

Újdonságok a gépkocsi-karosszéria felépítésében

Az autógyártás fejlesztésében a fő célkitűzések a tömeg, és ezáltal az üzemanyag-fogyasztás csökkentése, a gyártási költségek mérséklése és az egyre magasabb műszaki színvonal elérése. A továbbiakban ezekre mutatunk be példákat: a tömeg- és költségcsökkentést segítheti a növényi olajból előállított epoxigyanta és a természetes erősítőszálak alkalmazása, a magas műszaki színvonalat a radarantenna beépítése a karosszériába.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; autógyártás; karosszéria; fóliatechnika; erősített műanyagok; természetes szálak; polimer növényi olajból; epoxigyanta; radarantenna.

Autóbusz-ütköző növényi szálból és növényi alapanyagú gyantából

Növényi szállal erősített műanyagokat az 1990-es évek közepe óta használ az autógyártás az utastér belső kiképzéséhez. Elterjedésüket nemcsak jó tulajdonságaik indokolják, hanem könnyű feldolgozhatóságuk és gazdaságosságuk is. Fő feldolgozásmódjuk a sajtolás, az ún. folytatva sajtolás (a hosszú szállal – pl. lenszállal – erősített PP kompozitoknál ezt LFT-eljárásnak, a hőre keményedő mátrixsal készülnél SMC eljárásnak nevezik). Egy új fejlesztési programban *növényi szállal erősített polimert egy autóbusz karosszériájának ütközőelemeként próbáltak ki*, amelynek újdonsága nemcsak az, hogy a belső térnél sokkal agresszívabb külső térben alkalmazzák, hanem az is, hogy mátrixának alapanyagait is növényi eredetűek.

A kompozit erősítőanyaga kenderrost, ami önmagában nem újdonság. *A gyantát azonban növényi olajból előállított trigliceridek epoxidálásával állítják elő, az epoxigyanta térhálósításához pedig növények fermentálásakor kapott etanolból és karbon-savból készítenek polikarbonsavanhidridet.* A térhálósodást iniciátorral indítják meg. A gyantát *PTP* néven („polimer trigliceridből és polikarbonsavanhidridből”) a **Bio-Composites and More GmbH (B.A.M., Ipsheim)** gyártja. A gyanta viszkozitását úgy állították be, hogy a növényi rostok abban könnyen és egyenletesen el tudnak oszlani. A kompozitban a 2003 óta termesztett *Cannabis sativa L.* „*Fedora*” fajtát használták, amelyből a **Nafto GmbH (Neerstedt)** gyárt erősítőanyagot. A kender szárát rövid áztatás után forgó dobokban famentesítik és durván feltárják. A visszamaradó kenderrostok kötegeket alkotnak, amelyeket természetes ragasztóanyag tart össze.

A kompozitból a **BKT GmbH (Braunschweig)** sajtolt SMC eljárással a **MAN** használműgyár (**MAN Nutzfahrzeuge AG**) egy autóbusztípusa számára elülső ütközőelemeket, amelyek belesimulnak a karosszériába. Az elemek egy részének anyagába

szervetlen égésgátlót is keverték. Az eddig használt ütközőelemek üvegszálás poliésztergyantából készültek és tömegük 3,6 kg volt. Az új elemek közül az égésgátlót tartalmazók alig könnyebbek, az égésgátló nélküliek tömege 0,8–1 kg-mal kisebb.

A PTP gyantából és kenderrostból készített keverékeket, a „prepregeket” 16 napig „érlelték”, majd a szokásos SMC sajtolószerszámban 135 °C-on formázták őket. A feldolgozást végző alkalmazottak egészségét sem a kompozit elkészítése, sem pedig a sajtolás alatt nem veszélyeztetik aromás illó anyagok, ezért szükségtelen a légzésvédő eszköz alkalmazása.

1. táblázat

Az ütközőelemre előírt műszaki jellemzők a MAN cég M 6.400-50 Typengruppe 3F jelzésű házi szabványa szerint

| Tulajdonság | Szabvány | Mértékegység | Előírt érték |
|---|------------|----------------------|--------------|
| Húzószilárdság | DIN EN 61 | MPa | ≥ 65 |
| Húzómodulus | DIN EN 61 | MPa | ≥ 5550 |
| Hajlítószilárdság | DIN EN 63 | MPa | ≥ 150 |
| Ütésállóság | DIN 53 479 | kJ/m ² | ≥ 50 |
| Sűrűség | DIN 53 479 | g/cm ³ | 1,65–2,0 |
| Vízfelvétel (1 liter, 100–120 min, tömegnövekedés) | DIN 53 495 | % | $\leq 0,60$ |
| Lineáris hőtágulás | DIN 53 752 | 10 ⁻⁶ 1/K | ≤ 35 |
| Éghetőség (vízszintes égés sebessége) | EG 95/28 | mm/min | < 100mm/min* |

* A lehulló ömledékcseppek nem gyújthatják meg az égő pálca alá helyezett vattát.

Az ütközőelemre előírt műszaki jellemzőket az 1. táblázat tartalmazza. Míg az eredeti poliészter/üvegszál ütközők hajlítószilárdsága átlagosan 25%-os szórást mutatott, a PTP-ütközőké csak 10%-ot. A prototípus hajlítószilárdsága 100 MPa körüli érték. A szakítószilárdság és az E-modulus eltérései 5%-os belül voltak. Forró vízből az eddigi ütköző 120 perc alatt 4,88%, az új PTP ütköző 4,57% nedvességet vett fel, ionmentes vízből szobahőmérsékleten a lakkozás nélküli új ütköző 0,98%-ot, kicsivel többet, mint versenytársa.

A mérések azonban azt mutatták, hogy a merev növényi szálak miatt a PTP ütköző ütésállósága gyenge. Előkísérletek arra engednek következtetni, hogy rugalmas szálak (ipari úton előállított cellulózsálak, pl. *Cordonka-szálak*) hozzákeverésével növelhető a kompozit ütésállósága. A fejlesztés jelenlegi szakaszában ez a legfontosabb célkitűzés.

A csekély éghetőséggel szemben támasztott követelményeket valamennyi ütközőelem teljesítette. Kiemelkedő eredményt adott az égésgátlót tartalmazó ütköző (égési sebessége 2,6 mm/min). Az üvegszálás ütközőé 5,3 mm/min.

A gyakorlati próbát 2005-ben egy évig folytatták. A kísérleti autóbuszok elejére szerelt ütközőelemeket átlátszó lakkal vonták be és havonta vizsgálták meg őket. A németországi „Erősített műanyagok munkacsoportja” (**Arbeitsgemeinschaft Verstärkte Kunststoffe, AVK-TV**) 2005. szeptemberében a „környezetvédelem” kategóriában innovációs díj 2. fokozatával tüntette ki az új ütközőt. A kísérlet bebizonyította, hogy a természetben megújuló alapanyagokból lehetséges műszaki célokra kompozitot előállítani.

Karosszéria beépített radarantennával

A mobilitás és az individualitás ma széles körű társadalmi igény, ezért a gépkocsikban egyre nagyobb szerepet kapnak a vezetéstechnikát megkönnyítő nagyfrekvenciás eszközök, amelyek részben funkcionális szerepet töltenek be, részben a biztonságot növelik. Ezek legtöbbször sokoldalú mechatronikus rendszerek, azaz nagy teljesítményű mozgó mechanikus és elektronikus alkatrészekből állnak.

Az **Erlangeni Egyetemen 2006 óta dolgoznak egy kutatási projekten, amelynek elérendő célja „elektronikus komponensek beépítése mobil rendszerekbe”**. A munka egyik részfeladata olyan antennaelemek beépítése a gépkocsi karosszériájába, amelyek képesek a gépjármű-közlekedésben alkalmazott 24–77 GHz frekvenciasáv radarjeleit felfogni és a vele összeköttetésben lévő eszközöket működtetni.

A gépkocsi nagyon összetett biztonsági rendszere, az antenna megkövetelt precizitása mellett annak gyártástechnikai korlátai, a műanyagba épített érzékelők decentrális elhelyezése, az antenna megbízható kapcsolata az általa működtetett nagyfrekvenciás eszközökkel nagyon sok új megoldást tesz szükségessé, ami csak a különböző tudományágak és szakemberek közös erőfeszítésével fejleszthető ki. A fejlesztés során azt is szem előtt kell tartani, hogy a gépkocsigyártás egyik fő célkitűzése a minél több műanyag elem alkalmazása a karosszériában.

A fóliatechnika alkalmazása a karosszériaelemek gyártásában

A feladat megoldására az utóbbi időben terjedő *fóliatechnika* alkalmazása tűnik járható útnak. *Ennek lényege, hogy a gépkocsi elemeinek gyártásakor először a külső felületet adó műanyag fóliát fektetik a szerszámba, majd ennek hátoldalára fröccsöntik rá a vázat adó hőre lágyuló műanyagot, azaz kívülről befelé alakítják ki a karosszéria-elemet.* Ezt az eljárást már alkalmazzák a sárhányóelem gyártásában, de be akarják vezetni a vízszintes és függőleges irányban is erős terhelésnek kitett nagyméretű ajtómodulhoz, motorház- és csomagtartófedélhez is. Az eljárás szükségtelenné teszi az utólagos lakkozást, ezáltal megszűnik a színazonosság, a hőállóság, a lakkozás előtti elpiszkolódás problémája.

A gépkocsikba eddig beépített műanyag elemek a légi járművek és üreszközök gyártásával szemben (ahol minden egyes kilogramm tömegcsökkenéssel 10 ezer EUR-t takarítanak meg) eddig nem tette olcsóbbá az autókat, mert a drága műszaki mű-

anyagok előszárítása, utólagos lakkozása „elvitte” a tömegcsökkenésből eredő hasznot. A fóliatechnika változtathat ezen a helyzeten. A fóliára a felhasználás előtt viszik fel a lakkréteget, amelyet UV-fénnyel térhálósítanak. A fólia a térhálósítás előtt a gyártandó elemnek megfelelő alakúra formázható.

A fentiek szerinti gyártásmód során kellene a radarantennát beépíteni a karosszériaelemekbe. Különböző kapcsolókat és jelfogókat már széles körben alkalmaznak nagyfrekvenciás berendezésekben sík felületre felvitt mikrosávós kivitelben. Ezek azonban zárt térben vannak, kívülről ágyazzák be őket és általában szűk frekvenciasávban működnek. A beágyazás nem változtathatja meg az érzékelés hullámhossztartományát. Gépkocsikba ezért ilyeneket eddig a nemfém anyagból készített lökhárító mögé építettek be.

A fóliatechnika lehetővé tenné, hogy az antennát a karosszéria bármely pontjára helyezték. Eddig azonban ilyen sehol nem próbáltak készíteni. A sugárzást érzékelő elemek rögzítése, egymással való érintkeztetése, a miniaturizált radarmodulok rendkívül kis toleranciával való gyártása, a szennyeződéstől és a vandalizmustól való védelme hihetetlen sok új feladatot ad a fejlesztőknek. És emellett az ilyen eszközök jelenlétét a karosszéria felületén nem szabad észlelni.

Az antennának követnie kell a karosszéria formáját, de az antenna alakváltozása megváltoztatja az elektromágneses teret is, a több elemből álló antennacsoport egymást zavarja. A radarrendszert ezért a karosszéria formájának megfelelően kell megtervezni. A görbült felületeken kialakuló elektromágneses tulajdonságokat előzetesen szimulációs programmal kell tanulmányozni. Ezért ki kell fejleszteni olyan eljárásokat (Diagrammsyntheseverfahren), amelyekkel alkalmas matematikai modelleket készíthetnek a teljes karosszéria radarantennára kifejtett hatásának kiszámítására. Ezen a területen kezdeti eredmények már vannak.

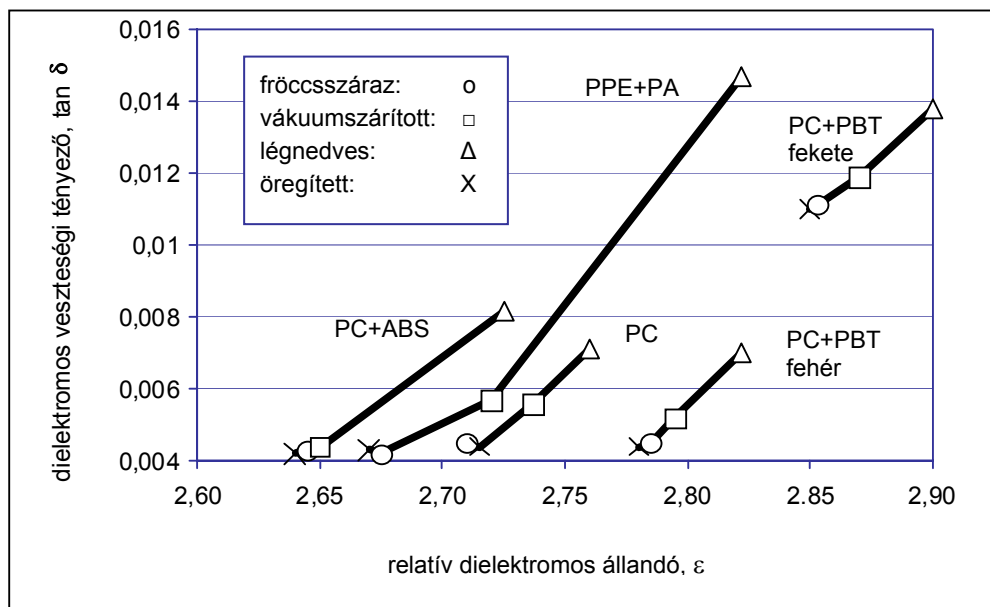
Anyagkiválasztás, gyártástechnika

A karosszéria alapanyagainak nagyon szigorú és nagyon sokoldalú követelményeket kell kielégíteniük. A mechanikai követelmények között szerepel pl. a -30 °C -ig megőrzött nagy ütésállóság, a függőleges elemeknél az 1500-2500 MPa közötti, a vízszintes elemeknél a legalább 4500 MPa E-modulus; a termikus követelmények között a csekély hőtágulás és a nagy hőállóság ($\text{HDT} > 110\text{ °C}$). A karosszéria felületi minőségének el kell érnie az A-osztályú besorolást, a felület nem karcolódhat és ellen kell állnia a gépkocsikban előforduló folyadékoknak és zsíroknak, továbbá az időjárás hatásainak. A többrétegű szerkezeteken belül sem a műanyagrétegek, sem a műanyag/fém határfelületek nem válhatnak el egymástól. Ha a karosszéria nagyfrekvenciás eszközöket tartalmaz, döntő fontosságúak az alapanyag dielektromos tulajdonságai is: a dielektromos állandónak mérsékeltnek, a veszteségi tényezőnek kicsinek kell lennie, és nem léphet fel dielektromos anizotrópia. A polimerek az elektromágneses hullámok számára átjárhatóak ugyan, de a bekevert adalékok vagy a rétegek közötti ragasztóanyag ezt a tulajdonságot kisebb-nagyobb mértékben megváltoztathatja.

Egy többrétegű, funkciós elemeket is tartalmazó karosszériaelem pl. a következő módon épülhet fel a külső felülettől befelé:

1. réteg: lakkozott védőfólia,
2. réteg: műanyag fólia négy beágyazott, fémmel bevont és egymással összekötött, négyzet alakú antennaelemmel,
3. réteg: alsó vázréteg fémbevonattal és villamos érintkezővel.

Egy ilyen szerkezet létrehozásához a fóliát extrudálják vagy koextrudálják, majd hőformázással alakítják. A felület funkcionálisához alkalmazhatnak hőprézelést, sajtoló eljárást, kémiai vagy fizikai fémgőzölést (CVD: chemical vapour deposition; PVD: physical vapour deposition). Végül a vázanyagot fröccsöntéssel, fröccsprézeléssel, habosítással viszik fel a szerkezet hátsó oldalára. A kívánt eredmény elérésére mindezen eljárásokat össze kell hangolni és optimalni kell. Az egyes rétegek vastagságúrése rendkívül kicsi, az antenneszerkezet precizitása rendkívül fontos. A rétegek egymáshoz képest nem mozdulhatnak el sem alakváltozáskor, sem hőmérsékletváltozáskor.



1. ábra A vizsgált anyagok dielektromos tulajdonságai fröccsszáraz állapotban (o), vákuumban száritás után (□), légnedves állapotban (Δ) és öregítés után (x) (légnedves állapotban a különböző anyagok víztartalma: PC <0,25%, PC+PBT <0,4%, PC+ABS <0,6/, PPE+PA ≈ 2,5%)

Vázanyagként négyféle anyagcsalád többféle típusát próbálták ki: polikarbonátot (PC, Makrolon 2405, átlátszó, fekete, gyártó **Bayer MaterialScience**), polikarbonát és ABS keverékét (PC+ABS, Bayblend T45, natúr; Bayblend T65, natúr, gyártó **Bayer MaterialScience**), polikarbonát és poli(butilén-tereftalát) keverékét (PC+PBT, Xenoy

XD 1573, fehér, piros, fekete; *Xenoy XD 1622*, fekete, gyártja **GE Plastics**), poli(fenilén-éter) és poliamid keverékét (*PPE+PA*, *Noryl GTX964*, fekete, gyártja **GE Plastics**). Antennát hordozó és lakkozott fóliaként a **Bayer MaterialScience AG** 250 µm vastag *Makrofol DE 6-2* (PC) és *Bayfol CR 6-2* (PC+PBT) fóliáját alkalmazták, és maguk extrudáltak hasonló vastagságú fóliát a vázanyagként is felhasznált *Bayblend T65*-ből. Magának a többrétegű szerkezetnek az összvastagsága 1,8 mm.

Az alapanyagok dielektromos és termomechanikai tulajdonságait fröccsöntött lapokon, ill. fóliákon vizsgálták, az utóbbiakat fröccsszáraz, 70 °C-on vákuumban szárított és légnedves (70 °C-on 65% relatív páratartalmú térben tárolt), ill. öregített próbatesteken is. Az öregítést –40/125 °C között 600 cikluson át sokszerűen váltakozó hőmérsékleten végezték. Az eredményeket az *1. ábra* mutatja. Látható, hogy a nedveségtartalom növekedése növeli a dielektromos állandót és a veszteségi tényezőt is. A dielektromos állandó erősebben anyagtól függő tulajdonság. A korommal színezett fekete PC+PBT keverék dielektromos jellemzői lényegesen magasabbak voltak, mint a fehér színezéket tartalmazóé.

A karosszéria elemeinek környezetében a csúcshőmérséklet használat közben akár 125 °C is lehet, és ezen a hőmérsékleten a műanyagok mechanikai tulajdonságai már megváltozhatnak. A termomechanikus tulajdonságokat dinamikai-mechanikai analízissel (DMA módszerrel) vizsgálták. A polimerkeverékek közül 100 °C felett a *Bayblend T65* és a *Makrolon 2404* őrizte meg legjobban merevségét, tárolási modulusuk 110 °C-on az 1850–2000 MPa, lineáris hőtágulásuk a $(80-90) \times 10^{-6}/K$ tartományba esett.

Fóliákra nagyon finom vezetőképes struktúrákat az 1990-es évek óta ún. *meleg prégelessel* (Heissprägen) visznek fel. A kutatócsoport a prégeles hőmérsékletének, nyomásának, időtartamának változtatásával próbálta meghatározni az adott fólia sajátosságainak legjobban megfelelő feldolgozási paramétereket, az ún. „feldolgozási ablakot”. Az antenna 0,5-1 mm széles vezető pályáit a **Bolta Werke GmbH** 18 µm vastag réz prégelefóliájából alakították ki. A pályák lefejtési ellenállása nagyon kicsi volt: PC fólián 0,3 N/mm, PC+PBT fólián 0,5 N/mm, PC+ABS fólián 0,55 N/mm. Ezt azzal magyarázzák, hogy a rendkívül keskeny pályákon túlságosan erősen érvényesült az ún. szélhatás, amely ellensúlyozta a pályák középső részének tapadását. Gyöngítette a tapadást a fóliák prégeles közben bekövetkező hullámosodása is.

Mivel a karosszérielemek gyártásakor a többrétegű szerkezetet a hőformázás, a hátulról fröccsöntés során erőteljes mechanikai és hőhatások érik, a továbbiakban a kutatás egyik fő célja lesz a fém-pályák tapadásának javítása, pl. a fóliák felületének prégeles előtti lézeres előkezelésével vagy a vezető pályák más módon való felhordásával (pl. kémiai, ill. fizikai fémgőzöléssel).

Az eddigi kísérletekből levonható következtetések

A eddigi kísérletekből a kutatócsoport azt a következtetést vonja le, hogy dielektromos és termomechanikai tulajdonságai révén a *PC* és a *PC+ABS* keverék alkalmas lehet ajtómodulokba beépített antennarendszerek hordozására. A *PC+ABS* az

alacsony hőmérséklet-tartományban jobban megőrzi merevségét és ütésállóságát, emellett széles hőmérséklet-tartományban kisebb a hőtágulása; a PC viszont 110 °C és lágyuláspontja (150 °C) között jobban megtartja merevségét.

Egy antennarendszer karosszériába építésekor a merev hordozóvázat kell a hajlékony funkciós fóliával társítani. Ez csak akkor sikerülhet, ha nagyon alaposan ismerik valamennyi összetevő termomechanikai és dielektromos tulajdonságait. Nyitott rezonátor alkalmazásával lehetővé vált, hogy próbatesteken, akár többrétegű próbatesteken is vizsgálják a szerkezetek dielektromos tulajdonságait. Alkalmas próbatestek hátoldalára a vázanyagot is fel lehet vinni.

Egy ajtómodulba beépítendő háromdimenziós antennarendszer kialakításakor természetesen felmerül az a kérdés, hogy milyen mértékben formázható az a többrétegű szerkezet, amely az antennát tartalmazza, és mekkora lehet a karosszériaelem görbületi sugara. Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolására a kutatócsoport egy hőformázó és egy merülőéles szerszámot készített, amelyekben szisztematikus kísérleteket fognak végezni az antennarendszerek további tanulmányozására.

Összeállította: Pál Károlyné

Müssig, J.: Karosserie aus Naturfasern und Pflanzenöl. = Kunststoffe, 97. k. 3. sz. 2007. p. 78–83.

Fuchs, M.: Karosserieaußenhaut mit integrierter Antenne. = Kunststoffe, 97. k. 11. sz. 2007. p. 56–62.