

## Kompozitok a repülőgépgyártásban

*Tárgyszavak: katonai repülőgépek; polgári repülőgépek; Airbus A380; Boeing 7E7; tömegcsökkentés; fő alkatrészek; szénszálas kompozitok; Fortron PPS; Basotect melaminhab; JEC kiállítás.*

### Haditechnikából a polgári repülésbe

A polgári repülés újabb fejlődési lépcső előtt áll. Az utasszállítókat gyártó két legnagyobb cég hamarosan elkészül legújabb modelljeivel, az Airbus az 550 üléses A380-nal, a Boeing a 7E7-tel. Az A380-as alkatrészeit már elkészítették, ez a gép 2006-ban forgalomba állhat. A Boeing cég új gépének üzembe helyezését 2008-ra tervezi.

Bár a két típus rendeltetése elvileg azonos, teljesen egyedi felépítésűek: eltérő a motorteljesítményük, a belső terük mérete és kialakítása, valamint a hangjelzéseik. Közös bennük a tömegcsökkentésre való törekvés és egy olyan egyszerű technológia, amely ezt lehetővé teszi, ez pedig a kompozitok alkalmazása.

A kompozitok korántsem új keletű anyagok a repülőgépgyártásban; a katonai repülőgépekben széles körben alkalmazzák őket. A **Northrop Grumman** cég *B-2 bombázójának fő szerkezete* például majdnem teljes egészében kompozitokból épül fel. Ennek kifejlesztése az 1970-es évek végén kezdődött, és az első próbarepülést 1989-ben végezték vele. A szárny grafittal erősített epoxigyantából készült méhsejt szerkezetű külső felülettel és belső szerkezettel. A repülőgép törzse ugyancsak sok kompozitot tartalmaz.

A legutóbbi jelentősebb repülőgép-fejlesztés során, az 1990-es évek közepén tervezett modellek közül az **Airbus A321 kb. 15 % (m/m)**, a **Boeing 777 pedig 10 % (m/m) kompozitot tartalmazott**. A mostani két legújabb modellbe sokkal több kompozitot építenek be; az A380 tömegének 20%-a, míg a 7E7 50%-a készül ebből az korszerű szerkezeti anyagból.

### Az A380 kompozitból készített fő szerkezeti elemei

A fejlett eljárások lehetővé tették a kompozitok bevezetését és gazdaságos alkalmazását a polgári repülésben. De ezeknek az anyagoknak az elfoga-

dása és elterjedése csak igen lassan megy végbe, különösen a nagy igénybevételnek kitett fő szerkezeti elemekben. Ennek három fő oka van:

- a kompozitanyag tönkremenetelének mechanizmusa még nem teljesen tisztázott,
- nem lehet pontosan megbecsülni a fejlesztési költségeket,
- a gyártási költségek a hagyományos alumínium alkatrészekhez viszonyítva magasak.

*Az A380 kifejlesztésekor egy-egy részegységre koncentráltak; elvégezték ennek méretezését, tervezését, majd elkészítették az egységet, amelyet alapos vizsgálatnak vetettek alá.* Az eljárás az alkotóelemek és alkatrészek tesztelésére épül, hogy megállapítsa az egyes alkotóelemek tulajdonságainak a teljes szerkezetre gyakorolt hatását. Ez méretnövelési kísérleteket is magában foglal, ami különösen fontos, mert a nagyméretű alkatrészek térhálósításának kinetikáját teljes mélységében nem ismerték.

Míg az 7E7 beszállítóit mostanában választják ki, az A380 típus fő elemeinek és másodlagos alkatrészeinek tervezése és gyártása már előrehaladott állapotban van. A kompozitok alapanyagainak [gyantával impregnált egyirányú szálak (UD prepreg), gyantával impregnált szövet (szőtt prepreg) és speciális gyanták a kompozitokhoz] fő beszállítója a **Mitsubishi Rayon** cég. Ezek az anyagok kétféle szénszálat – egy közepesen rugalmasat és egy nagy szakítószilárdságút – tartalmaznak, amelyeket a francia **Structil S.A.** és a japán **Toyohashi Plant** állít elő.

## Szénszálas szerkezetek

*A szénszál-erősítésű műanyagokat (CFRP) az A380 nagyméretű elemeinek előállításához alkalmazzák.* Ez az első polgári repülőgép, amelynek szárnytője szénszál-erősítésű kompozitból készül, ami 1,5 t tömegcsökkenést eredményez a legfejlettebb alumíniumötvözethez képest. A kérdéses szerkezet – amely akkora, mint egy oldalára fektetett emeletes London-busz – köti össze a szárnyakat és a gép törzsét. Alighanem ez az egész repülőgép legkritikusabb szerkezeti eleme.

A függőleges vezérsík, a kormánylapát és a magassági kormányok szintén CFRP-ből készültek, akárcsak a felső fedélzet oszlopai és a hátsó nyomástartó válaszfal is. A CFRP itt 60% szénszálból és 40% gyantából álló keverék, amelynek szilárdsága gépi megmunkálással tovább fokozható. Ez teszi ideálissá kisméretű, nagy igénybevételnek kitett alkatrészek gyártására.

A CFRP-ből készült alkatrészeket eddig főként kézzel állították elő. Az A380-hoz azonban az **Airbus automatikus szalagfektető eljárást** (automated tape laying, ATL) alkalmaz. Az eljárás során a szénszálakat gépek segítségével melegítik fel és helyezik rá egy előformára. A géppel sík- és profilelemek is gyárthatók, ami lehetővé teszi bonyolult formák elkészítését. Ez a technológia jól bevált nagy felületű termékek előállításához. Nemrég kezdték alkalmazni az

Airbus spanyolországi kompozitüzemében, ahol az A380-as vízszintes vezérsíkjának 18x4 m méretű felső burkolatát gyártják. A németországi Stade üzemében is vizsgálják a technológia alkalmazhatóságát a függőleges farokszárny előállításához, míg a franciaországi Nantesban ATL robot fejlesztésén dolgoznak rendkívül összetett alakzatok készítéséhez.

Az **Airbus Germany** cég egy kompozittechnológiai központot hozott létre a stadei gyárban automata technológiák fejlesztésére. Itt szövik és impregnálják ipari gyantákkal a szénszálpaplanokat, majd nagyméretű alkatrészeket sajtolnak belőlük. A tervek szerint Stade lesz az egyik legfontosabb „tudásközpont”-ja a repülőgépeknél alkalmazott kompozittechnológiáknak. A brémai Gyártástechnológiai és Anyag-alkalmazástechnikai **Fraunhofer Intézet**, a szénszálygártó **Hexcel**, a textilgyártó **Saertex** és a braunschweigi **Szerkezeti Mechanikai Intézet** (DLR) szorosan együttműködik a stadei központtal.

Egy másik fő alkatrész, amely CFRP-ből készül, az ovális, 5,5 x 6,2 m-es hátsó nyomástartó válaszfal (ugyancsak nagy igénybevételnek kitett alkatrész), amely elválasztja egymástól a túlnyomásos utasfülkét és a nem nyomás alatt lévő hátsó repülőgéptörzset.

Az Airbus évek óta gyárt szénszál-erősítésű kompozit válaszfalakat a kisebb, A340-es típushoz. Az A380-nál – ahol kb. 40 kg-mal kisebb a válaszfal tömege, mintha fémből lenne – az Airbus szeretne az alkatrészek előállításához gazdaságosabb gyártási eljárást találni. A vállalatnak van egy impregnáló eljárása (resin film infusion, RFI), amelyben egy előformát a szilárd gyantafilmre helyezik, majd nyomás és hő segítségével beömlesztik az anyagba.

Az irányítófelületek (csűrőkormány, féklapok és fékszárnyak), a törzs és a szárny, valamint a hajtóműveknél levő áramvonalas burkolatok is mind CFRP-ből készülnek.

A padlót tartó CFRP gerendák egy innovatív pultrúziós technológiával készülnek, amelyet a japán **Jamoco** cég fejlesztett ki. A technológiában az alakadás és a kikeményedés egy időben megy végbe. A gerendák 8 m hosszúak, tömegük 9 kg.

## Üvegszálakból és alumíniumrétegekből álló laminátum

Egy jelentősebb újítás az A380-on egy új, *Glare* nevű anyag alkalmazása, amelyet a repülőgéptörzs felső héjához fejlesztettek ki. *A Glare laminált szerkezetű, benne alumínium- és erős üvegszálrétegek követik egymást, és így rendkívül szívós és a fémekre jellemző, anyagkifáradással szemben ellenálló anyagot képeznek.* A *Glare* nevű anyagot a **Stork Aerospace/Fokker** cég gyártja Papendrechtben, Hollandiában. Az anyag rendkívüli mértékben ellenálló a korrózióval szemben, mivel a legkülső üvegszálréteg megköti nedvességet, és nem engedi a felszíni alumíniumréteghez áramolni. Az anyag javítását az alumíniuméval megegyező módon lehet végezni. A *Glare* sűrűsége kb. 10%-kal kisebb a tiszta alumíniuménál.

## Belépőél hőre lágyuló műanyagból

A szárny rögzített belépőéle hőre lágyuló műanyagból készül. A teljes főszárnyél alapanyaga *Fortron PPS* [poli(fenilén-szulfid)] alapú kompozit, (gyártja **Ten Cate Advanced Composites**), amelyből a **Fokker Special Products** cég készíti el az éleket a repülőgép mindkét oldalára 35 m hosszban. *A Fortron az első olyan hőre lágyuló műanyag, amelyet a kabinon kívüli kompozit alkatrész előállításához használnak a repülőiparban.* Egy előre láthatóan 2,5 tonnás műanyag alkatrészt fognak gyártani, megmunkálni és beépíteni az A380-ba.

A kétdimenziós belépőél fejlesztésekor olyan műanyagot kerestek, amelynek keménysége és méretstabilitása megmarad még magas hőmérsékleten is, és amely társítható üvegszállal vagy szénszállal. A Fortron alkalmazásának előnyei elsősorban a termék tömegében és a termék előállítása során mutatkoznak meg. *A PPS alapú kompozit 20%-kal könnyebb, mint az alumínium.* A részek nyomás alatt könnyen összehegeszthetők a PPS olvadási hőmérsékletén. Így megtakarítható a fúrás és a szegecseles, amely gyengíti az alumínium alkatrészek szerkezetét. Az Airbus 340-es szárnyrésze csupán két elemből áll, szemben az eddig alkalmazott öttel. Ezáltal is csökkennek a gyártási költségek.

## A tömegcsökkentés további lehetőségei

A tömegcsökkenést nem csak a nagy és nehéz alkatrészek – mint amilyenek a szárnyak és a repülőgéptörzs – kompozitokkal való helyettesítésével lehet elérni. Sok esetben az anyagválasztás kisebb változtatásai is eredményesek lehetnek.

Az üléseket gyártó **JSO** csoport (Toulouse) „Soly” típusú székeinek az A380-ban való alkalmazásáról tárgyal az Airbus-szal. Ezek az ülések a **BASF Basotect** nevű melaminhabjából készülnek. A Basotectet korábban hő- és hangszigetelésre használták. *A Basotect sűrűsége  $<10 \text{ kg/m}^3$ , ami azt jelenti, hogy az ebből készült ülés párnák akár 70%-kal is könnyebbek lehetnek a hagyományos habokból készült párnához képest.* Ez az 555 üléses A380 esetében 600 kg-os tömegcsökkenést eredményezhet. Az üzemanyag-megtakarításból adódó nyereség révén két hónap alatt megtérülhetnek a repülőgép Basotect ülés párnákkal való újrafelszerelésének költségei.

Az A380 utastéri és rakodótéri padlólemeinek a **DuPont Kevlar** márkanévű anyagából készült méhsejtszerkezetű magja szintén hozzájárul a tömegcsökkentéshez. Ez tette lehetővé, hogy a **Singapore Airlines** 2004. februárban a nagy távolságú utasszállításban új távolságrekordot állítson fel, amikor 14093 km-t tettek meg megállás nélkül Szingapúr és Los Angeles között egy speciálisan módosított A340-essel.

Ezeknek a tömegcsökkentési törekvéseknek az ellenére az A380 – a maga 150 tonnájával – *így is a valaha épített legnehezebb utasszállító repülőgép lesz.* De ennek megépítését csakis a tömegcsökkentés teszi lehetővé. Míg a legnagyobb arányú csökkenést az elsődleges szerkezeteknél tudták elérni, ez százalékosan kisebb megtakarítás az egész repülőgép tömegéhez képest, amelynek 20%-át teszik ki a kompozitanyagok, de az alkatrészek számának 40%-a készült kompozitból.

A jövőben további kompozit alkatrészeket is szándékoznak alkalmazni, de ezek nem fogják teljesen kiszorítani az alumíniumot. A végső cél a repülőgépek igénybevételének és légtérének legjobban megfelelő anyag megkeresése. Fontos kialakítani a megfelelő kapcsolatot a titán, az alumínium és a szénszálak között. A jövőben szükség lesz egy új kompozitmátrixra, hogy a szénszálakat további alkalmazási területeken is be tudják vezetni.

## **Nanoméretű szénecsövecskékkel módosított szálak mint repülőgépipari kompozitok?**

Amerikai kutatók egy csoportja új eljárást talált nanoméretű szénecsövek bevitelére szálakba és fóliákba. A módszer lehetővé teszi kompozitszálak előállítását akár 10% nanoméretű szénecsőtartalommal. Ez a szálakat merevebbé teszi, csökkenti zsugorodásukat és növeli hőállóságukat.

A kutatócsoport reményei szerint találmányuk jelentős fejlődést hoz a textilipar számára az elkövetkező 10–20 évben. Remélik, hogy a repülőgépgyártás lesz a technológia fő haszonélvezője az alkatrészek tömegcsökkentésének lehetősége révén. Ha a bekeverhető nanocsövek arányát 20%-ra tudnák növelni, akkor a szálak villamosan vezetővé válnának.

Az egyfalú nanocsöveket először egy oldószerben oszlatják el, majd az így kapott diszperzióban feloldják a szálképző polimert. Az oldatból hagyományos eljárással szálakat húznak.

A nanocsövek hajlamosak az összetapadásra, így akár 100 molekulából álló köteget is alkothatnak. A kutatók hosszú távú célkitűzése ezeknek a kötéseknek a felbontása és különálló nanocső-molekulák előállítása. Ez azt jelentené, hogy elegendő lenne ezeket 0,1%-ban alkalmazni ahhoz, hogy elérjék a kívánt hatást.

## **Díjazott kompozit repülőgép-alkatrész a JEC kiállításon**

A franciaországi **JEC** (Journals and Exhibitions on Composites) évente kiállítást rendez a kompozitgyártók számára. A 2004-es *kiállítás 5 díjazottjának egyike egy teljes egészében kompozitból készült repülőgép-alkatrész volt.*

A kompozitból készített spoiler (áramlásirányító szárnyféklap) az Airbus A340-hez, valamint az A330-hoz egyaránt használható, és egy alumínium alkatrészt helyettesít. A nagy igénybevételnek kitett elemet, amely a spoilert az őt működtető különböző szervomotorokhoz és vezérlőelemekhez csatlakoztatja, ragasztással rögzítik és gyanta-transzferöntéssel (resin transfer molding, RTM eljárással) állítják elő egy előformából.

A csatlakozóelem előállítása a *Priform* technológián alapul, amelyet a **Cytec Engineered Materials** cég fejlesztett ki. A Priform előforma finom szövésű, térhálósító szerrel kezelt szálakból álló szövetet tartalmaz. Ez szükségtelemné teszi térhálósító hozzáadását a gyantához, ami növelné a viszkozitását. A kis viszkozitású gyanta a formaadó szerszámba kerülve kioldja az erősítőszövetből a térhálósítót, amely kikeményíti a gyantát. Ez sokkal rugalmasabb gyártást tesz lehetővé. Az alkatrészt és a szerszámot a **Fischer Advanced Composite Components** (Ausztria) tervezte.

A JEC felmérése szerint a világ kompozitipara évente kb. 3%-kal növekedik. Az iparág termelési értéke 41,5 Mrd EUR. A JEC 2–3%-os értékbeni és 4–5%-os mennyiségbeli növekedést jósol a 2008-ig tartó időszakra.

A legdinamikusabban fejlődő ágazat jelenleg a szélenergia (20%-os éves növekedéssel), a repülőgépipar (9%-os éves növekedéssel), az autóipar és a hajózás (7–7%-os éves növekedéssel).

A különböző térségekben eltérő mértékben nő a kompozitok felhasználása. Míg Európában és Észak-Amerikában, amely a piac 75%-át teszi ki, csak 4%-os növekedés valószínű, addig Indiában (15%) és Kínában (10%) sokkal gyorsabb az igények bővülése.

**Kovács Levente**

Brownlie, R.: Travelling light. = European Plastics News, 31. k. 5. sz. 2004. p. 18–20.

Researchers improve loading in carbon nanotube fibers. = European Plastics News, 31. k. 5. sz. 2004. p. 23.

Composite spoiler fitting scoops JEC award. = European Plastics News, 31. k. 5. sz. 2004 p. 23.