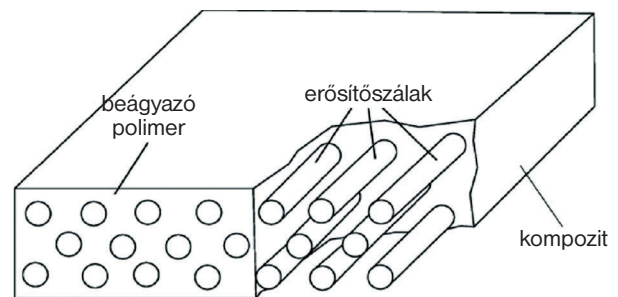




Kutasi Csaba

Kompozitanyagok a repülőgépgyártásban

A kompozitszerű hajléképtetés (pl. sár/szalma, falagyag) az ősidők óta létezik. A mongol harcosok (i. sz. 12-ben) társított anyagokból (szarvasmarhainak és -szarv, bambusz, fenyőgyantával kevert selyem) készítettek olyan íjakat, amelyek gyorsabbak és erősebbek voltak minden addiginál. Az időben nagyot előre lépve, 1907-ben Leo Hendrik Baekeland (belga származású amerikai vegyész) kifejlesztette az első szintetikus gyantát, a bakelitet. A műanyag igen törekeny volt, ezért lágyítással és cellulózzal kombinálva alkotta meg a modern kompozitot.



1. ábra. A kompozitok elvi felépítése

Az 1930-as évek elején két amerikai vegyipari vállalat (az American Cyanamid és a DuPont) újabb polimerekkel kísérletezett, mindketten önállóan állították elő a *poliészter gyantát*. Ennek az évtizednek a végén kifejlesztették (Owens-Illinois Glass Company) az *üvegszálhúzást*, majd az *üvegszövet-előállítást*. Az üvegszálás szerkezet poliészter gyantával társítva nagy szilárdságú és könnyű kompozitok gyártását tette lehetővé. 1942-ben Ray Greene mérnök (Ohio) készített egy üvegszálból és poliészter gyantából felépülő csónakot. A második világháború alatt nagy igény támadt a katonai légi és vízi járművek súlyának csökkentésére, a szilárdság és a tartósság, valamint az időjárás-állóság növelésére. Az 1950-es évek elején olyan gyártási módszereket fejlesztettek ki (pl. pultrúzió, nagyméretű száltekerceselés stb.), amelyek az űrkutatás elindításához is hozzájárultak. Később a felfedezett *nananyagok* szálakba és gyantákba történő beépítése újabb fejlődést indított be a kompozitok területén.

A kompozitokról általában

A kompozitok heterogén rendszerek, amelyeket egy vagy több különböző anyag társításával (összekapcsolásával) alakítanak ki. Az egyik alkotó a *diszperz fázis* (vázszerkezet), ezt veszi körül a másik összetevő, a folytonos *mátrix*. A részt vevő anyagok kémiai összetétele különböző. A társított szerkezettel olyan tulajdonságkombinációk hozhatók létre, amelyek az alkotókkal külön nem valósíthatók meg. A fázisok közötti határfelületek a kompozit képességeit (főleg mechanikai tulajdonságok javítása) alapvetően befolyásolják.

A kompozitanyagok előállítása során gyakran külön képezik a diszperz és a mátrixfázist, és utólagos keveréssel alakul ki a társított anyag. A diszperz összetevő részecskéinek méretcsökkenése vezetett az in-situ (eredeti helyén) módszerhez, az *eutektikum* létrehozásához.

A kompozitokat az anyagpárok szerint, a mátrix (pl. polimer stb.) alapján és a diszperz összetevők morfológiája (pl. szál, lemez laminátum stb.) figyelembevételével csoportosítják (1. ábra).

A repülőgépgyártásban főként a *szálerősítéses kompozitok* kerülnek előtérbe. Ezek javítják a szilárdság/tömeg arányt, valamint

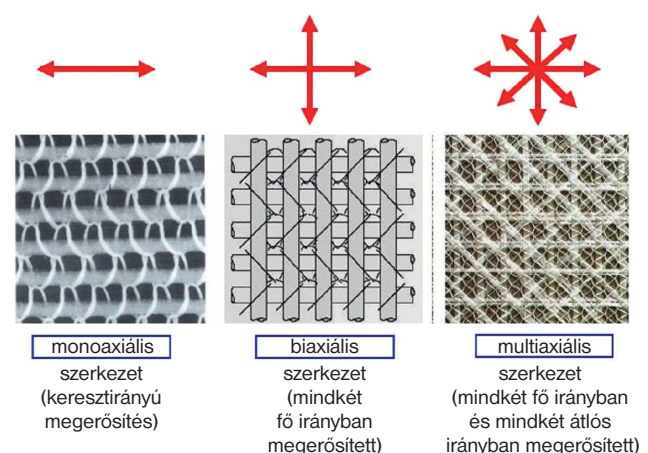
a tribológiai (pl. az egymásra ható és elmozduló felületek súrlódása) jellemzőket.

A szilárdság jelentős növeléséhez általában elengedhetetlen a szálak és a mátrix közötti erős *adhézió*. Ez úgy érhető el, ha a két fázis határfelületén a mátrix optimálisan „nedvesíti” a vázszerkezetet. Például szénszál alumíniumolvadékba való beágyazásához a szálát nikkellel vagy tantállal előzetesen be kell vonni.

Az igény szerinti fokozott *szívósságot* nagy szilárdságú és merev szálanyagok beépítésével lehet elérni. Például az alkalmas kerámiaszálak jelentős szilárdsággal rendelkeznek, ugyanakkor ridegségük miatt nem alakíthatók képlékenyen. Ennek ellensúlyozására kivételesen a szál és a mátrix között közepes erősségű kötést szükséges kialakítani. Fokozott túlterhelés esetén a *mikrorepedés* először csak a kötés bomlását okozza. A további nagyobb igénybevétel miatt következhet be száltörés, ami nem jár együtt a mátrix azonnali tönkremenetelével.

A szálasanyagok [roving (lapított végtelenszálköteg), vágottszál stb.]] elrendezésével, geometriájával, *térfogatarányával* lehet befolyásolni a kompozit különböző képességeit. Az egyirányú, az

2. ábra. Különböző orientációjú vázerősítő szerkezetek





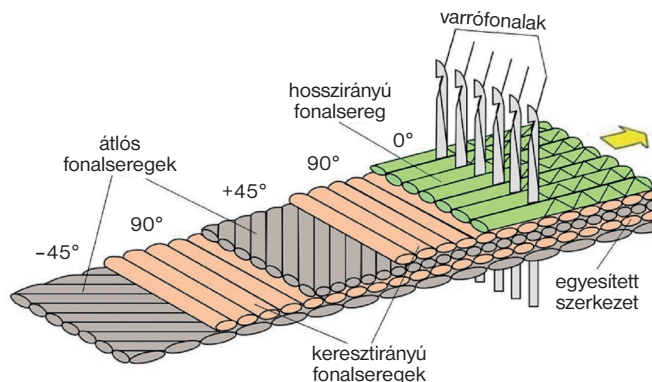
egymással szöget bezáró folytonos, véletlen orientációjú rövid és hosszabb vágott szálak az igénybevételi körülményekhez igazodhatnak. A szálak hosszúságának és átmérőjének nagyobb hányadosa (akár ezerig), a szálak térfogatarányának növelése a szilárdságot fokozza (2. ábra).

A vázerősítők jellemzői

A kompozit vázerősítő szálanyagai többfélék lehetnek, ugyanakkor az elvárások közősek:

- *kis fajlagos sűrűség* mellett kiváló mechanikai tulajdonságok [szilárdság, modulus (az adott anyag merevségéről ad információt, ill. arányossági tényező a húzó/nyomó feszültség és a fajlagos nyúlás kapcsolatában)];
- *optimális kötődés* a mátrixszal és hasonló hőtágulási jellemzők;
- *kis átmérő*, amely *nagy fajlagos felületet* és kevesebb hibahelyet garantál.

A szálanyagok nemcsak elemi és végtelenszálak formájában, hanem *szövött* vagy *kötött* szerkezetek, valamint *összedolgozott fonalseregek* formájában kerülnek felhasználásra. Előfordul, hogy különböző anyagú szálakat építenek be az azonos mátrixba, ezek az ún. *hibrid kompozitok* (3. ábra).

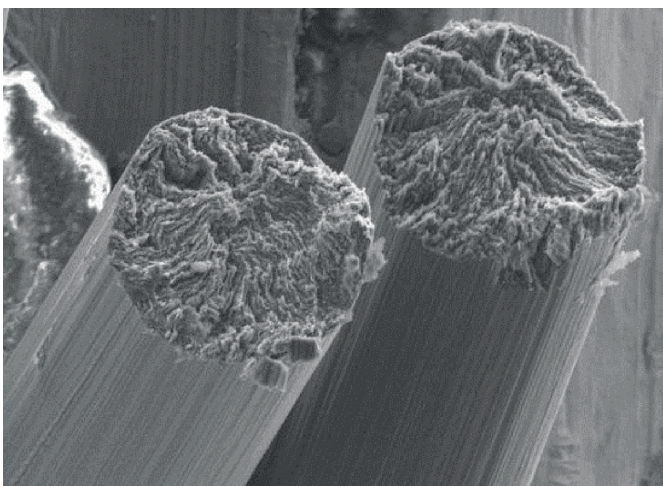


3. ábra. Többrétegű, összekapcsolt fonalseregekből felépülő vázszerkezet

A felhasznált szálanyagok jellegzetes fajtái:

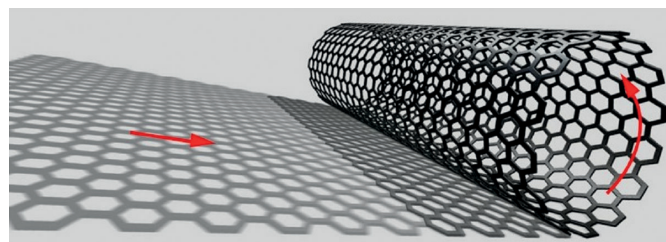
A *szénszálat* az alkalmas polimerekből (pl. poliakrilnitril mint prekursor) ellenőrzött gázatmoszférában végrehajtott termikus bontással (pirolízis) állítják elő. A szénszálak tengelyirányba ren-

4. ábra. Szénszál pásztázó elektronmikroszkópos felvétele



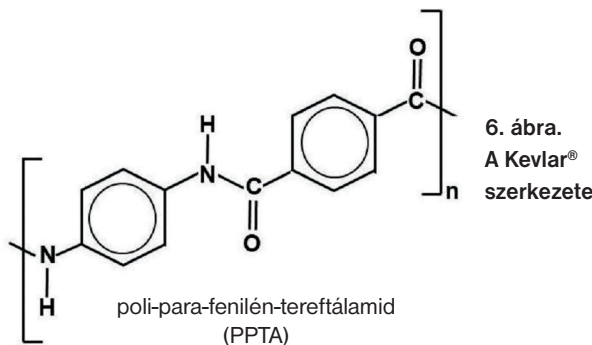
dezódott grafitcsíkokból épülnek fel, szerkezetük erősen torzult *grafitrácsra* hasonlít (köztük a változó távolság és a termikus bomlásnál keletkező gázok miatt pórusok fordulnak elő). [A kristályos grafitban a rács alapsíkjában levő szénatomok között erős kémiai kötések vannak, így a nagy modulus ($E = 1,060 \text{ GPa}$) jellemző, a síkok közötti viszont kicsi ($E = 36,5 \text{ GPa}$).] A szénszálak modulusa az előállítás körülményeitől függően változó ($E = 230\text{--}500 \text{ GPa}$), tehát a grafiténál kisebb a szilárdságuk. A felhasznált multifilamentet (szálköteget) több ezer kb. $8 \mu\text{m}$ átmérőjű szál alkotja (4. ábra).

A *szén nanocsövek* felhengerelt grafitcsíkok, átmérőjük $0,5\text{--}100 \text{ nm}$ (hosszuk rendszerint a μm -es tartományba esik), esetenként több koncentrikus csőből épülnek fel. Fejlesztések folynak a fullerén vázerősítők nanokompozitokban való alkalmazására. Ezeket a nagy szilárdságú ($E = 200\text{--}1000 \text{ GPa}$) képződményeket a szén elektromos ívben vagy lézerrel történő elpárologatásával nyerik (5. ábra).



5. ábra. Szén nanocső képzése grafénból

A polimerszálak közül az *aromás poliamidok* gyakran alkalmazott kompozit vázerősítők. Ennek az aránylag régóta felfedezett szintetikus szálnak a gyártását hosszú ideig nehezítette a magas olvadáspont előtti bomlás (így nem volt ömleszthető a nagy-molekulás anyag a szálképzéshez), valamint alkalmas oldószerének átmeneti hiánya. A kellő megoldást a határfelületi és az alacsony hőmérsékletű oldószeres polikondenzáció bevezetése jelentette (utóbbinál a polimer oldat közvetlenül felhasználható szálképzésre). Az aromás poliamidoknál meghatározó az ún. folyadék-kristályos polimer szerkezet (átmenet a folyékony és a kristályos állapot között), amellyel a pálcika alakú, merev láncmolekulák térbeli elfordulása meggátolható (így garantálható a nagy szilárdságot biztosító belső szerkezet). Például a paraaramid *Kevlar®* szállítást alkalmazzák szálerősítésű anyagként (6. ábra).



Ismertek *fém mátrixú* kompozitok is. Ezek szemcsés változatait a fémbe ágyazott részecskék (keményfémek vagy kerámiaanyagok) alkotják. A szálak típusoknál a fémbe másik fém, két vagy több fémes elemből képzett intermetallikus vegyület vagy kerámiaszálak kerülnek. A szálerősítésű könnyűfém-kompozitokat (pl. szén- vagy bórszállal erősített alumínium) a repülőgép- és járműgyártásban alkalmazzák.



Mátrixanyagok

A kompozitok mátrixanyagaként főként hőre lágyuló, kisebb mértékben hőre keményedő polimereket használnak.

A *hőre lágyuló* műanyagokat magas hőmérsékleten képlékenyen állapotban alakítják, főbb mátrix anyagaik a következők:

A *polipropilén* nagy mennyiségben alkalmazott mátrixanyag, főleg gépkocsialkatrészek készülnek belőle. Az üvegszálalás polipropilénből gépipari termékeket gyártanak.

Polifenilén-szulfid-alapú mátrixkompozitból készítik a repülőgépek szárnyának mozgatható belépőjét, az ún. orrségédszárnyat.

Az *alifás poliamidok* nagy szilárdsággal, ütés- és kopásállósággal, kedvező hőállósággal és sűrűlódási jellemzőkkel rendelkeznek. Vegyszerállóságuk jó (kivétel: savak), ezért üvegszálalás változatukat – többek között – a szénhidrogéniparban hasznosítják.

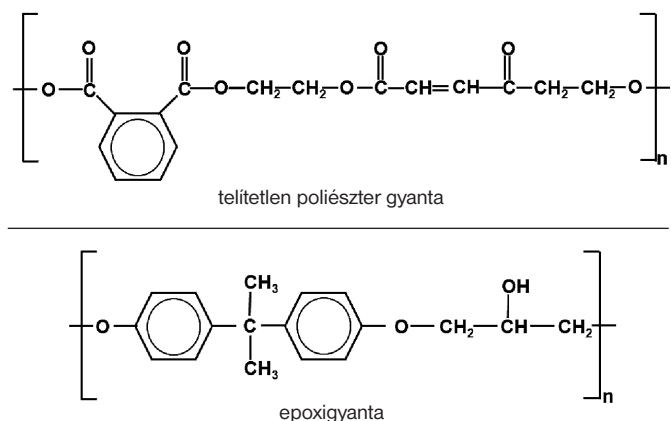
A *hőre keményedő* mátrixanyagok térhálós szerkezetét kémiai reakció eredményeként éri el a szerszámban készülő kompozit kialakítása során. Hő formájában energiát visznek be a rendszerbe, így alakítható állapotba kerül a mátrixanyag, ezt követi a formaadás és az alakrögzítés hűlés/hűtés következtében. Az erősítőszálak megfelelő megválasztásával nagyobb teherbírású szerkezetek gyárthatók. Ebbe a kategóriába sorolják tipikusan a következő mátrixanyagokat:

A *telítetlen poliészter* (UP) gyanta viszkózus keverék, amely tulajdonképpen sztirolban oldott poliészter oligomer. Szobahőmérsékleten térhálósodik, a gélesedés magától megindul. Az üvegszállal erősített nagy szilárdságú szerkezeti anyagok (pl. vízi járművek, gépkocsikarosszéria-elemek) iniciátorral gyorsított láncreakció során készülnek.

Az *epoxigyanta* (EP) epoxi-poliéter és fenol vagy epoxi-poliéter és amin poliaddíciója során képződik. (Az „epoxi” elnevezés az alapvegyület két szénatomja közötti oxigénatomot tartalmazó kémiai csoportra utal.) Kis zsugorodású, jó tapadású és mechanikai tulajdonságú, környezeti hatásoknak ellenálló tulajdonságai miatt az így kialakított mátrixokat sokrétűen hasznosítják a repülőgépgyártásban, az elektronikában és az űrtechnikában.

Az *egyéb műgyantatípusok* közül a vinil-észter-, furán- és akrilgyanták említendőek, amelyeket speciális tulajdonságok elérésére alkalmaznak mátrixként (7. ábra).

7. ábra. Mátrixanyagok



Kompozitok a repülőgépekben

A kompozitokat széleskörűen alkalmazzák a repülőgépiparban, miután könnyűek, a magas hőmérsékletnek ellenállnak, korrózióállóak, kedvező szakítószilárdsággal és nyomásállósággal, kellő

hajlítási és csavarási ellenállással rendelkeznek. Ennek alapján lehetővé teszik a nagy teljesítményű, gazdaságos repülőgéptervek megvalósulását. Ezekkel a társított anyagokkal a fémötvözetekéhez hasonló *szerkezeti szilárdság* érhető el, de számottevően *kisebb tömeggel*. Használatukkal csökken az üzemanyag-fogyasztás, mérsékelhetők a repülőgépek közvetlen üzemeltetési költségei. A társított anyagok elősegítik a különféle formák kialakítását, továbbá rétegezhető, még úgy is, hogy a vázerősítők minden rétegben más-más irányban helyezkedhetnek el. A kompozitszerkezeteket alkotó anyagok megőrzik azonosságukat (nem oldódnak és más módon nem olvadnak egymásba), ugyanakkor a hibrid anyag *javított szerkezeti tulajdonságokkal* rendelkezik. Olyan szerkezet is létesíthető, amely az egyik irányba hajlik, de egy másikba nem.

Az alapkompozitban az egyik összetevő az ún. diszperz rendszer (alapállvány, tartóváz, erősítőszerkezet), és a másik anyag erre épülve megerősíti a kész anyagot. A vázerősítő például magas hőmérsékleten és nyomáson az igényelt formába kerül, ezt követően *folyékony műgyanta* tölti ki a szerszámat, és lehűtésekor alakul ki a nagy szilárdságú kompozit. Amennyiben *húzó igénybevétel* lép fel és ha a kompoziton belüli szálasanyagok egy vonalban állnak a kifejtett erő irányával, biztosított a nagy szilárdság. Az optimális nyomásállóság a vázszerkezet tapadási és merevségi tulajdonságainak eredménye. A polimer (gyanta) a szálakat mintegy egyenes oszlopként tartja fenn, így kihajlásuk nem következik be.

Eleinte a gyantamátrixba ágyazott *üvegszálalából* felépülő kompozitok terjedtek el. Az üvegszálalakat először az 1950-es években használták szélesebb körben csónakok és autókaroosszériák készítéshez, valamint a *Boeing 707* utasszállító repülőgépben mindössze két százalékos előfordulással. A *Boeing 787 Dream-liner* volt az első olyan repülőgép, amelyben az alumíniumötvözet helyett *kompozitanyagokból* készültek a fő szerkezeti elemek (például váz, tartók is). Előfordult a fejlesztések során, hogy az *üreges szárnytest* megépítéséhez használt kompozitanyagok merevsége nem volt megfelelő, de *újabb konzolok* beépítésével sikerült az elvárt ellenálló képességet elérni.

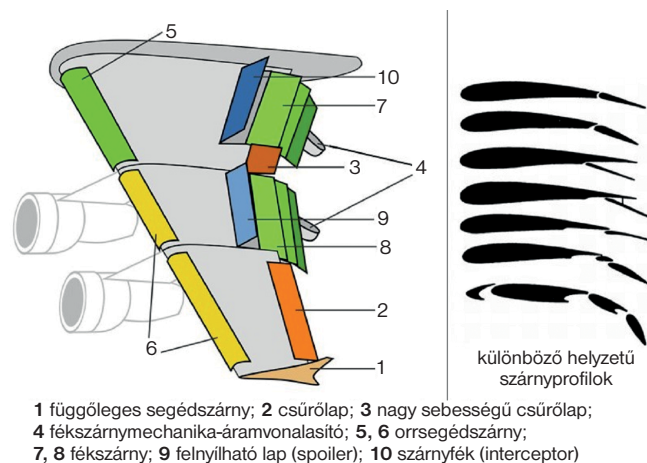
A kompozit alkatrészek eredményeképpen a Boeing 767-es sorozathoz képest 20%-os *üzemanyaghatékonyság-növekedést* értek el (8. ábra).



8. ábra. Kompozitalkalmazások a repülőgépen

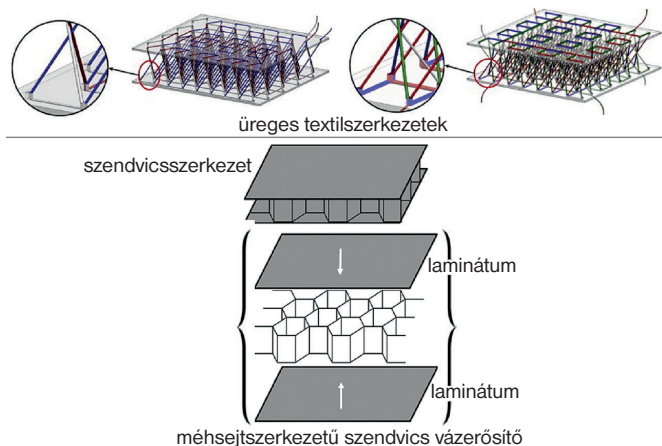
A fejlődés abba az irányba mutat, hogy a repülőgépek kompozit-tartalma a 70%-ot is eléri majd (9. ábra).

A repülőgép-kompozitok terén a *szénszál-erősítésű* műanyag (CFRP, carbon fibre reinforced polymer), valamint a *kevlár* (aro-



9. ábra. A kompozitból készült repülőgépszárny részei

más poliamid) és a műgyanta rétegzett kombinációi is kezdtek elterjedni. Az esetleges problémás leszállás miatti tűz esetén mérgező gőzök keletkezhetnek, de a kompozit égéstermékai nem veszélyesebbek, mint a tipikus repülőgépvázakból származó anyagok. Az archaikus üvegszál-aszalt anyagokat egyre jobban felváltják a fejlettebb *szénlaminátumok* és *szén-szendvics kompozitok*. A szénszál-aszalt laminátum két vagy több, egyrétegű lemezből álló szerkezeti rész. A rétegek közötti a kapcsolási hatás csökkenthető vagy akár el is hagyható, hogy a síkban fellépő belső erők okozta hajlító, csavaró és síkdeformáció elkerülhető legyen. A szendvics-szerkezetek lehetnek *méhsejt* jellegűek vagy készülhetnek például mikrogömböket tartalmazó poliszter nemszított anyagokból vagy egyéb textiltechnológiai vázerezősítőkből. A kompozitvázat például alumíniumszalagokkal is ellátják a villámvédelem érdekében (10. ábra).



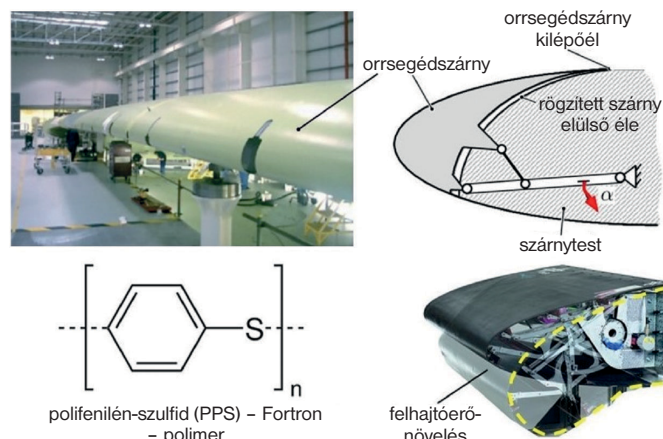
10. ábra. Szendvicsszerkezetű kompozit

A szénszál-erősítésű műanyagokat a *nagy méretű elemek* előállításához alkalmazzák. Ilyen elemek például a függőleges vezérsík, a kormánylapát és a magassági kormányok, az első fedélzet oszlopai és a hátsó nyomástartó válaszfal.

A szárny rögzített *belépőéle* hőre lágyuló anyagból, például könnyebb polifenilén-szulfid- (PPS) alapú kompozitból készül. Ennek keménysége és méretstabilitása magas hőmérsékleten sem változik, így társítható üvegszállal vagy szénszállal. Az egyes részek nyomás alatt könnyen összehesztethetők a PPS olvadási hőmérsékletén (megtakarítható az alumíniumot gyengítő fúrás, a szegecselés) (11. ábra).

A repülőgéptörzs felső héjához laminált szerkezetű anyagot

használnak. Ebben például *alumínium-* és *erős üvegszálrétegek* követik egymást (sűrűségük kb. 10%-kal kisebb a tiszta alumíniuménál). Rendkívül szívós (fémekre jellemző), anyagkifáradással szemben ellenálló szerkezetet képez. A külső üvegszálréteg megköti a nedvességet, így nem jut víz az alumíniumréteghez, ami biztosítja a *korrozóállóságot*.



11. ábra. A szárny belépőélének (orrsegédzsárny) kialakítása, működése

Kutatások szerint *nanoméretű széncsővek* szálakba és fóliákba történő bevitelével a szerkezet merevebbé tehető, csökkentve a zsugorodást és növelve a hőállóságot. A bekeverhető nanocsővek 20%-os aránya esetén a szálak elektromos vezetővé válnak. Az előállítás során az egyfalú nanocsőveket oldószerben oszlatják el, majd a disperzióban elkeverik a szálképző polimert, és a keverékből szálakat húznak.

A különleges csoportot képező *szén-szén kompozitokban* a mátrix és a szálerezősítő váz egyaránt szénből áll. A gyártás során a szálakat átitatják műgyantával, amely az izzítás során elbomlik és csak a szén marad vissza. Ezt többször ismételve egyre nagyobb szilárdságú termék keletkezik. Repülőgépek *kerékféksszerkezeteiben*, a visszatérő üreszközök hővédő pajzsaiiban alkalmazzák ezeket az anyagokat, ahol 1300 °C hőmérséklet is előfordulhat (12. ábra).



12. ábra. Szén-szén kompozittárcsák a repülőgépkerék-fékben

Kompozit-előállítási eljárások

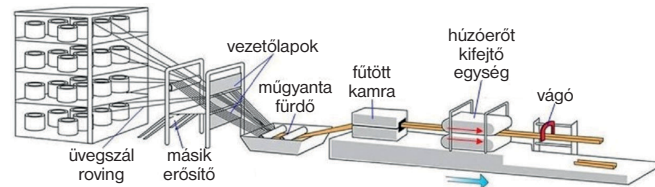
A szálhúzásos folyamatos eljárással – *pultrúzió* – azonos keresztmetszetű rudak, csövek, profilanyagok állíthatók elő. A vázanyag lehet roving (lapított folytonos szálköteg), monoaxiális szerkezet, biaxiális kelme, unidirekcionális textildelület, amelyet előzőleg gyantafürdőben átitatnak. A húzóbéllyegben alakul ki a kívánt profil, a fűtött szerszámban térhálósodik a gyanta. Így készül többek között a szénszál-erősítésű kompozit padlógerenda egyes repülőgépekben.

A hengeres, illetve „alakos” forgástestek – például lokátorkúpok, torziós és transzmissziós tengelyek, hajtóműgyártáshoz szük-

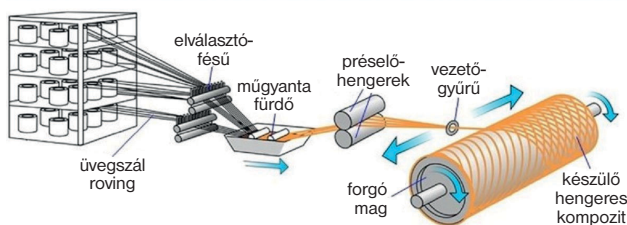


séges palackok, nyomástartó edények – gyártására használják a szál- és szalagtekerceselés technológiát. A szálköteg vagy a szalag felcsévéelését forgó magon végzik; a kúpos képződmények keménykrómozott és polírozott acélból, az „alakos” forgástestek olcsó, eltávolítható maganyagból készülnek (utóbbi a munkadarab elkészülte után roncsolással eltávolítható). Tartályok esetében fémből készült, vékony falú, üreges magot alkalmaznak, amely eltávolítás nélkül a tartály belső burkolata lesz.

Az automatikus szalagfektető eljárás esetében a szénszálakat felmelegítik, és így viszik fel az előformára (13. ábra).



Kompozit idomdarab készítése poltruziós eljárással

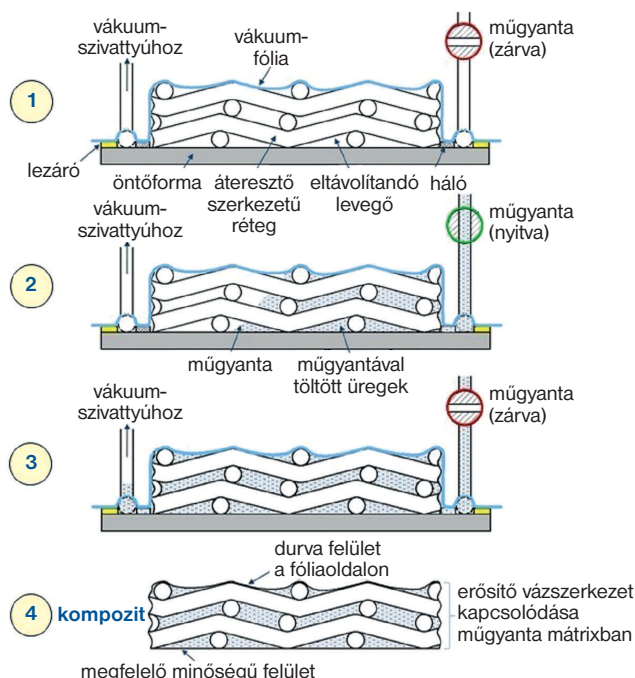


A szalagfektető eljárás elve

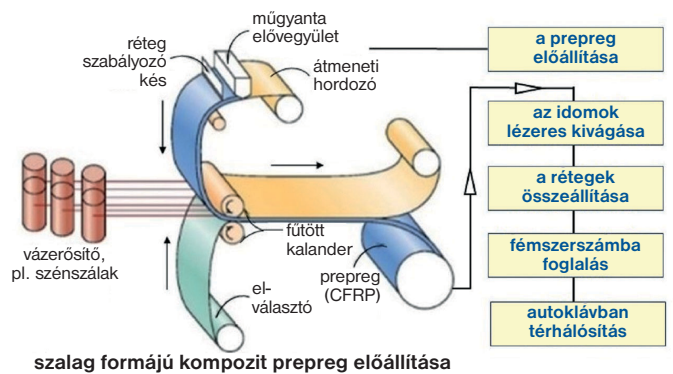
13. ábra. Kompozitalapú profilanyagok, hengeres és más alakú forgástestek előállítása

Az *impregnáló* (műgyanta-infúziós) eljárásnál a száraz vázerősítőanyagot, valamint a szilárd és előformázott gyantafilmet egymásra rétegezik, majd vákuumozzák. Ezután autoklávba (esetleg hőkamrába) helyezik, és légritkítás hatására a magas hőmérsékleten folyékony gyantafilmet mintegy magába szívja az erősítőszerkezet, így együtt térhálósodva alakul ki a kompozit (14. ábra).

14. ábra. A műgyanta-infúziós kompozit-előállítás menete



A kompozitanyagú repülőgépkatrészek során elterjedt a *prepreg*ből képzett gyártástechnológia. A mátrix – hőre keményedő – folyékony polimerjének alapvegyületét először kése rétegfelvitellel egy átmeneti hordozóra felhordják, majd fűtött kalander-hengerek közé vezetik a vázerősítő szálanyagkötegekkel együtt (elválasztó közvetítésével). Az így előállított, többretegű szerkezetből lézeres technikával kivágják a megfelelő alakzatú idomokat, amelyeket egyesítve a fém nyomószerzámba helyeznek. A társított anyag mátrixát felszívja az erősítő szálrendszer, majd zárt rendszerben, nyomás alatti hőkezeléssel valósul meg a térhálósítás (kikeményítés) (15–16. ábra).



15. ábra. Prepregből történő kompozitalkatrész gyártásának elve



16. ábra. Az autoklávban térhálósodva alakul ki a kompozit alkatrész



Anyagvizsgálatok

A roncsolásmentes vizsgálatok közül többek között a hagyományos röntgensugaras és a CT-vizsgálatok terjedtek el, például a víz behatolásának és az alumínium méhsejtmaggal ellátott szendvicsszerkezetű alkatrészek sérüléseinek kimutatására. A CT anyagvizsgáló rendszer esetén az alkatrészeket 360°-ban elforgatják, közben több digitális radiográfiás (DR) képet készítenek különböző vetítési szögekben. A háromdimenzióssá alakított felvételek segítségével elvégezhető az ellenőrzés. A kompozitszerkezetek esetében néhány ultrahangos vizsgálati módszert is alkalmaznak (17. ábra).

A szerkezeti részeket például jelentős hajlító és csavaró igénybevételekkel tesztelik, olyan a feszültségeknek kitéve őket, amelyek a valós repülések legrosszabb körülményeit is jóval meghaladják.

Roncsolásos módszerrel többek között szakítószilárdságot, nyomásállóságot, szívósságot és hőtűrést vizsgálnak.



ultrahangos kompozitborítás-vizsgálat



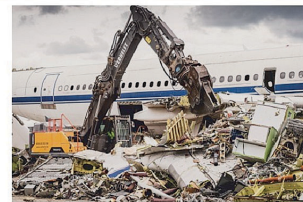
digitális radiográfias képek készítése

17. ábra. Roncsolásmentes anyagvizsgálatok

Környezeti hatások

A forgalomból kivont repülőgépek törzseit – széles körű átvizsgálás után – jelenleg is képesek újrahasznosítani, igaz, a végrehajtási mód még nem elég hatékony. A hagyományos módszer az anyagok „kollektív módon történő kinyerésével” történik ahelyett, hogy szétválasztanák a panelen belüli különféle anyagokat. A kedvező újrafelhasználást a repülőgépgyártásba való bevonással lehet elérni. A fejlett újrahasznosítási folyamat várhatóan javítani fogja a légiközlekedési ipar fenntarthatóságát.

A nehezebb alternatívákhoz képest a könnyebb kompozit alkatrészek alkalmazása eleve hozzájárul a kisebb környezetterheléshez. A kompozitok a jó korrózióállóság következtében hosszabb élettartamúak, mint a fémalkatrészek – ez is előnyös környezetvédelmi szempontból. Ugyanakkor a kompozitanyagok – miután alapvetően kőolajalapú vázszerkezetekből és gyantákból készülnek – biológiailag nem bomlanak le. Életciklusa végén a legtöbb kompozit hulla-



18. ábra. A forgalomból kivont repülőgép kompozitszerkezetei újrahasznosítás hiányában a hulladéklerakóba kerülnek

déklerakóba kerül, ezért széles körű kutatás folyik a biológiailag lebomló társított anyagok kifejlesztésére (18. ábra).

IRODALOM

Fenyvesi Éva: Újszerű textilipari és műszaki szálanyagok, Magyar Textiltechnika, 1994/6.

https://en.wikipedia.org/wiki/Composite_material

https://en.wikipedia.org/wiki/Composite_aircraft

<https://pirancomposites.com/news/composite-manufacturing-process/>

Háy György: Amit a repülésről tudni kell, Typotex, Budapest, 2006.

<https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2004/04/kompozitok-a-repuleggyartasban>
Gáti Balázs, Koncz Imre: Repülőgépek szerkezete, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, 2012.

In memoriam Tőke László



Tőke László, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szerves Kémiai Technológiai Tanszékének állami díjas professzor emeritusza, korábban tanszékvezetője, az MTA rendes tagja életének 92. évében, 2024. december 30-án, rövid szenvedés után elhunyt.

Tőke László a Vas vármegyei Vönerköny született egy sokgyermekes családba 1933. május 3-án. Nagy szegénységben éltek, részt kellett vennie a mezőgazdasági munkákban, az állattartásban. Egy tehetségtutató kampány kapcsán került be a soproni Evangélikus Líceumba. Innét aztán egyenes út vezetett a BME Vegyészmérnöki Karára, ahol 1957-ben végzett, majd szép karriert futott be. A Beke-iskolában kezdte. Fiatalon lett docens, és „Tőke docens” fogalom volt. Sokáig részt vett az esti képzésben is az elméleti szerves kémia oktatásával. Szántay professzor alkaloidkémiai kutatócsoportjában dolgozott és jelentős eredményei születtek többek között a johinbin alkaloidok témában. Aztán posztdoktor volt Samma professzor kutatócsoportjában az Egyesült Államokban. 1974-ben megszerezte a „kémiai tudományok doktora” címet. Munkásságát 1975-ben az Állami Díj II. fokozatával ismerték el. A díjat Szántay Csabával és Szabó Lajossal megosztva kapta a nagy hatású alkaloidok szintetikus módszereinek kidolgozásáért. Ebben az évben lett egyetemi tanár is.

1976-ban átkerült a Szerves Kémiai Technológia Tanszékre. A gyógyszeripari részleg vezetését kapta feladatul. 1986-tól Tőke

professzor öt éven át vezette a Tanszékot, ahol következetes munkával erősítette meg a tudományos tevékenységét. A szabadalmi visszatérítésekből évente jutalmazta a komoly publikációk szerzőit. Elsősorban a koronaéteres, fázistranszfer- és foszforkémiai kutatásokban vett részre. Egyik oktatási feladatát a „Biológiailag aktív anyagok szintézise” tárgy előadása képezte. Sok érdekes szintézis mellett a sajátjairól is mesélt. Kiváló előadó volt, jellegzetes írásképpel mindent írt a táblára. Másik tárgyát, a „Gyógyszerkémiai” talán még inkább élvezték a hallgatók. A záróvizsgák jó légkörben zajlottak. Abban az időben igen jól ment a tanszéknek, személyzete bőven 100 fő felett volt. 1990-től Tőke Lászlót az MTA-kutatócsoport vezetőjévé nevezték ki. Habár ebben az időben nagyon erős 40-es korosztály képezte a Tanszék törzsét, a tanszékvezető kiemelten kezelte a fiatalítást. 1993-ban az MTA levelező, 1998-ban rendes tagságát nyerte el, amivel szakmai pályája kiteljesedett. 2003-tól professzor emeritusként segítette a tanszék munkáját. Tudományos életműve a 360 cikkel és 70 szabadalommal, valamint a többbezer idézettséggel valóban teljesnek és példaértékűnek mondható.

Amíg Pasaréten lakott, viszonylag gyakran láttuk. Amikor viszont Balatonfenyvesre költözött, ritkultak a találkozások. Az MTA Kémiai Osztály üléseire azonban a pandémia kitöréséig gyakran feljárt. Több mint két éve Pécsett laktak, és már csak a 90. születésnapjának alkalmából utazott Budapestre.

Egyszerű ember volt, jókedélyű, beszédes, erős igazságérzettel – nem rejtette véka alá a véleményét –, szerette a vidéki életet, a gasztronómiai élvezeteket.

Emlékét kegyelettel megőrizzük. Nyugodjon békében!

Keglevich György