamint a kísérőanyagként hozzáadott másodanyagok alkotják. A kompozitoknak megvan azon előnye a hagyományos anyagokkal szemben, hogy különlegesebb, minőségileg jobb tulajdonságokat érhetünk el, továbbá a rosszabb tulajdonság hatását csökkenthetjük anyagtársítások által.

A kompozitok előállításának a célja a termék, illetve az anyag valamely jellemzőjének (pl. szilárdság, kopásállóság,-stb.) jobbá tétele, hiszen a mai világban az egyre különlegesebb igényeknek „hagyományos” anyagokkal nem tudnánk megfelelni.

A kompozitok alapanyaga többféle lehet. Megkülönböztetünk polimer, fém, illetve kerámia kompozitot. A második fázis többféle mérettartományú lehet a nano tartománytól egészen a makro méretekig, valamint ez a fázis lehet szálak (rövid és hosszú szálak), lemezes, réteges, valamint szemcsés is. Tehát léteznek:

- fém-fém
- polimer-fém
- fém-kerámia
- kerámia-polimer
- kerámia-kerámia
- polimer-polimer kompozitok.

Fontos azonban azt is ismernünk, hogy milyen a mátrixanyag, ugyanis ez jelentősen befolyásolhatja a felhasználás hőmérsékletét. A mátrix anyag fém, polimer illetve kerámia. Az alábbi képen az egyes kompozitfajtákat mutatom be (2. ábra)



2. ábra Kompozitfajták: szemcsés, szálak, réteges, felületi kompozitok [2]

A folyamatos szálerősítésű kompozitok feldolgozása nehézségekbe ütközik, ezért az utóbbi években egyre nagyobb előtér kapnak az ún. nem folyamatos erősítésű anyagok, ahol az erősítés szerepét betöltheti valamilyen szemcse (fémek esetében például SiC szemcsék), valamint tűkristályok. A hagyományos anyaghoz képest lényegesen jobb tulajdonsággal rendelkeznek, ugyanakkor a szálerősítéses anyagokhoz viszonyítva rosszabbnak tekinthetők.

A szendvicsszerkezetek alkalmazása manapság szintén elterjedt, köszönhetően sokoldalúságának és előnyös tulajdonságainak, többek között hajlítási merevsége valamint szilárdsági jellemzői miatt.

A kompozit tulajdonságait a mátrixanyag és a második fázis tulajdonságai együttesen határozzák meg. Éppen ezért mind az alapanyag mind a második fázis esetében különböző követelményeknek kell eleget tenni. Fontos az erősítő fázis rögzítettsége a megfelelő irányba, illetve, hogy egymástól függetlenül viselkedjenek, lényeges e szálak vagy szemcsék elválasztása, a fajlagos felület növelése, valamint a második fázis védelme, továbbá a kompozit kopásállóságának javítása szintén lényeges.

Ugyanakkor nem szabad megfeledkezni a második fázisról sem. Talán az egyik legfontosabb szempont vele kapcsolatban az, hogy ne lépjen kémiai reakcióba. A fázis mennyisége, térfogataránya is szintén fontos a megfelelő hatás elérése céljából, továbbá legyen rugalmas kapcsolata a mátrixszal.

Összességében mindhárom anyagcsoport alkalmas kompozit gyártásra, s jellemző, hogy egy nagyobb szilárdságú anyag folyamatosan veszi körbe a kisebb szilárdságút, mialatt tökéletesnek tekinthető kapcsolat (adhézió) áll fenn.

A dolgozat témája a polimer kompozitok megismertetése, feldolgozása, gyakorlati vonatkoztatása.

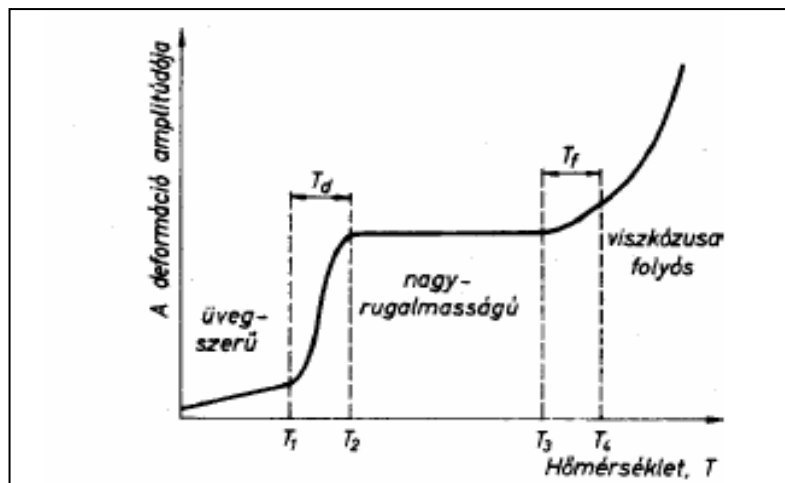
2. A polimer kompozitok jellemzése

2.1 A mátrixanyagok általános ismertetése

E kompozitok alapjául szolgáló különböző polimerek a termék sajátosságaiban jelentős szerepet vállalnak

A polimer kompozitok esetén a második fázis mellett a tulajdonságokat leginkább a befoglaló, ún. mátrixanyaga adja.

A polimertechnológiában megkülönböztetnek hőre lágyuló illetve hőre keményedő anyagokat. A hőre lágyuló műanyagok jellemzője, hogy amorf vagy részben kristályos szerkezetűek (3. ábra), a bennük található kötések nem elsőrendűek. Az ilyen anyagok feldolgozáshoz hőre van szükség, maga az alakadás lágyulás során következik be, majd a hűtés során szilárdul meg. Azonban itt nincs térhálósító anyag, ennek köszönhetően a termék hőre érzékeny lesz. Előállításuk polikondenzációval vagy láncpolimerizációval történik. Hőre lágyuló polimerek a polietilén (PE), polipropilén (PP), az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), a polietilén-tereftalát (PET), a polisztirol (PS).



3. ábra: Polimerek ΔG -T diagramja [3]

A hőre lágyuló műanyagok mellett a hőre keményedő műanyagok képezik a második fő csoportot mátrixanyagok esetén. Megfigyelhető, hogy térhálósodáson mennek keresztül, s az

így létrejövő szerkezet stabil lesz. A hőre lágyuló műanyagokkal szemben ez a folyamat irreverzibilisnek tekinthető, azonban nem zárható ki teljesen a hő hatása, ugyanis a mechanikai tulajdonságokat rontja.

A hőre keményedő műanyagok közé sorolhatóak a különböző gyanták, a poliészter, és fenolgyanták, valamint a szilikongyanták, aminoplasztok, fenoplasztok, poliuretán (PU).

Előállításuk poliaddícióval, szilikonok esetén Si-tartalmú láncokból történik.

A szendvicsszerkezetek szintén tekinthetők kompozitnak, amely a hasonló fémkompozitokhoz viszonyítva jobb szilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik, ugyanakkor a hajlítási merevsége kisebb. Ez a kompozit két fedőlemezből valamint a közé került maganyagból áll, ahol a maganyag tekinthető második fázisnak, míg a fedőlapok befoglaló anyagként is felfogható.

A következő néhány gondolatban a hőre lágyuló és a hőre keményedő polimerek előállításának reakcióit szeretném tárgyalni.

Polietilént többféle nyomáson, kis, közepes és nagy nyomáson lehet előállítani, s így különböző moltömegű polimereket nyerhetünk.

Nagy nyomáson, 1500-2000 Bar-on, 185-200 °C-on, oxigén vagy peroxid iniciátorral, gázfázisú gyökös polimerizációval állítanak elő, a kapott moltömeg 10000-45000.

A kis nyomású (Ziegler) eljárásnál a nyomás értéke nem haladja meg a néhány bar értéket, az előző folyamathoz képest alacsonyabb hőmérsékleten megy végbe, oldószeres polimerizációval. A katalizátor Al-trietil-TiCl₄. A moltömeg 3-70000.

A Phillips eljárásnál a nyomás értéke 30-60 bar, a hőmérséklet körülbelül 180-190 °C. A reakció gyorsítására króm (I) vagy króm (II) oxidot használnak, a moltömeg 2-3 millió körüli.

A PP-t Ziegler-Natta katalizátorral (Al-trietil+TiCl₃), szénhidrogén oldószeres polimerizációval, 10-40 Bar nyomáson állítják elő. Megkülönböztetnek izotaktikus és ataktikus PP-t

A polisztirol előállítható ojtásos kopolimerizációval vagy szakaszos kopolimerizációval. Az ojtásos kopolimerizáció során gyökös iniciálás játszódik le. A létrejövő makrogyökök a dienpolimer kettőskötéseivel reagálva oldalláncokat képez. A szakaszos kopolimerizációnál viszont a PS és a sztirol-butadién monomer (SBR) mechanokémiai átalakításával, intenzív kerverés során jön létre, szabad gyökök rekombinációja, a hőmérséklet 200° C.

A politetrafluoretilén (PTFE) gyökös katalízissel, szuszpenziós vagy emulziós polimerizációval állítható elő.

A hőre keményedő anyagok közül a gyanták, a szilikonok és a különböző telített és telítetlen poliészterek tekinthetők a legfontosabbnak.

A telítetlen poliészterek vázanyaggal történő erősítésének eredményeként üvegszövet, üvegpaplan, roving gyártható, a szakítószilárdság $60\text{--}80\text{ N/mm}^2$ -ről $280\text{--}350\text{ N/mm}^2$ -re növekedhet, tartályok, lemezek, csónakok, hullámlamezek és kupolák gyártásra az egyik legjobb alapanyag. A telítetlen poliészterek térhálósodása függ a kettőskötés mennyiségétől, a vinilpolimer típusától és az iniciátor rendszertől.

A poliuretán (PU vagy PUR) az autókarosszéria egyik közkedvelt alapanyaga. Di vagy poliizocianátból vagy di és polioltól jön létre, és a monomeregységeket uretánkötés kapcsolja össze. A poliuretán-habot szendvicsszerkezeteknél használják, a habosítás lehet kémiai vagy fizikai.

A kémiai habképzés során az izocianáthoz vizet adnak, a reakció végtermékében széndioxid található meg, amely elvégzi a habosítást.

A fizikai habosítás alacsony forráspontú folyadék, például CFCl_3 vagy CF_2Cl_2 -vel történik. A reakcióhő magas, ennek következtében számolni kell a párolgással. A habosítás a felforrás miatt jön létre. A folyamat végbemeneteléhez katalizátor szükséges.

A furfurool gyantát furán-formaldehid kondenzációs reakciójával állítják elő, fémöntőformák kötőanyagaként használták, ugyanis még elszenesedett állapotban is képes a kötőanyag szerepét betölteni. Manapság már furfuril-alkohol önkondenzációs reakciójával állítják elő. Az így nyert alapanyag rétegezéssel, tekercseléssel és préseléssel dolgozható fel, erősíthető szén és üvegszállal egyaránt.

A gyanta alapú kompozitok mátrixát képezhetik az akrilát gyantatípusok.

Ez a gyantatípust általában felületbevonásra használják, alapját az akrilát vagy metakrilát képezi. Az akrilát monomerben többfunkciós monomert oldálnak fel, ahol ez a monomer lehet például trimetanolpropán, triakrilát, pentaeritrit.

Az akrilát gyanták viszkozitása kisebb, mint a telítetlen poliésztereké, hő fejlődése kisebb, ezért a zsugorodása is kisebb.

A kompozitok alapanyaga lehet még a szilikon. Elektromos szigetelők esetén alkalmazhatják, ahol a szigetelő magja üvegszál, és azt egy szilikongumi burkolat veszi körül, amely víztaszító hatású, ugyanakkor önregeneráló képességgel rendelkezik, így az iparban is nagy előszeretettel használják.

2.2 A polimer kompozitok vázanyagai

Polimer kompozitok esetén a szálak lehetnek természetes, ásványi eredetű, természetes alapú mesterséges vagy mesterséges szálak egyaránt. Ezt az alábbi, 1. táblázatban szeretném összefoglalni.

1. táblázat: Szálak csoportosítása eredet szerint [1]

Szálak eredete			
természetes	ásványi	természetes alapú mesterséges	mesterséges
len, kender, szizál	kerámia, bazalt	viszkóz, acetát	üveg, szén, aramid, HOPE

A szén,-üveg, aramid,-polietilén szálak alkalmazása a leggyakoribb köszönhetően előnyös tulajdonságainak.

Az üvegszálak polimer kompozitok megjelenése az 1930-as évekre tehető. A későbbiekben, a 40-es években a szénszálak, míg a 90-es években a vasbeton esetén jelentettek nagy előrelépést a műszaki életben. Új áttörésnek tekinthető az utóbbi években az üveghab illetve az üveggyöngy megjelenése.

A hétköznapi üvegnek nincs igazán különleges tulajdonsága, leszámítva a vegyszerekkel szembeni nagyfokú ellenállóképességet. Viszont törékeny, rideg, és rugalmatlan anyag.

Az üveg szálként való alkalmazásával azonban e tulajdonságai megváltoznak, rugalmassá, hajlékonnyá válik, valamint szilárdsága is növekedik. A szálakat pászma vagy fonal formájában hasznosítják, ezeknek azonban a szilárdsága csökken, mivel a szálak nem egyformán szakadnak el.

Az üvegszálak viselkedése leírja a Hooke-törvényt, azzal a különbséggel, hogy míg a fémek megfolyznak, addig az üvegszál előjel nélkül szakad el.

A szálakra nem jellemző a hiszterézis, csupán korrozív hatások figyelhetők meg. Összességében tehát molekuláris, belső ok nem befolyásolja a működésüket, csupán a külső tényezők vannak hatással az üvegszálakra. E szálak biztosítják a teherviselést, a szilárdsága, hajlékonysága miatt. Vegyszerekkel szemben is ellenáll, egyedül a hidrogén-fluorid (HF) okozhat károsodást.

A szálak gyártásának lépései, az alapanyagok összekeverése, olvasztása, elemi szál húzása, feldolgozása.

Az ún. E üveget használják a szálak készítésekor, amely érzékeny az alkáli-tartalomra, és a megfelelő tisztaságra is. Az itt feldolgozásra kerülő anyagok még nagyobb tisztaságú, mint az ipari, speciális üvegeké.

Az alábbi, 2. táblázat az üvegszál-gyártás alapanyagait és százalékos mennyiségeit foglalja össze.

2. táblázat: Az üvegszál gyártás alapanyagai [4]

vegyület	m/m (%)
SiO ₂	54
Al ₂ O ₃	14
H ₂ O ₃	10
CaO	21
Na ₂ O+K ₂ O	1

Az alapanyagokat, miután rendelkezésre állnak a megfelelő mennyiségek, összekeverik.

Az olvasztást egy speciális, földgáztüzelésű kemencében végzik, amely három részből, az olvasztóból, a pihentetőből és az adagolócsatornákból áll, amelyben a platinából készült húzószerszám található

Az olvasztás 1500°C-on történik .A gravitáció hatására az üvegolvadék átáramlik a platinapersely alján található nyílásokon. A kapott szál átmérőjét a sebesség, a hőmérséklet, a fúvóka átmérője határozza meg. Ezt követően a szálakat tekercsekbe csévélik fel. Az így kapott szálakat a járműipar, a mezőgazdaság használja fel.

Üvegből készült szálak, gyöngyök és hab alkalmazása szintén elterjedt. A különböző keverékkészítési eljárások során már a 60-70-es évektől kezdve használják az üveggyöngyöket, melynek egyik előnyös tulajdonsága, hogy az üvegszálak mennyisége csökkenthető velük. Az utóbbi évek rohamos fejlődésében azonban az egykor alkalmazott üveggyöngyök már nem tudták biztosítani a velük szemben támasztott követelményeket, többek között a fellépő nyírószilárdságnak. Figyelembe kell venni a feldolgozás során azt, hogy a túlzottan nagymértékű nyírószilárdság esetében a töltőanyagként funkcionáló gyöngyök eltörhetnek, melynek eredményeként a mechanikai tulajdonságok tönkremehetnek. Az üveggyöngyöket polimer ömledékbe helyezve, majd egy keveredést biztosító elemmel keverni. A korábban leírtak alapján külön figyelmet szentelve a mátrix és a második fázis

anyagára érdemes lehet a gyöngyöket valamilyen felületkezelő eljárásnak alávetni, mely biztosítja a megfelelő „tapadási” kapcsolatot az üveg és a polimerfázis között. Ezt a célt szolgálhatja például szilán.

Viszonylag újdonságnak számít az üveghabok alkalmazása, melynek menete az üvegolvadék valamilyen habképző szerrel való kezelése. Az extrúderbe engedve az olvadékot egy adott nyomáson extrudálják, miközben hozzáadják a habosító szert, majd lecsökkentve a nyomást a habosodás megkezdődik. Ennek eredményeképp egy kemény, szilárd hab keletkezik, melyet aprítva hozzáadnak a polimer ömledékhez. Így egy olyan anyag nyerhető, amely nagy térfogatú, ugyanakkor kis tömeggel rendelkezik. Azonban az alkalmazás során figyelembe kell venni, hogy az üveghab rendkívül törékeny.

Az üvegszálak előállítása során az üveg ömledékből szálakat húznak, melyek átmérője néhány μm . Ezeket a szálakat természetesen védeni kell a különböző káros hatásoktól ún. írező anyagokkal. Az üveggyöngyökhöz hasonlóan itt is számolni kell a mátrix és az erősítőfázis közötti megfelelő kapcsolat szükségességével, amelyet elsődleges kötések segítségével, epoxigyantával, szilántartalmú vegyületekkel. előnye az olcsósága, ellenáll az UV sugárzásnak, ugyanakkor nagy sűrűség, kopási problémák is előfordulhatnak.

A szénszálak jelentik a műszak élet legnagyobb vívmányának. A különböző elektronikai, gépipari termékek esetében igen gyakran alkalmazott szálak, így például az űrtechnikában, a sportcikk tervezése és kivitelezése során használják. A gumiabroncsok koromadaléka szintén minőségi változást jelent.

A grafit elektromos vezetőképességét számos műszaki alkalmazás alapjául szolgál.

Manapság egyre elterjedtebb a nanotechnológia új vívmánya a nano széncsővecskék használata. A szénszálerősítés előnyei a jobb szilárdsági jellemzők, a kisebb sűrűség, a jó hővezető képesség, az antisztatikus tulajdonságok, valamint a teljesen sima felület

A felhasználási terület szénszálal erősítésű polimerkompozitok esetén igen széles körű. A fent említett tulajdonságok közül antisztatikus hatás miatt fóliatermékek, csőtermékekhez, műanyag lemezek gyártására használatos. (Ez utóbbi esetben a nagy szilárdság miatt).

További alkalmazási területek a szivattyúk, fogaskerekek, lökhárító.

A szénszálak gyártása két fontos lépést foglal magába: az elszenesítést és a grafitizálást. Fontos, hogy a polimerszálakat úgy szenesítsék el, hogy közben ne olvadjon, ne károsodjon meg. A szálak felhasználásának számos előnye van, többek között a mechanikai sajátosságok érdemelnek említést, így például a sűrűsége, rugalmassági modulusa, magas szilárdsági

értékei. ezzel szemben a gazdasági tényezőket figyelembe véve megállapítható, hogy magas költségeket hordoz, valamint rideg.

A golyóálló mellény szép példája az aromás poliamidok, más néven aramid szálak feldolgozhatóságára. A golyóálló mellények korábbi anyaga valamilyen állati szőrme vagy prém volt, azonban a háborúszakok, csatározások megkivánták az újabb anyagok e célra történő kifejlesztését, s ennek kiváltására kerestek olyan anyagot, amely a lövedékeknek ellenáll, ugyanakkor viselése sem jár nehézségekkel. Ennek eredményeként született meg a kevlar. Manapság a szénszál erősítéses termékek esetében kétféle kötést különböztetnek meg: a para- és a metakötést. A kevlar ezek közül metakötéssel rendelkezik.

Az alábbi táblázattal (3. táblázat) azt szeretném szemléltetni, hogy e szálak alkalmazása miért is előnyös más anyagokhoz viszonyítva.

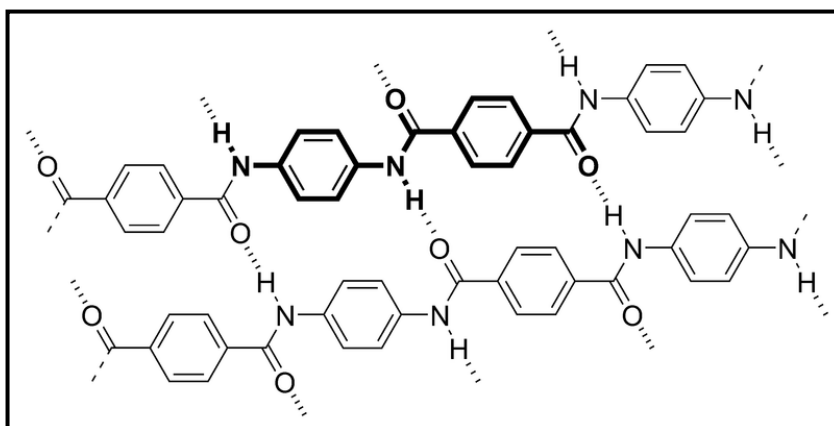
3. táblázat: A különböző szálak hatása a tulajdonságokra [5]

Anyag	Folyáshatár (MPa)	Legnagyobb feszültség (MPa)	Sűrűség (g/cm ³)
Polipropilén	12-43	19,7-80	0,91
Nagy szilárdságú ötvözt acél	690	760	7,8
Kevlar	3620	-	1,44
Réz 99,9 Cu	70	220	8,92

A kevlar aromás, térhálós, kis sűrűségű, 200-250 °C –ig használható poliamid szál.

A kevlar „erőssége”, hogy nagy szakítószilárdsággal rendelkező, mesterséges, organikus rostanyag. Előnyös tulajdonsága abban rejlik, hogy erős, ugyanakkor nagyon könnyű is. Ellenáll víznek, rugalmas, viszonylag olcsó, a rostsálaknak köszönhetően erős.

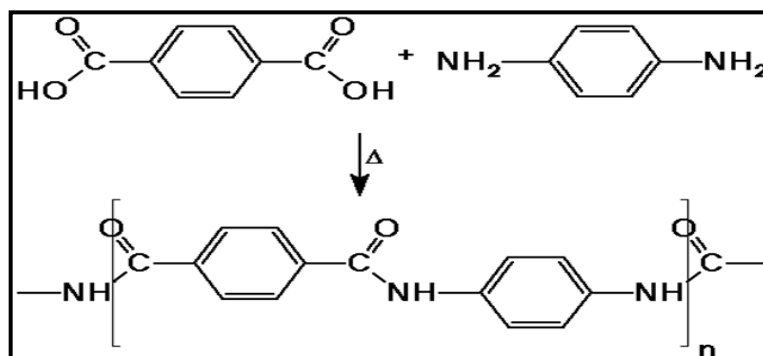
A következő képen (4. ábra) a poliamid molekulaszerkezete látható:



4. ábra A poliamid molekulaszerkezete [6]

A táblázat alapján látható, hogy az a Kevlar folyáshatára a többi anyaghoz képest meglehetősen nagy. (Az anyagok folyáshatára azért is fontos, ugyanis megadja azt a feszültséget, melyet az anyag maradó alakváltozás nélkül még elvisel.) Ehhez képest a PP folyáshatára elenyésző.

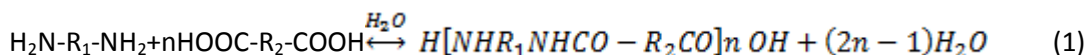
A következőkben a kevlar szálak gyártását szeretném bemutatni. (5 ábra)



5.ábra: Kevlar szálak [7]

Látható, hogy a főláncban benzolgyűrűk találhatók, melyeknek kedvező hatása, hogy jelentősen megnöveli a láncok, s ez által az anyag szilárdságát. A szilárdság pedig elengedhetetlen ezeknek a mellényeknek a használatakor. Az észterek és amidok monomerjei többlépéses reakcióban, többfunkciós monomerekből keletkeznek. Egy disav és egy diamin polimerizációjával jön létre. A disav olyan szerves kémiai vegyület, melynek molekulája két karboxilcsoportot tartalmaz, míg a diamin esetében két -NH_2 csoportot. A kevlar a legnagyobb

szilárdságú aramid-szál. (az aramid-szál aromás poliamid.) Az aramid szálból készült anyagok nagy energia-elnyelőképességük miatt jól használható golyóálló szerkezetekhez. A reakcióban (1. egyenlet) az is látható, hogy a főláncban –CO-NH-kötést is tartalmaz. Heteroláncú polimereknek tekinthető. A kevlar előállítása diamin és dikarbonsavak heteropolikondenzációjával történik. Azaz:



A kevlar további előnye, hogy tűzálló és a hőnek is ellenáll. 1600°C-on is még ugyanolyan erős, nem olvad meg a tűzben.

A korábban említett tulajdonságokból kiindulva a poliamid szálak népszerűsége a jó dinamikai, szilárdsági, rugalmassági tulajdonságainak köszönhető, ugyanakkor UV-val szembeni ellenálló képessége csekély és viszonylag drága.

További szálakat is alkalmazhatnak erősítés céljából. Ilyen például a polietilén szál, amelynél gondot okozhat az első és második fázis közötti kötések kialakulása. A már korábban említett gumiabroncsok esetében acélszálakat használnak erősítésre.

A szénszálakat az űrtechnikában jelentettek fejlődést. A szénszálak alapanyaga lehet cellulóz, PAN vagy szurok.

A szénszálak pirolízissel állíthatók elő, ebben az esetben ez a folyamat lépcsős mechanizmusú. Jellemző, hogy a pirolízis ellenőrzött atmoszférában, oxidáló közegben.

A gyártás különböző, függően a kiindult alapanyagtól. Az előállított szálak esetében egy utókezelés szükséges, majd ki kell alakítani a rá jellemző tulajdonságokat, végül társítani kell a mátrixanyaggal. Összességében azonban felfedezhető egy séma: stabilizálás, karbonizálás, grafitizálás. Az első lépés egy előkezelésnek is tekinthető. A karbonizálás egy viszonylag magas hőmérsékleten végbemenő hőkezelés, amely során a szénen kívül kiegészítik azokat az anyagokat, amelyek a keletkező szálakat szennyeznék, rontanák. A grafitizálás során állíthatóak be a végleges tulajdonságok.

A szálgyártás műveletében érdemes elemezni a kihozatal fokát. Cellulóz ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n esetében, ahogy az a képlet alapján is megállapítható, a széntartalom 44%, a termelés során ez még tovább csökken, így a kihozatal 25%, ugyanakkor azt is figyelembe kell venni, hogy lassú a folyamat. A PAB (C_3H_3)_n alapanyagú technológiáknál ez az érték már 45%, míg szurok esetében 90% a kihozatal.

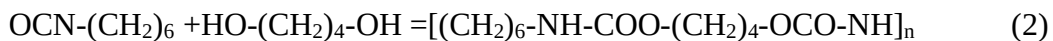
A cellulóz szál előállítása a leglassabb, ráadásul a kihozatal is a leggyengébb, ezért nem is terjedt el annyira, mint a PAN vagy a szurok-szál.

A PAN-szál gyártása a korábban leírt stabilizálás, karbonizálás, grafitizálás hármasa. A stabilizálás 220°C, ezután a szál karbonizálódik, ez 1000°C-on megy végbe, s ennek során kialakul a szálak között a kötés oxigénhidak segítségével. Végül a harmadik lépésben a 3000°C-on kiizzítják, ekkor nyeri el végleges tulajdonságait.

A szurokszálak előnye, hogy könnyen, gyorsan, nagy mennyiségben kitermelhető, nagy szilárdságú, ezzel szemben törékeny.

Szendvicsszerkezetnél a második fázis anyaga rendszerint habosított, mint a PUR vagy a PP, ezen kívül találkozhatunk még alumínium, papír, polimer vagy fa fázissal is.

A PU-szálakat szálerősítő vázanyagként használják. a reakciót a következő séma szerint lehet leírni(2. egyenlet):



3. Szálerősítéses polimer kompozitok

A szálak használata egyre inkább elterjedtebb a kompozitok műszaki alkalmazása során. Az űrhajózás, hadiipar, autó és motorsport közkedvelt anyagává vált, köszönhetően kis tömegének, olcsó és könnyű előállításának, illetve a befoglaló anyag és szálak sokszínűségének.

A szakirodalom a szálas kompozitokat három nagy csoportba sorolja:

- rövid szálas kompozit, amelynek mátrixa hőre lágyuló polimer
- rövidszál, illetve szál és töltőanyag-tartalmú polimerek
- hosszúszál erősítésű térhálós polimerek

A szálas kompozitok esetében az adhéziónak kiemelkedően fontos feladata van. A szálak viselik el a külső terheket, a mátrixanyagnak közvetítő szerepe van a szálak között. Ehhez azonban elengedhetetlen az adhézió megléte. Térhálós anyagok esetében ez nem okoz különösebb problémát, ellenben a hőre lágyuló polimerekkel, ahol sokszor felületkezelésre van szükség.

Szálerősítéskor a szálak orientációja jelentős. Megfigyelhető ugyanis, hogy a szálak irányába a szilárdsági tulajdonságok megváltoznak. Jellemző továbbá, hogy más lesz a zsugorodás is szálak használatával, amely ha nem megfelelő a szerszám kiképzése-akár a termék vetemedéséhez is vezethet.

A korábban vázolt különböző szálak, így az üvegszál a feldolgozás során eltöredezhet, amelynek hatására megváltozik annak eloszlása, valamint mérete, befolyásolva ezzel a termék minőségét.

4. Kapcsolat a szál és mátrix között

A megfelelő minőségű és tulajdonságú, a különféle igénybevételeknek ellenálló polimer kompozitok esetében lényeges a mátrix és a töltőanyag között kialakuló kontaktus.

A szálak és a mátrix között egy határfázis és egy határfelület található. A határfázis 3D-s, míg a határfelület 2D-s, dimenzionáltságát tekintve. A határfázis mérete a néhány μm -tól a több ezer nanométeres tartományig lehetséges.

A szál-mátrixkötés létrejötte többféleképpen valósulhat meg. Létrejöhet például mechanikai, fizikai-kémiai és mechanikai úton:

- mechanikai: például a mikroporozitás, felületi érdesség hatására morfológia)
- fizikai-kémiai: diszperzív erők és dipólus kölcsönhatás
- kémiai: szálak funkciós csoportjai által (kovalens kötés)

A szálak határfelülete sokkal nagyobb lehet, mint az a geometriájából közvetlenül következne. Ez a felületén lévő repedésekkel magyarázható. A szálak és a mátrix között létrejövő határfelületi tapadás mértékét a határfelületi szabad energia adja meg.

A szálak és a mátrix között megfelelő kontaktus létrehozásának feltétele, hogy a szálakat a mátrix anyaga megfelelően nedvesítse, valamint a szálakat a mátrixanyag körbeburkolja.

Kompozitok esetén az alábbi erőkkel kell számolni:

- adhéziós erő: a felületet körbevevő anyagok vonzásereje
- kohéziós erő: az anyag belsejében lévő molekulák között.

Ha az adhézió termodinamikai munkája nagyobb, mint a polimer kohéziós munkája, a kötés megfelelő.

Előfordul az az eset is, amikor e hatások nem érvényesülnek. Ennek javítására szolgálnak a különböző felületkezelési eljárások.

Némely esetben egy határréteg jön létre a mátrixanyag és a töltőanyag között. Ilyen akkor lehetséges, ha a két alkotó között egy elasztomerréteg keletkezik, amely spontán is kialakulhat vagy mesterséges úton is. A polimer- töltőanyag-elasztomer szerkezet feszültségeloszlása is megváltozhat, köszönhetően ennek a különleges struktúrájának.

Olykor felületaktív anyagot is használnak a probléma elkerülésére. Ilyekor a töltőanyag felületét szerves anyaggal vonják be, ennek hatására a felületi feszültség csökken. A felületaktív anyag két részből, egy poláris és egy apoláris részből áll, s ennek rendeződése

alakítja ki a kívánt kötést. A poláris rész a szálak felülete irányába áll be, míg az apoláros rész orientálódik a polimer mátrix felé.

Reaktív kezelést is alkalmazhatnak a meglévő mátrix-szál kompozíció javítására. Ebben az esetben kovalens kötések hoznak létre a töltőanyag és a polimer között. E kontaktus kialakításának a feltétele a megfelelő reaktív csoportok jelenléte a mátrixanyagban, a szálakon illetve a kapcsolóanyagon.

Poliolefinek esetén polimer réteg használata hozhatja meg a kívánt eredményt.

A polimer réteg kialakítása a poláros részek módosítása okozza. A módosított poláris részek a szálakhoz kapcsolódnak, míg az apoláros részek adszorbeálódnak a polimerbe, amely szilárdságnövekedést is okozhat.

A fenti módszerek valamelyikével módosított felület már alkalmassá válik a megfelelő kompozit szerkezet létrehozására.

5. A polimerkompozitok feldolgozása

5.1 A hőre lágyuló polimerkompozitok gyártástechnológiája

A hőre lágyuló műanyag kompozitok feldolgozásához természetesen hőbevitelre van szükség. A következőkben a polimer alapanyagok megmunkálásának ismert módszereit szeretném részletezni.

A hőre lágyuló polimerek egyik csoportját a hagyományos technológiákkal, mint a fröccsöntés, extrúzió feldolgozható, azonban más fajtájukhoz speciális eljárásokra van szükség. A hőre lágyuló anyagokhoz használt berendezések esetén a következő szempontokra van szükség:

A szálerősítéses kompozitok esetén számolni kell a koptatóhatással, melyet a vázanyag, a szálak okoznak. A szerszámot érő koptatóhatást befolyásolhatja az, hogy az erősítésnek milyen a geometriája, azaz egy szálerősítés jobban koptat, mint az üveggyöngy. Az alaki tényező, vagyis a hossz és keresztmetszet aránya szintén meghatározza a szerszám kopását, továbbá az is lényeges, hogy a kompozit viszkozitása- köszönhetően a vázanyagnak- jóval nagyobb, mint a hagyományos polimerömladéké. Itt jóval nagyobb nyíró igénybevétellel kell számolni.

A szálak töredezése, szakadása esetén ismét foglalkozni kell a nyírással, hiszen a kompozitok esetén ez jóval magasabb értéket képvisel, mint a polimer ömladékeknél. A szálak hossz és keresztirányú aránya, vagyis az ún. alaki tényező szintén érdekes lehet itt, ugyanis az alakadás során, ahogy a szálak elszakadnak, ez az érték megváltozik, akár egy nagyságrendnyit is. Ez természetesen a későbbi tulajdonságokat is befolyásolhatja, esetenként akár a szilárdsági értékeket is lecsökkentheti, valamint anizotrópiát is okozhat.

Az alakadás során orientálódás is lehetséges, amely lehet előnyös is. A feldolgozás során a polimer molekulák orientálódnak, amely hatásra a hozzáadott, segítő adalékanyagok is rendeződnek. Előfordulhat az az eset is, amikor hosszirányba a rugalmassági modulus megnövekszik, ezzel szemben a rá merőleges, keresztirányú szilárdság lecsökken, így a szálerősítés előnye nem érvényesülhet.

Összességében tehát megállapítható, hogy a hőre lágyuló polimer mátrixú kompozitok feldolgozása a polimerömladék feldolgozásának sémájára alakítható, csupán egy-egy

paraméternyi eltérés jelentkezik. A megfelelő kritériumok figyelembe vételével, a jó eszközválasztással a polimer kompozitok feldolgozhatóak.

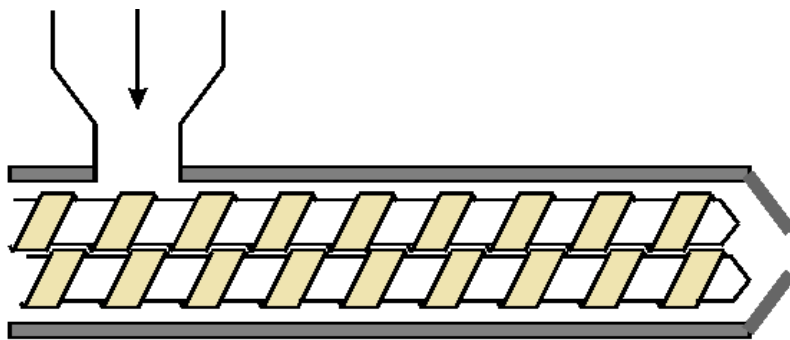
Az ún. termoplaszt polimerek esetén a feldolgozási eljárások:

– termoformázás, extrúzió, extrúziós fűvás, fröccsöntés, fröccsfűvás, rotációs öntés kalanderezés

5.1.1 Extrúzió

A kompozit előállítása ömledékkeveredéssel történik, melyet egy kétcsigás extrúder biztosít. Az itt fellépő nagy nyíróhatás eredményeképp egy homogén keveredés során egy granulált termék keletkezik.

Az alábbi ábrán egy kompozit gyártáshoz alkalmazott extrúder sematikus vázlata látható (6.ábra).



6. ábra: Kompozit gyártáshoz használt extrúder [8]

Az extrúdert működés szempontjából három zónára, az etető, kompressziós és homogenizáló zónára oszthatjuk.

Az extrúder elején egy csigaprés található, a „menetemelkedés” kisebb, mint a vége felé. A csiga tehát nem közönséges csiga, azaz egy olyan csiga, amely csupán szállítást végez, hanem egy olyan, amelynél jellemző, hogy a csiga vége felé haladva az anyag nyomás alá kerül. Annak érdekében, hogy ne történjen visszaáramlás, precíziós megmunkálás szükséges.

Az alapanyagot a garatba helyezik. A csigát variátoros láncsal hajtják.

Az extrúdert a hajtás és az anyagáramlás szempontjából célszerű jellemezni. Anyagáramlási viszonylatban a következők mondhatóak el:

A garatba az alapanyag gravitációs úton kerül, majd egy lapátos keverő berendezés segítségével az adalékanyagokkal összekeverik. Ezután a csigahengerre-mint szilárd anyag – esik, ez a csiga előre továbbít. A csiga fűtés alá kerül, ugyanakkor a kompressziós viszonyok is megváltoznak, melynek hatására a polimer alapanyag halmazállapota és sűrűsége megváltozik. A csiga közepénél egy ömledék dugó keletkezik, amely megakadályozza az ömledék visszaáramlását. Az ömledéket a szűrő megszűri, a törőlap az áramállandósítást és a nyomásfokozást biztosítja.

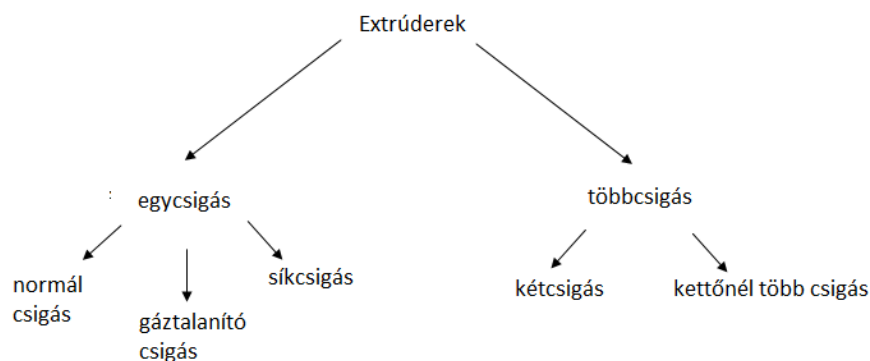
Az ömledék ezt követően a komfúzortérbe jut, ahol a nyomási energia sebességi energiává alakul, lehetővé téve ezzel a kiextrahálást. Az ömledék az extrúder szájnyílásán keresztül hagyja el a berendezést, az közvetlenül az extrúderszerszámba megy.

Az extrúder jellemzése hajtáslánc szempontjából is említésre méltó.

A hajtáslánc a csiga hosszú, nagy nyomatékkal történő és folyamatosan szabályozható forgását teszi lehetővé, ami az anyagáramlás szempontjából nélkülözhetetlen. A főhajtó villamos motor tengelykapcsain keresztül variátoros hajtóművön forogtat. Ezek biztosítják a fokozatmentes fordulatszám-változtatási lehetőségeket abban az esetben is, ha jelentős a nyomaték. Ez a hajtómű a tengelykapcsain keresztül az ékszíjhajtáshoz kapcsolódik, amelynek előnye a rugalmasság. A nagyfokú fordulatszám-redukciót fogaskerékes hajtóművek biztosítják. Az agyhoz kapcsolódik, amelynek feladata a csiga tájolása.

5.1.2 A kompozit gyártáshoz használt extrúder jellemzése

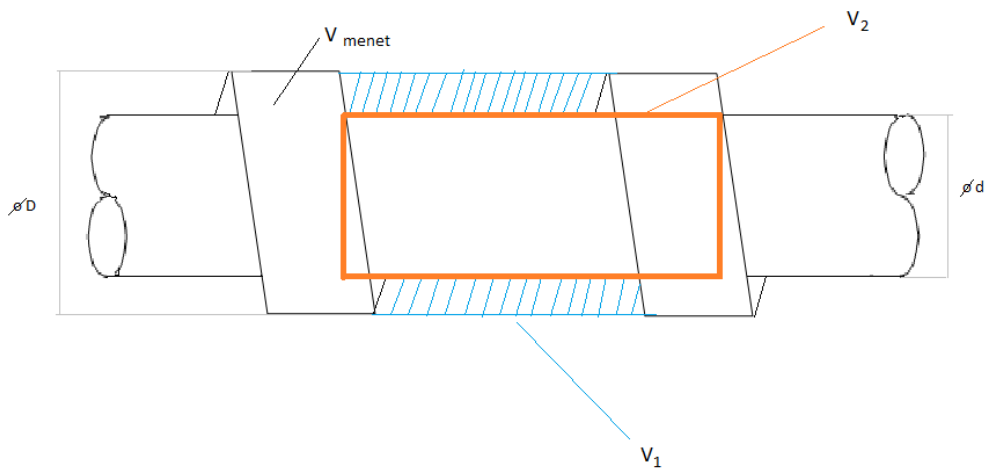
A különböző polimerkompozitok alapanyagainál más-más extrúdercsigát kell alkalmazni. Az alábbi vonalábrán (7. ábra) az extrúder csigák csoportosítása látható.



7. ábra Az extrúderek csoportosítása csigák szerint [9]

A kompresszió összefüggésbe hozható a csiga kivitelezésével. A kompresszió egy dimenzió nélküli szám, amely a sűrítés fokát mutatja. A következőkben a kompresszió értelmezését szeretném taglalni.

Az alábbi képen (8.ábra) egy csiga található a számításokhoz szükséges legfontosabb paraméterekkel.



8. ábra: Extrúdercsiga [9]

A menetmélység az alábbi képlet (3. egyenlet) segítségével számítható:

$$a = \frac{D - d}{2} \quad (3)$$

A kompressziós viszony a következő egyenlettel (4) adható meg:

$$K = \frac{\text{az etetőzóna egy menetének a térfogata}}{\text{a kitolómenet egy térfogata}} \quad [K] \quad (4)$$

$$K = \frac{V_1 - V_2 - V_{menet}}{V'_1 - V'_2 - V'_{menet}}$$

5.2 Flíszgyártás

A flíszgyártás szintén az alapanyaggyártáshoz köthető. Itt többféle megoldás létezik:

- szövés
- kötés
- tűzés

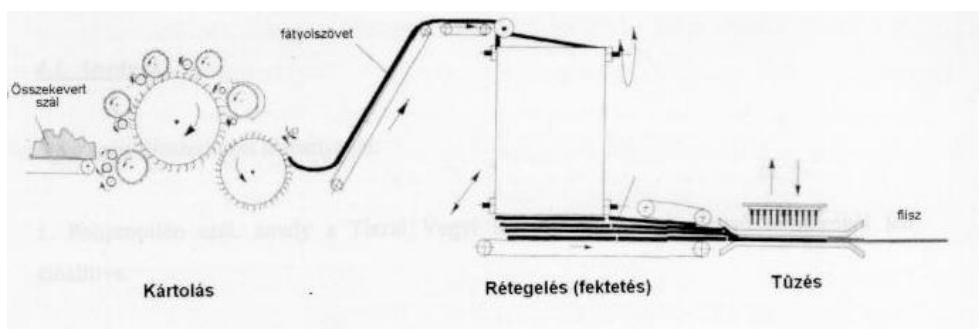
Az eljárás lényege, hogy a fent említett technológia valamelyikével egy „kompozitszövetet” készítenek.

A gyártástechnológia lépései:

- kártolás
- rétegelés
- tűzés

Ennek a technikának az előnye az erősítőszálak mennyiségének rugalmas keretek között történő változtathatósága, valamint a jó impregnálóképesség, hátránya pedig a magas költségek.

Az alábbi ábrán (9.ábra) a flíszgyártás menete figyelhető meg.



9. ábra: Flíszgyártás [10]

Az így kapott alapanyagot a későbbiekben tovább lehet alakítani.

Az extruderezéssel nyert alapanyagot vákuumformázással, kalanderezéssel, míg a flízgyártás során kapott terméket sajtolással valamint vákuumformázható.

5.2.1 Öntés

Formatest gyártása során használják az öntés technológiáját. Főleg betontermékek gyártásánál, ún. műanyagbetonoknál alkalmazzák ezt a technikát.

A gyantakompozíciót összekeverik a vázanyaggal, amely lehet akár szervesetlen is, például kvarchomok. Ezeket összekeverik, majd a formába öntik, összetömörítik rázással, rázógéppel, vibrátorral vagy döngölőgéppel.

A termék nagy szárazanyag-tartalmú alapanyagból nyerhető, s jó húzószilárdsággal rendelkezik.

5.2.2 Centrifugálöntés

Centrifugálöntéssel nagyméretű, hengeres testek, csövek vagy tartályok készíthetők el, s a centrifugális hatásnak köszönhetően a termék méretpontos lesz.

A szerszámba rakják a szálakat valamint a gyantát, amelyhez katalizátort adnak. A centrifugális erő egyenletesen teríti szét az alapanyagot a szerszám fala mentén, majd a hő hatására létrejön a térhálósodási reakció, amely a reakció keveréket a fal mentén tartja. Előnye, hogy a termék külső oldala-mivel az érintkezik a szerszámfallal-méret és alakpontos lesz, ezzel szemben a belső felület minősége rosszabb lesz.

Ezzel a technikával a falvastagság kiképzésére több rétegből történik.

5.3 Hőre keményedő kompozitok gyártástechnológiája [11]

A hőre keményedő kompozitokat pultrúzióval, sajtolással, szórással, vákuuminjektálással, kézi laminálással és tekercseléssel lehet feldolgozni.

5.3.1 Pultrúzió

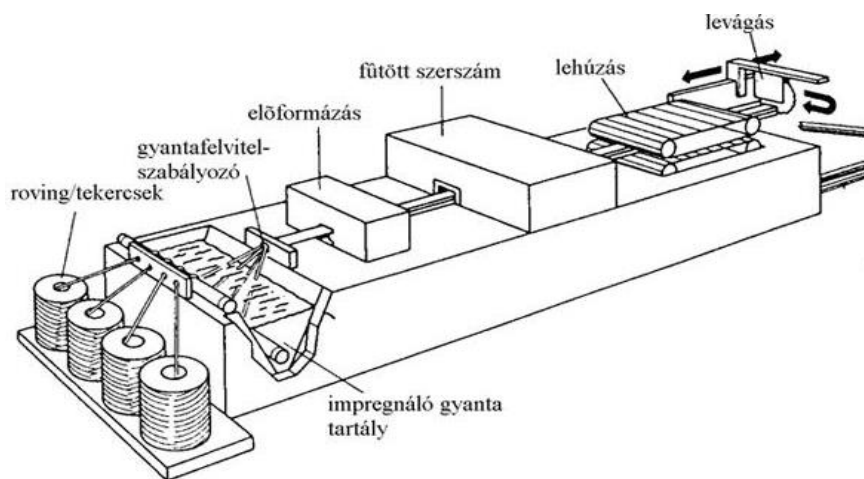
A pultrúzió szó az angol pulling, vagyis húzás szóból ered. Ez utal az alakadás formájára is, ugyanis húzó igénybevétel van jelen. Ezt a technológiát főleg szálerősítéses polimerek esetében használják.

A szálakat gyantával itatják át, majd ezt követően kerül az extrúderhez hasonló szerszámban, ahol húzó igénybevételt fejtenek ki rájuk, mialatt hőhatás éri, vagyis a folytonos szálakat hőre keményedő gyantával impregnálnak. A hő hatására végbemegy a térhálósodási folyamat. A pultrúzióval gyártott termékeknek számos előnye van, ilyen például a hosszirányú szálak biztosított szilárdság, ugyanakkor a keresztirányú szilárdsági értékek javítása érdekében egyéb anyagokat, így például üvegszálakat alkalmaznak.

A pultrúziós eljárás az autóiparban is használatos, ugyanis az autókban alkalmazott műanyagok oldószer és adalékanyag-tartalma a napsugárzás hatására kipárologhat, érdekes szagot hagyva maga után. Az új pultrúziós eljárással azonban elérhető, hogy az üvegszálak, a mátrixanyag és a műanyag, például PE vagy PP megfelelően tapadjanak egymáshoz.

A pultrúziós eljárás összességében azoknál a termékeknél használják, ahol megkövetelik a hosszirányú nagy szilárdsági értékeket.

Az alábbi képen (10.ábra) egy pultrúziós berendezés és annak működési mechanizmusa követhető végig.



20. ábra: Pultrúziós berendezés [11]

5.3.2 Laminálás

A laminálás vagy más néven rétegelés a hőre keményedő műanyagok egyik legismertebb alakadási módszere. A technológia lényege, hogy a különböző rétegeket kézi kivitelezéssel egymásra illesztik. Több, akár 10 vagy 20 réteg is illeszthető egymásra. A kapott réteg tulajdonságait ez természetesen befolyásolja. Az egyes rétegek, és a gyantaszorok változtatják egymást. A szélek, sarkok esetében azonban megvastagodott rétegelés figyelhető meg.

A lamináláshoz használt pozitív és negatív szerszámfeleket formaválasztóval kezelik annak érdekében, hogy a terméket könnyen el lehessen távolítani a szerszámból. Ezután kerülnek felhordásra az egyes rétegek, amelyek közé erősítőanyagot tesznek. Fontos, hogy az igénybevételeknek, így például környezeti hatásoknak, mechanikai igénybevétellel szemben ellenálló legyen. A legkülső gyantás réteg felvitele után a teherbíró rétegeket viszik fel görgők, ecsetek segítségével. Itt lényeges, hogy ne kerüljön levegő a rétegek közé, amelyet görgözéssel valósítanak meg.

Ennek a módszernek az előnye, hogy olcsó, nem igényel bonyolult berendezéseket, a mechanikai tulajdonságok a korábban említett pultrúzióhoz képest csekélyebb, az alkalmazott alapanyagok miatt egészségkárosító, szép felület, kis vagy közepes ciklusszám érhető el vele.

A laminált termékeket éppen ezért az űrtechnikában és a hajógyártásnál használják.

5.3.3 Sajtolás

A sajtolás nagy műltra visszatekintő feldolgozási módszer hőre keményedő műanyagok, illetve ilyen mátrixú kompozit anyagok esetén.

A sajtolás folyamán a mátrixanyagot és az erősítőanyagot már előre összekeverik, és így kerül a szerszámfelekbe a további alakításra. Többféle sajtolószerszámot különböztetnek meg, így beszélhetünk például egyhatású, kéthatású, kvázi kéthatású sajtoló berendezésekről.

Az egyhatású sajtoló berendezés működési elve a legegyszerűbb. A berendezés alsó és felsőbélyegből, matricából és formaüregből áll. A formaüregbe kerül a portöltet. A sajtolás fűtést igényel. Az alsó bélyeg rendszerint rögzített, alátámasztással rendelkezik, míg a felsőbélyeg mozgatható, egyirányú mozgása eredményezi a sajtolást. A sajtolás a formaüreg porral, tablettával vagy performával töltésével kezdődik, majd ezt követően végbemegy az elősajtolás. A következő lépés a melegítés, ekkor indulnak meg a különböző reakciók, majd a fősajtolás, s végül a kibakelizálás folyamata jön. Végül a terméket kiemelik.

A kibakelizálás egy hő hatására végbemenő hőtermelő folyamat, amely megkívánja, hogy a matrica fűthető legyen. Ezért a matricánál csövek találhatók, amelyeket gőz segítségével fűtenek, majd a levegővel kifűjnek, s ha szükséges, akkor víz által hűtenek- A vízhűtés a beégés ellen nyújt védelmet.

Előfordulhat azonban az az eset is, hogy a sűrűségi viszonyok nem állandók, köszönhetően annak, hogy a véglapok felé haladva a sűrűség lecsökken, ugyanakkor az átmérő mentén sem egyforma értéket képvisel, ugyanis középen kisebb, míg a széleken nagyobb. Ez a termék minősége szempontjából hátrányos lehet. Ennek elkerülése érdekében csúsztató anyagot, például cink-sztearátot használnak.

A kéthatású sajtolás esetén a testet két irányból egyszerre éri az erőhatás.

A kvázi kéthatású sajtolás az előző két eljáráshoz viszonyítva előnyösebb, köszönhetően a berendezésbe épített rugós kivitelezésnek. A rugó lehetőséget biztosít a matrica mozgására, egy erőhatás van, ugyanakkor számolni kell az ellenerőre is, emiatt tekinthető kvázi kéthatású sajtolásnak.

Megkülönböztetünk ugyanakkor BMC, SMC és GMT típusú sajtolásokat.

A BMC szálerősítésből és márixanyagból áll, a SMC tekercs formában tárolt, lemez formájú kompozit előtermék, míg a GMT hőre lágyuló polimer erősítőszálakkal.

Az SMC előgyártmány az ismertebb. Itt szálerősítéses polimer kompozitról van szó. A szálak aránya 30-40%, ezen kívül tartalmaz még telítetlen epoxigyantát, amelynek 30%-a polisztirolból áll.

A folyamathoz passzív és aktív adalékanyagokra egyaránt szükség van. Az aktív adalékok, így a ZnO és MnO azért szükségesek, hogy a gyantának nagy viszkozitás növekedést biztosítson, a passzív anyagok pedig egyfajta töltőanyagként is tekinthető, továbbá csökkenti a nyomás alatt, magas hőmérséklet esetén fellépő zsugorodás veszélyét, többet között PE-por, talkum segítségével.

A sajtolás PE fóliák között valósul meg úgy, hogy a beadagolt gyantából, adalékokból, és üvegszálakból kialakítják a tekercselésre alkalmas, képlékenyen alakított előterméket. Először a keverék ömledék állapotú, majd megfolyik, miközben kitölti a szerszámüreget Ezt követően megnövekedik a viszkozitás az iniciátor hatására, és kialakul a térhálósított, szálerősített kompozit-rendszer.

A sajtolás nagy sorozatszámú termékek gyártása esetén jelent nagy előrelépést, a hozzá alkalmazott fémszerszámnak valamint a szerszámfelek precizitásának köszönhetően alakpontos termék állítható elő rövid ciklusidővel és hosszú sorozatokban.

Sajtoló kompozit termékek például az autóiparban a burkolatok, az ajtókárpit, amelyeknél a fent említett tulajdonságok elengedhetetlenek.

5.3.4 Hidegsajtolás

Kompozitok előállíthatók hidegsajtolással is. A módszer előnye az alacsony hőmérséklet, a kis nyomás, s az ebből fakadó olcsó kivitelezés. Nagy méretű termékek kis sorozatban történő előállítása során a hidegen keményedő, már előimpregnált anyagot fűtés nélkül nyomják össze a szerszámban, végül kikeményítik. Mivel kis sorozatszámokban történik az előállítás, ezért ez a módszer nem annyira hatékony, mint a hagyományos sajtolás.

5.3.5 Fröccsajtolás

A fröccsajtolás technikáját rövid szál erősítésű polimer kompozitok esetében használják, ahol a szálak hossza 5-10 mm.

A feldolgozásra kétféle lehetőség van. Az egyik megoldás szerint a szálakat előzetesen felvágják, majd impregnálják (BMC). A másik variáció alapján a szálakat előzetesen impregnálják, s a fröccsajtológép hengerei végzik el a méretre vágást.

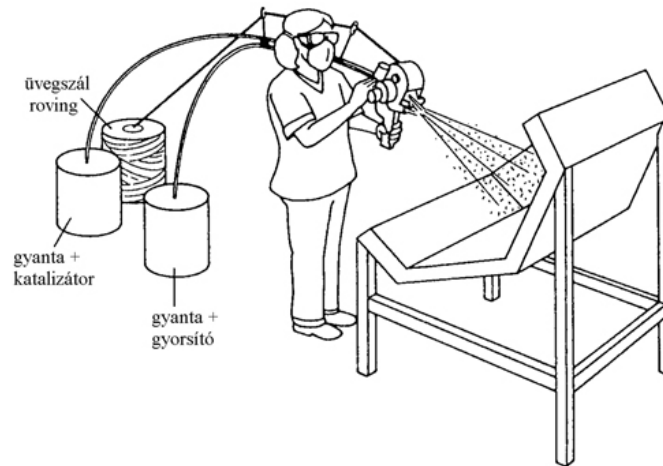
Így évente 10^5 db terméket lehet előállítani. A célszerűség miatt a szálakat nem orientálják, ennek köszönhetően azok szilárdságnövelő hatása nem érvényesül.

A fröccsöntéshez hasonló termék biztosítató ezzel a technikával.

5.3.6 Szórás

A szórás a lamináláshoz hasonló eljárás. Lényege, hogy az üvegszálat, a gyantát és a hozzá szükséges iniciátort és a gyorsítót a felületre egy erre alkalmas berendezéssel viszik fel.

A technológia előnye, hogy akár függőleges felületre is történhet szórás.



31.ábra: Szórás művelete [11]

A fenti képen (11.ábra) a szórás folyamata látható. A berendezésbe juttatás sűrített levegő segítségével történik, az üvegszálat és a gyantát egy fej segítségével keverik össze. Fontos azonban, megakadályozni, hogy levegő kerüljön a keverékbe

5.3.7 Vákuuminjektálás

A polimerkompozitok tulajdonságait biztosító erősítőszálak között gyanta található, amely azért szükséges, hogy e szálak között kapcsolat biztosítva legyen, azonban a gyanta mennyiségének minimalizálása a cél, hogy a termékben az erősítő szálak aránya a gyantához képest minél nagyobb értéket képviseljen. A szerszám formaleválasztás utáni gélezése jelenti az első lépést. Miután ez a gél megkötött, akkor készítik el a laminátumot. A művelethez letépő szalagra is szükség van, ami azt a célt szolgálja, hogy a vákuum által kiszívott gyantát eltávolíthatják a szövettel. A következő a lyukacsos fólia felvitele, majd egy vákuumvégtelenítő szalaggal fóliát ragasztanak fel a szerszám szélére, a filcet is ráhelyezik. Ennek a feladata, hogy a felesleges gyantát felszívja. A vákuumfólia kerül fel végleg, amelyet a szerszám széléhez szalaggal rögzítenek, A vákuum fóliába egy szelep kerül beépítésre.

A vákuuminfúzó során az erősítő anyagot a szerszámba helyezik. A gyantát vákuum segítségével szívják be. Erre a célra gyantavezető csöveket alkalmaznak, ahol az anyag nyomáskülönbség hatására áramlik a forma szélétől a közepe felé, ugyanakkor a kiáramlást

biztosító csomagon a vákuum hatására eltávozó gyanta kiáramlik, s ez az áramlás mindaddig tart, amíg a gyanta légbuborékmentesen nem távozik.

5.3.8 Szendvicsszerkezetek kialakítása

A különböző alkalmazott anyagok miatt a szendvicsszerkezetek felhasználása, köszönhetően annak sokszínűségének napjainkban egyre inkább elterjedt.

A szendvicsek kialakításakor figyelembe kell venni, hogy a két fedőlemez, valamint a köztes fázis egy komplett, összetett anyagként legyen kezelhető, jelentsen egy egységes anyagot. A köztes fázis beépítésének hatására a szilárdsági, hajlítási tulajdonságok javulása idézhető elő, ugyanakkor a különböző rétegvastagság is befolyásolja ezeket a jellemzőket.

A szendvicsszerkezetek felépítésére többféle megoldás létezik. Az egy ilyen lehet, hogy a fedőrétegek közé rakják a második fázist, amelyet ezt követően habosítanak, melynek eredményeként a maganyag hozzátapad a két lemezhez, illetve ennek egy változata, amikor a magot a két réteg közé ragasztják.

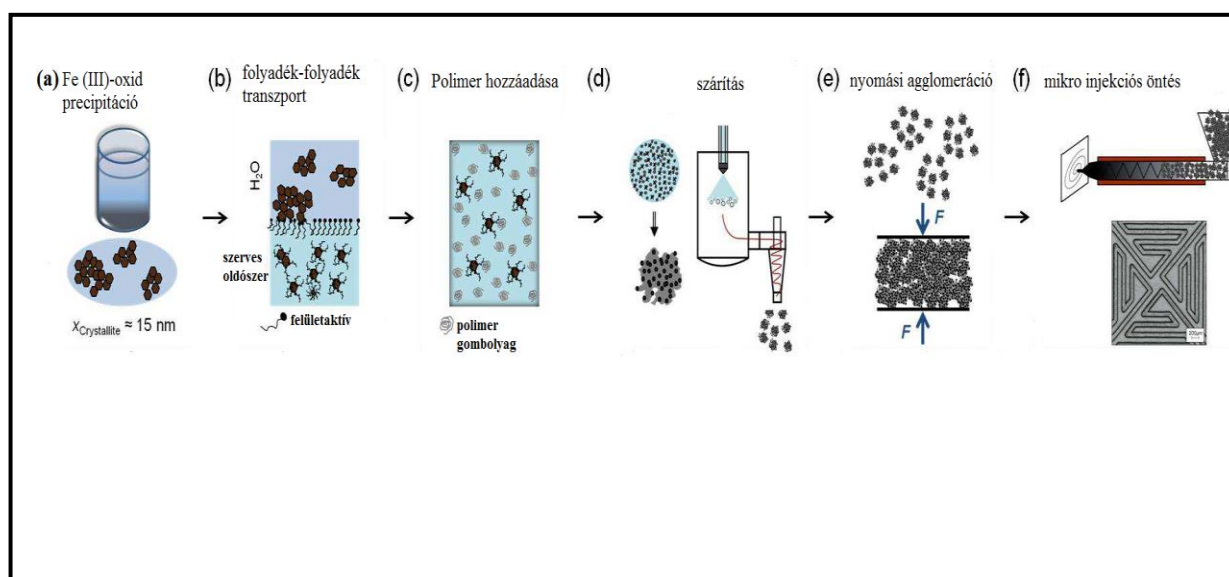
A második módszernél már a maganyag méretre van szabva, erre két oldalról erősítik rá a fedőlemezeket.

A harmadik eljárás az első két módszer egyesítését jelenti. Lényege, hogy a még nem térhálósodott, lágy lemezalapanyagra rászorítják a maganyagot, ezt követően térhálósítják, majd a másik fedőlemezt rárétegezik vagy ráragasztják.

5.3.9 Nano részecskével töltött polimerkompozitok gyártása [12]

A fröccsöntéssel előállított polimerekből kompozitokat lehet előállítani abban az esetben, ha nagy mennyiségű, a nano mérettartományban lévő szemcsékkel töltjük meg.

Ezen kompozitok előállítása több lépcsőben történik: a nano részecskéknek egy vizes oldatban lejátszódó szintézisével kezdődik, majd hidrofób körülményeket biztosítva extrakció útján stabilizálják a szemcséket, ahol mindez egy viszonylag poláros oldatban megy végbe. A következő lépésben ezeket a szemcséket és az oldott polimermátrixot összekeverik, ezután a szárítási folyamat következik, s ezt egy nyomó agglomeráció szükséges a jobb feldolgozhatóság végett. Végül az így kapott alapanyagot fröccsöntik.



42.ábra: Nanorészecskés polimerkompozit előállítása [12]

A folyamatot szemléletesen az alábbi ábra (12.) mutatja.

Az extrakcióhoz és a stabilizáláshoz a minimális 2 g/l mennyiségű zsírsavat használnak, valamint a magnetithez az olajsav pótlására jobban megfelelő ricinolsavat alkalmaznak.

A polimer PC vagy PMMA is lehet.

5.4 BMC és SMC gyanta feldolgozása, hosszúszálas kompozitok gyártása [13]

A szálas kompozitok leggyakoribb két alapanyaga az SMC és a BMC gyanta.

A BMC gyanta 25% vágott szálát tartalmaz. A gyantát egy keverőben homogenizálják, amely egy tézstaszerű anyagot eredményez. Ezt követően a keveréket rúd vagy kötél alakra extrudálják, amely elősegíti a további feldolgozást, így a fröccsöntést, préselést vagy extrúziót. Az SMC gyanta alapanyaga poliészter-gyanta.

A hosszú szálas kompozitok gyártása azzal indul, hogy a szálakat vagy kötegeket gyantával vonják be, majd egy folyamatos eljárással impregnálnák, amely prepreg gyártásához vezet. A végső terméket általában több rétegből, kézzel készítik. A készterméket végül autoklávban keményítik ki.

Ezekre az anyagokra jellemző az anizotrópia, így az ilyen anyagból készült termékek tervezése lényegesen bonyolultabb, mint egy izotróp terméké. Ott ugyanis néhány modulus illetve szilárdságérték elegendő, ilyenkor egy rétegről van szó, azonban laminát termékénél akár 10 vagy 20 modulus ismerete is fontos.

A mikro és makromechanikai jellemzőket a tervezés során figyelembe kell venni, ugyanakkor nem szabad megfeledkezni az adhézióról sem, és a határfelület vízfelvevő képességéről sem. Ugyanis a felvett víz megbonthatja a szál és mátrix között létrejövő, a kapcsolódást biztosító adhéziót

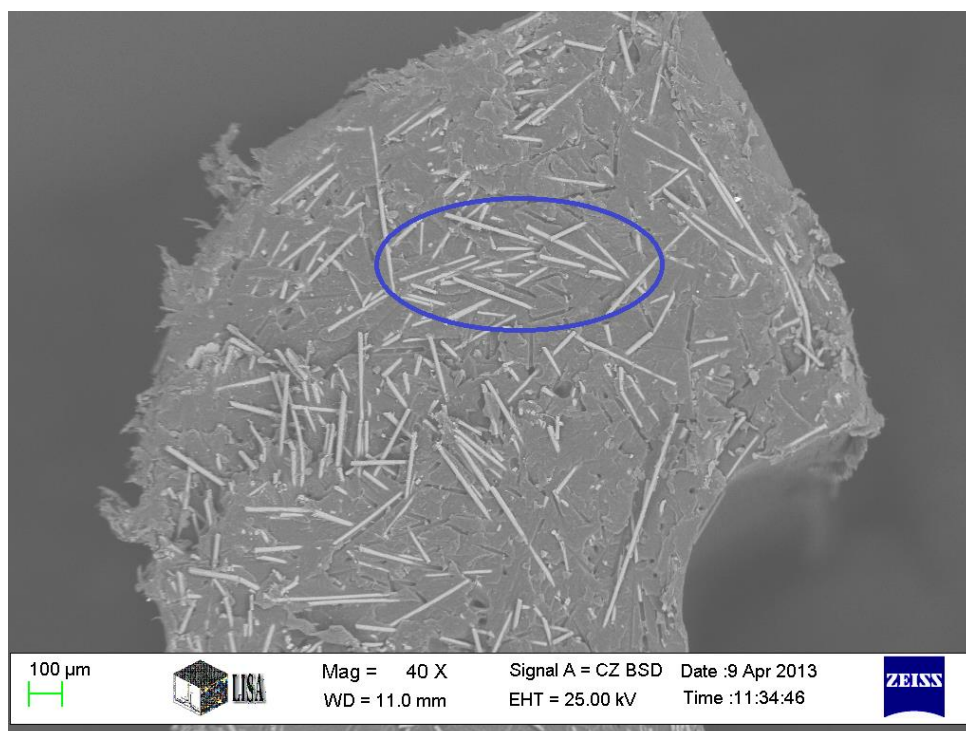
6. Polimer kompozitok vizsgálata

6.1 Kompozitok elektronmikroszkópos vizsgálata

A szálerősítéses kompozitok esetében a szálak egymáshoz viszonyított elhelyezkedése jelentősen befolyásolja a gyártandó anyag tulajdonságait. Az elektronmikroszkópos felvételek segítségével jól látható, hogy az alkalmazott rövid szálak hogyan viszonyulnak a felülethez, azzal párhuzamos, merőleges, s ezekből következtetések vonhatóak le.

A három minta üvegszál-erősítésű polimer kompozit különböző töretfelületeiről készült. A próbadarabokat fröccsöntéssel állították elő. A felvételek jól rekonstruálják a mechanikai behatásokkal szembeni anyag viselkedését.

Az 1. képen (13. ábra) jól láthatóan lyukak valamint a szálaknak a felülettel párhuzamos „állása” figyelhető meg. Az ábra alapján megállapítható, hogy a polimer ekkor alacsony hőmérsékleten volt, összezsapás jelentkezett.

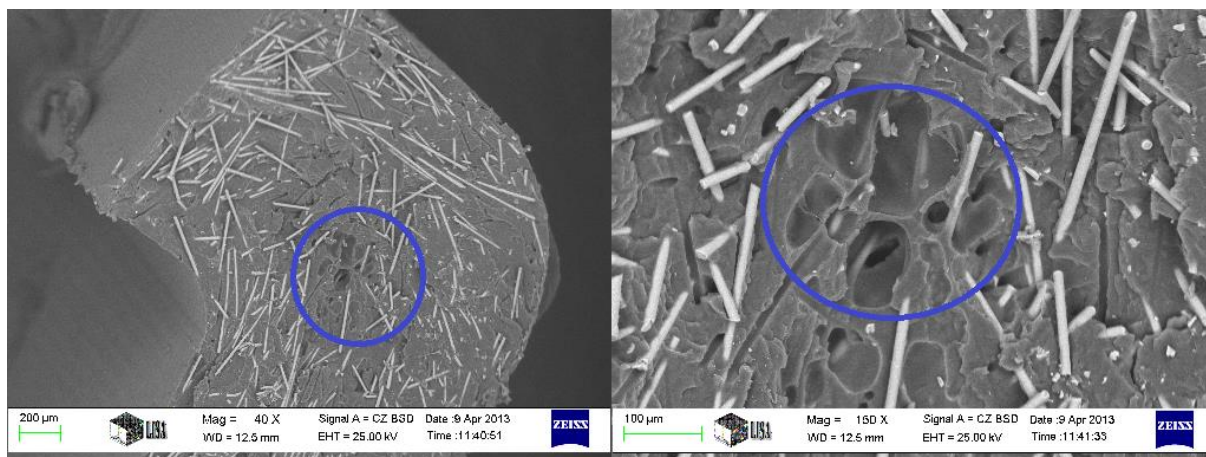


53. ábra: Felülettel párhuzamos szálak a kompozitban, elektronmikroszkópos felvétel

Két felület összecsapása során valószínűleg nem ment végbe a penetrálás, összeolvadás, s így esetlegese „belefagyott” feszültségek maradhattak a gyantaalapú kompozitba, amely eredményeképp az adott terület jóval érzékenyebben fog reagálni a különböző igénybevételekkel szemben. Mivel a szálak a felülettel párhuzamosak, így a húzószilárdsági értékek is kisebbek lesznek.

Az ábrán kék színű körrel jelölt rész mutatja azt, hogy a felület összecsapódása esetén nem jött létre megfelelő hegedés. Ugyanakkor a fröccsöntés „káros” termékeként jelentkező zárványok rontják a termék minőségét.

A második minta (14. ábra) esetében a szálak helyzete merőleges a minta felszínéhez viszonyítva. A merőleges helyzet előnyösebb, hiszen a szakítószilárdság értékét növeli, ugyanakkor a zárványok és a buborékok rontják ezt az értéket.

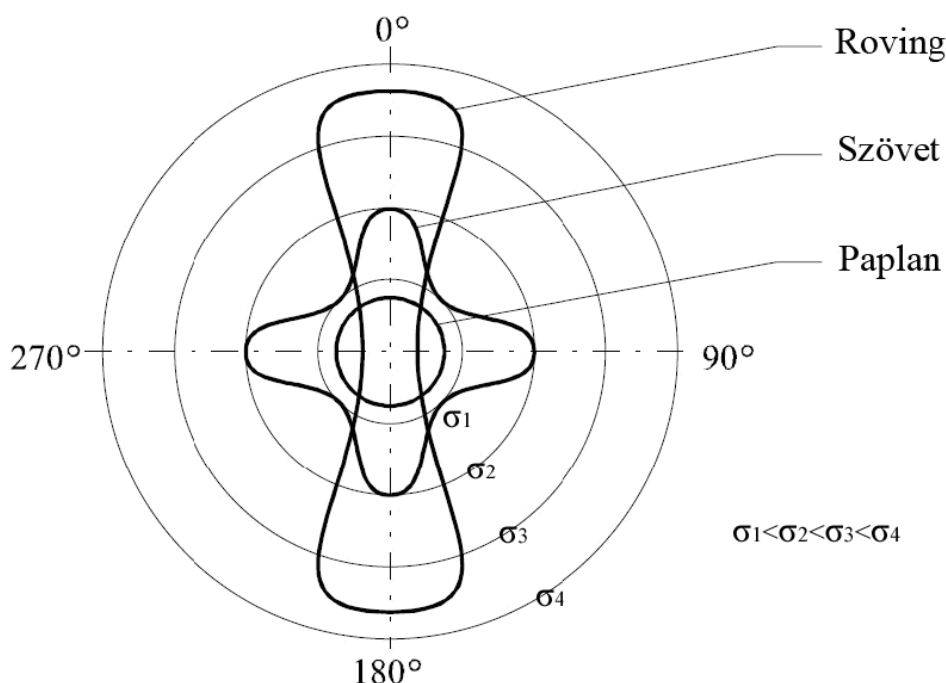


64. ábra. Elektronmikroszkópos felvétel, merőleges szálak esetén

A képeken ugyanakkor megfigyelhető a termék repedése valamint a már korábbi zárványok valamilyen fröccstechnológiai hibával magyarázható. Mivel romlik a szakítószilárdság értéke, így a termék minősége is rosszabb lesz,

A kompozitokhoz használatos szálak több formában fellelhetők, így paplan, amely filcszerű vagy szövet alakban. Papan esetén a szálaknak nincs kitüntetett iránya, vagyis minden irányban található szál. Ezzel szemben szövetnél a szálak két irányba helyezkednek el. Megkülönböztetnek ugyanakkor unidirekcionális és multidirekcionális rétegeket, melynél a legalapvetőbb különbség, hogy előbbinél a szálak csupán egy irányban, míg utóbbinál a sík mindhárom irányában vannak.

A különböző formában elérhető szálak jellemzőinek meghatározására nyújt lehetőséget a polárdiagram. A polárdiagramon (15. ábra) a terhelési szög függvényében a rugalmassági modulusz, valamint a szakítószilárdság látható. A diagram hűen tükrözi a különböző formák mechanikai mivoltát.



75. ábra. Kompozit polárdiagramja [14]

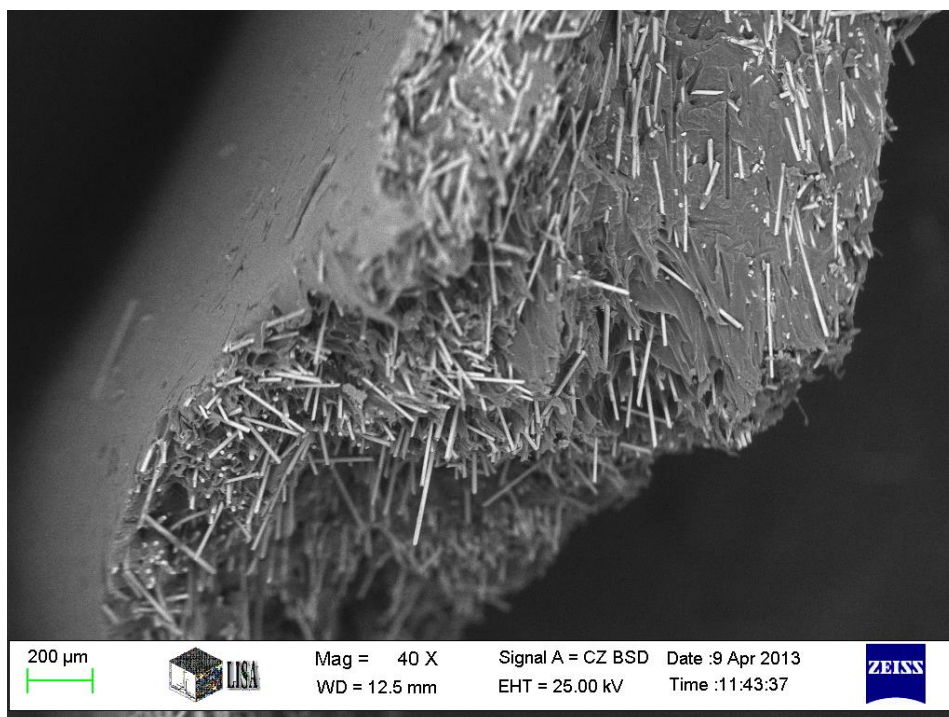
Szálerősítés esetén előfordulhat, hogy a szálak a mátrixanyagban nem homogén eloszlásban helyezkednek el, hanem inhomogenitások figyelhetők meg. Az elektronmikroszkópos felvételeken is látszik, hogy vannak olyan területek, ahol a száeloszlás nagyobb, míg máshol kisebb. Ezt tekinthetjük akár heterogén területnek is. A heterogenitások környezetében feszültségmaximalizálás figyelhető meg, amely hatással van a majdani termék deformációs viselkedésére.

A heterogenitások környezetében fellépő feszültségmaximalizálás függ a mátrix és a diszperz fázis kölcsönhatásától, rugalmasságától.

A diagramon az az eset figyelhető meg, amikor merev „részecskéket” tartalmazó kompozitot húzó igénybevételnek vetnek alá. Itt az látható, hogy a szemcse pólusain feszültségmaximalizálás jön létre. Felfedezhető továbbá az is, hogy a húzószilárdság paplan esetében a legnagyobb, ugyanis ilyenkor a szálak több irányban vannak orientálva, ellentétben egy szövettel, ahol biaxiális 8kétengelyű) orientáció áll fenn.

Húzó igénybevétel hatására azonban az anyagban repedés keletkezhet, amely rontja a terhelhetőséget. A sorozat utolsó eleme ezt rekonstruálja.

Az utolsó minta (16. ábra) esetében sok üvegszál látható. A korábban hiányolható összecsapás már jelentkezhet. Ugyanakkor még mindig találhatók repedések, zárványok, azonban ezeknek a termék minőségére gyakorolt hatása elhanyagolható. A szálak közül sok még mindig nem merőleges a repedésekre, habár már némely szálak síkja már eltér a vízszintestől, ennek köszönhetően jobb szerkezet érhető el.

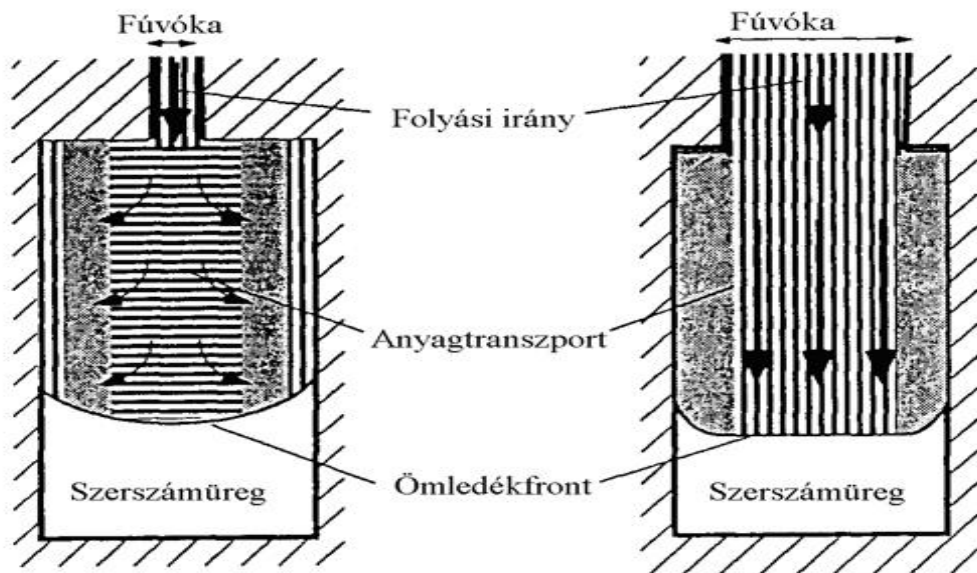


86. ábra. Elektronmikroszkópos felvétel, merőleges szálak esetén

A fröccsöntés tehát befolyásolja a szálak orientációját. A hőre lágyuló polimer kompozitok feldolgozhatóak fröccsöntéssel. A feldolgozás során az ömledék áramlása, reológiája befolyásolja a szálak helyzetét, majd a végleges helyzetével a tulajdonságokat. A fröccsöntés során a szálak irányát meghatározza a beömlő csatorna, valamint a falvastagság-arány.

A beömlő nyíláson keresztül anyagáram halad a szerszám belseje felé. A rövid szálak a fal mentén párhuzamosak lesznek a beömlés irányával. A magban azonban a szálak orientációja erre merőleges lesz. Megoldást jelenthet a beömlőnyílás szélesebb kivitele, amelynél akár a magnál lévő szálakat a beömléssel párhuzamos irányba is kényszerítheti.

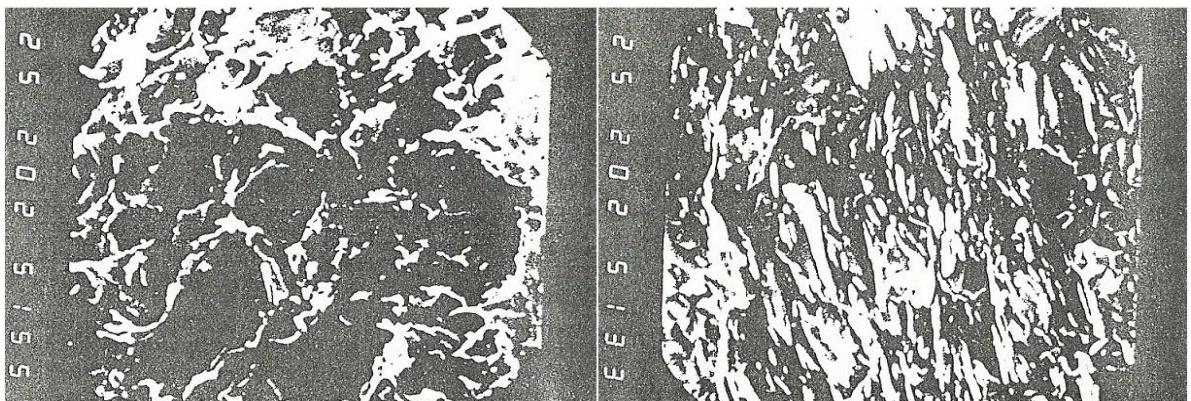
Az alábbi képen (17. ábra) a fröccsöntő-szerszámba juttatott ömledék áramlását és a szálak orientálódása látható a fúvóka-átmérő összefüggésében.



97. ábra. Áramlási viszonyok a fröccsöntő szerszámban [11]

Extrúziós illetve fröccsöntéses gyártástechnológia esetén számolni kell a nyíró igénybevétellel. Az anizotróp töltőanyagok esetén a már korábban említett orientációs hatások léphetnek fel, amely negatívan befolyásolja a végterméket.

Fröccsöntött termék (18.ábra)esetében a végső forma a szerszámüreg kitöltése során nyerhető el.



108. ábra. PP-talkum kompozit orientációja fröccsöntés után[13]

A nyírás hatására, a már korábban említetek alapján anizotrópia esetén párhuzamosak lesznek a szálak, a szerszám belsejében azonban egy belülről kifelé áramlás jellemző, ezért változik meg az orientáció, ahogy azt a következő ábra is mutatja. A példa egy fröccsöntött PP termék szálorientációját mutatja be.

6.2 Húzószilárdság meghatározása

Manapság a kompozitok autó és repülőiparban történő hasznosításának aránya folyamatosan növekszik, köszönhetően annak, hogy a fémekkel szemben (amelyet rugalmas-képlékeny viselkedés jellemzi) rugalmas-rideg anyag. A kompozitok előállítása viszonylag csekély anyagi befektetést igényel, rideg, kemény, szilárdsági tulajdonságai megfelelőek. A járműiparban való használata megköveteli, hogy viselkedését a különböző behatásokkal, igénybevételekkel szemben leírják. Éppen ezért lehet például fontos, hogy a húzó igénybevételnek kitett eszközök, alkatrészek hogyan állnak ellen, azonban ez a megfelelő mérőeszközök jelenlétét is megkívánja. [16]

A mérések során üvegszál-asztergyanta szakítószilárdságát vizsgáltam.

A kompozitok előállítása laboratóriumi körülmények között a legegyszerűbben üvegszálból illetve poliészter-gyantából történhet. Az így nyert szálerősítéses polimer kompozit szakítószilárdságának jellemzése szakítóvizsgálat után lehetséges.

A gyártás során figyelembe kell venni, hogy a kompozitot olyan edénybe készítsék el, amelyhez nem tud hozzátapadni a gyanta, ezáltal könnyű legyen eltávolítani. A mérés során ezért PE edénybe készítettem el a kompozitot.

Alapanyagul többféle üvegszál-terméket, így paplant és szövetet használtam annak érdekében, hogy az eltérő orientáció hatását a szakítószilárdságra jól lehessen szemléltetni.

A paplanra és a szövetre a megfelelő méretre vágást követően került rá a gyantaréteg, melyet ezt követően elegyengettem. A két kompoziton kívül készült még egy poliészter-minta a jobb reprezentálható mérés végett.

A száradást követően a mintából próbatesteket készítettem úgy, hogy eleget tegyen az orientációs igényeknek, vagyis legyen olyan mintadarab, amelyre teljesül, hogy a száliránnyal megegyező, arra merőleges, illetve keresztirányú a minta felülete.

Az alábbi táblázat (4. táblázat) a mérések eredményeit foglalja össze.

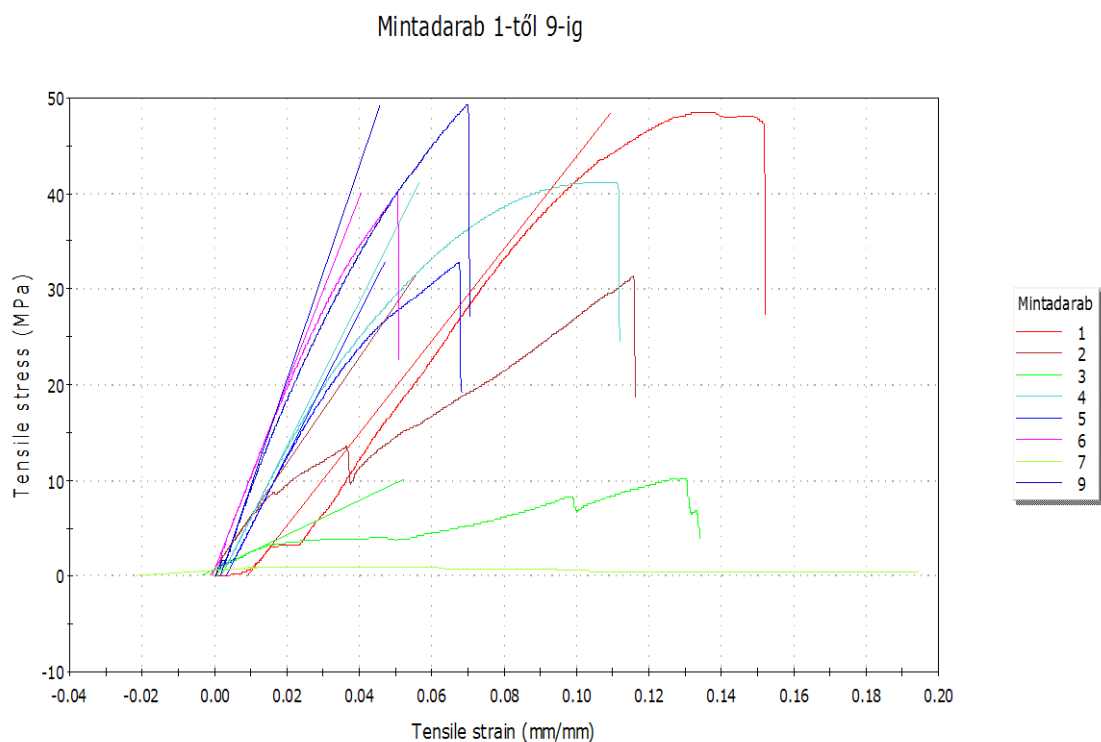
4. táblázat: Húzóvizsgálat eredményei

	szélesség [mm]	vastagság [mm]	Young modulusz [MPa]	maximális feszültség [MPa]
1	9.78	5.14	483.46	48.49
2	9.40	5.30	553.38	31.37
3	9.40	5.30	181.56	10.15
4	8.50	3.80	754.44	41.16
5	8.48	4.30	749.96	32.81
6	9.00	4.16	980.14	40.14
7	9.00	4.16	27.45	0.99
9	8,02	3.94	1117.98	49.34

Az 1. minta töltetlen poliésztergyanta, a második esetben szőtt üvegszálakat, a harmadikban üvegszál, a 4-5.-ben szőtt szövet van átlósan, míg a 7.-ben a nem szőtt paplan szolgálja a második fázist. A 9. mérés azért volt szükséges, mivel a 7. próbában nem szakadtak el még az üvegszálak. A húzás sebessége 200 mm/min.

Az alábbi táblázatban a megnyúlás látható, százalékosan kifejezve. Az adatok alapján megállapítható, hogy a poliésztergyanta nyúlik meg a leginkább. A többi esetben a használt üvegszál mennyisége 10-20% körüli, a megnyúlás mértéke csökken. Az üvegszálak alkalmazásával a gyanta rideggé válik, a mérések esetén megfigyelhető volt, hogy az üvegszálak nagyobb szakítószilárdsággal rendelkeznek, így ezek sokszor nem is szakadtak el akkor, amikor a gyanta. Ahogy az a lenti táblázatból is látszik, a szálak az anyag struktúráját úgy befolyásolják, hogy annak rugalmassága csökken.

Az alábbi diagramon a megnyúlás-feszültség összefüggés látható



11. diagram Poliészter-üvegszál kompozit húzóvizsgálata

Az alábbi diagramon (1. diagram) a kilenc próbatest húzása során rajzolt görbe látható. Mindegyik görbére egy egyenes van illesztve, amely a rugalmassági moduluszt jelöli.

A szálak növelik a szilárdságot, ez csak abban az esetben lehetséges, ha megfelelően erős kötés alakul ki a szálak és a mátrix között. Ennek az a feltétele, hogy megfelelő nedvesítési viszonyok meglegyenek, vagyis a mátrix nedvesítse a szálakat.

A mérések során kiderült, hogy először a gyanta szakad el, majd ezt követően a szálak. Sokszor, már a mérés kezdetén tört el a próbatest, ami azt igazolja, hogy nem megfelelő a poliészter nedvesítése.

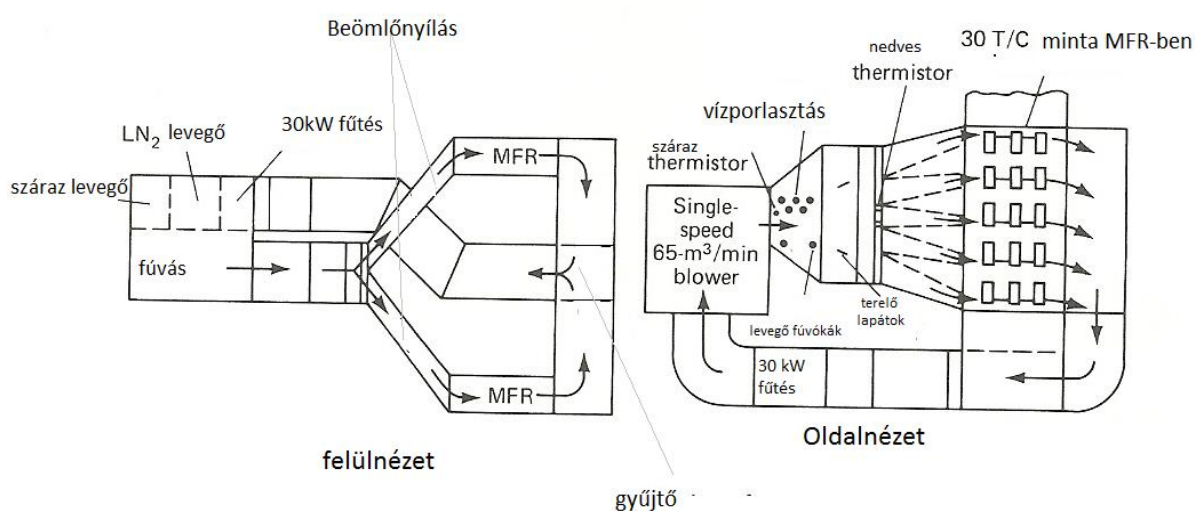
6.3 Mechanikai tulajdonságok vizsgálata [15]

A kompozitok mechanikai tulajdonságainak meghatározásakor figyelembe kell venni, hogy az anyag milyen külső hatásoknak van kitéve, ugyanis e tényezők befolyásolják az anyag tulajdonságait.

Már a karbon szálak kompozitok fejlesztése idején kiderült a laboratóriumi vizsgálatok során, hogy a környezet hatással volt a mért tulajdonságokra. A környezet hatása, akár szándékos, akár véletlen, figyelembe kell venni a tervezéskor.

A termék élete során számos környezeti hatás léphet fel. A kompozitok vizsgálatánál fontos, hogy a jövőbeli igénybevételeknek megfelelően modellezett mérési viszonyok legyenek. Ilyen például a hőhatás. Korábban, a grafit-szálak kompozitok hőmérséklet hatására jelentkező viselkedésének modellezését úgy oldották meg, hogy 24 órára forrásban lévő vízbe tették egy próbatestet. Megállapítható, hogy sem a rövid vizsgálati idő, sem a rövid, gyorsított teszt alapján sem lehet megjósolni konkrétan az anyag jövőbeli viselkedését. A következőkben a nedvesség és a hő hatásával szeretnék egy kicsit részletesebben foglalkozni.

A nedvesség ciklus hatásának meghatározására szolgáló legkidolgozottabb berendezést az alábbi ábra mutatja.



128. ábra. Berendezés nedvességvizsgálathoz [15]

A legtöbb berendezésnél sőt használnak a kamrában a páratartalom meghatározására, miközben a mintát fűtik. A nedvességtartalom mérésének menete a minta folyamatos mérése

az idő függvényében. Egy adott idő elteltével a minta eléri az egyensúlyi nedvességtartalmat. Ezzel a módszerrel az a probléma, hogy a vizsgálati körülmények megváltozása előtt a minta növekedését meg kell mérni.

A minta ciklikus hő vizsgálatát végezhetjük akár a nedvességtartalom vizsgálattal együtt vagy külön. A vizsgálatot -155 és 110 °C között lehet végrehajtani epoxi-rendszerek esetén, valamint poliimideknél -18 és 230 °C –nál.

7. Konklúzió

A polimer kompozitok napjaink leginkább fejlődésre képes anyaga. Ez a fejlődési irányzat, tendencia olyan tulajdonsághalmaz kialakítására képes, amelyet a hagyományos, egyalkotós anyagok nem tudnának biztosítani. Köszönhetően a különböző erősítéseknek, így a szálaknak, a szakítószilárdság értéke növekedhet.

A termék szálorientációja lényeges, hiszen befolyásolja azt, ahogyan az anyag viselkedni fog a későbbiekben a különböző hatásokkal szemben. Megfigyelhető, hogy a szálak irányítottsága a fröccsöntés esetén módosulhat. Ez természetesen maga után vonja az alkalmazhatóság kérdését is.

Az elektronmikroszkópos felvételek is azt bizonyítják, hogy a fröccsöntési eljárás eredményeképp a kompozit tulajdonságát meghatározó szálorientáció megváltozik, amely anyagtulajdonság romláshoz is vezethet, azonban a megfelelő eszközök segítségével, így a fűvóka méretének növelésével ez a hiba kiküszöbölhető. Ugyanakkor a fröccsöntés másik negatívumaként említhető zárványképződés, buborékok szintén ronthatják nem csupán az esztétikai, hanem a minőségi mivoltát is a terméknek.

A szakítóvizsgálattal végzett kutatás azt igazolja, hogy az üvegszálak alkalmazása a poliészter-gyantát rideggé teszi.

A tulajdonságmátrix és a termékkel szemben támasztott követelmények minél nagyobb mértékű, egymásnak történő megfeleltetése azonban mind az ipar, mind a hétköznapi emberek számára olyan konstrukciókat eredményezhet, amely óhatatlanul a kompozitok fejlesztési igényét vonja maga után.

Irodalomjegyzék

[1] **Tálos Jánosné: Kompozitok a textilipar szemszögéből**

http://www.tmt.e.hu/07projektek/071texplat/071_texplat_anyagok_091112/071_texplat_kompozitok.pdf

[2] **Korszerű anyagok és technológiák, 9. Fejezet**

[3] **http://www.epito.bme.hu/eat/oktatas/feltoltesek/BMEEOEMA301/epa1_10_2007mua.pdf**

[4] **Szálerősített Műanyag kompozitok I.**

Országos Műszak Információs Központ és Könyvtár, 1986

[5] **<http://hu.wikipedia.org/wiki/Szak%C3%ADt%C3%B3szil%C3%A1rds%C3%A1g>**

[6] **http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kevlar_chemical_structure.png**

[7] **<http://web.pdx.edu/~wamserc/CH332W97/notes/10notes.htm>**

[8] **<http://www.polymerprocessing.com/operations/tscrew/big.html>**

[9] **dr. Czél György : Műanyagfeldolgozás**

Előadásjegyzet 2012

[10] **http://www.sze.hu/~hargitai/Polimertechnika/pe_polimerekompozitok%202.pdf**

[11] **<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch14s04.html>**

[12] **Dipl. –Ing. Martin Rudolph: Entwicklung der Prozesskette für die Synthese und Verarbeitung hochgefüllter Polymer-nanopartikel Komposite, TU Bergakademie Freiberg 2012**

[13] **Pukánszky Béla: Műanyagok**

Műegyetem Kiadó 2003

[14] **http://www.pt.bme.hu/segedletek/a5_kompozitok_v4.pdf**

[15] **Volume 1 Engineered Materials Handbook Composites**

ASM International

[16] **Prof. Dr.-Ing. L. Krüger: Werkstoffprüfung**

Institut für Werkstofftechnik, Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 2012