

Kompozit és hibrid szerkezetek vizsgálata

A nagyobb mechanikai terheléseknek kitett alkatrészek, elemek egyre gyakrabban hibrid szerkezetűek, azaz két- vagy többféle anyagból, pl. fémből és műanyagból épülnek fel. A szerkezetek minőségének ellenőrzésére általában különböző mérési módszerek kombinációja szükséges.

Tárgyszavak: hibrid szerkezet; szerkezetvizsgálat; TPE-EPDM; ultrahangos hegesztés; fém-műanyag kötés.

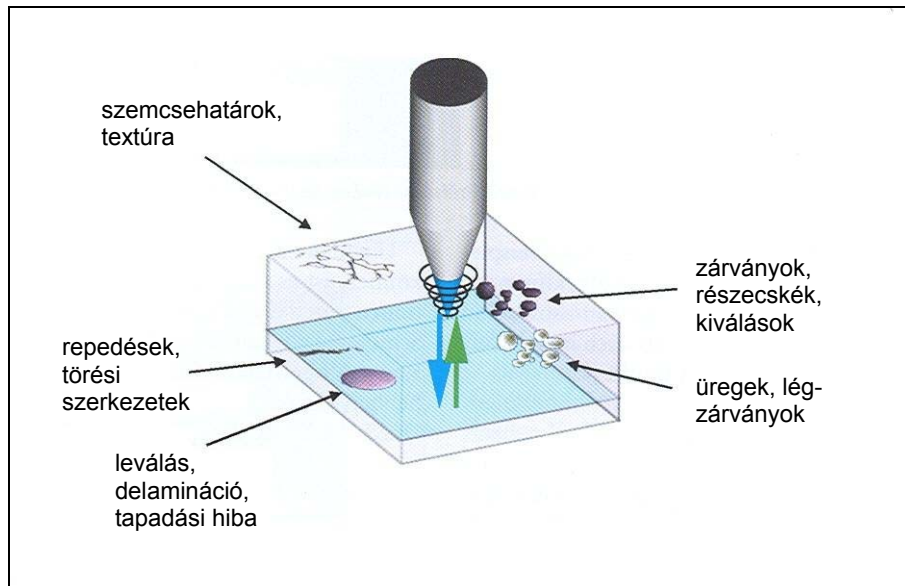
Fém-műanyag kötések vizsgálata kombinált optikai és akusztikai módszerekkel

A könnyűszerkezetes építésmód egyre fontosabbá válik – többek között a gépjármű- és a repülőgépgyártásban is. A különféle szerkezeti anyagok kombinációja azonban feltételezi, hogy megfelelő kötési módszerek állnak rendelkezésre. A terhelés alatt kialakuló delamináció vagy légzárványképződés vizsgálata nagy segítséget jelent az adott kötés minőségének ellenőrzése során, de ennek elvégzése nem egyszerű feladat. A pontosabb felderítés egyik eszköze lehet a *különböző mérési módszerek kombinációja*, például a pásztázó akusztikus mikroszkópiáé és a szürkeségi érték mérésére építő vizsgálati módszeré. *Vegyünk példaként egy átlapoló kötést egy alumínium-magnézium ötvözet (AlMg₃) és egy szénszál-erősítésű poliamid 66 (CF-PA66) között, amelyben bonyolult húzó, nyíró és lefejtő igénybevételek lépnek fel.* A pásztázó akusztikus mikroszkópia segítségével vizsgálva a húzó-nyíró igénybevételt, információ nyerhető a delaminációról és a légzárványképződésről. Az így nyert kétdimenziós információt a szürkeségi érték analízisével lehet kiegészíteni. Ilyen módon a határréteg deformációs és megnyúlási vizsgálatával lépésenként követhető a terhelés hatása. Az AlMg₃ esetében a megnyúlások közvetlenül az átmeneti zónában gyűjthetők, és a kis terheléseknél a Hooke törvény jól alkalmazható.

A pásztázó akusztikus mikroszkópia (SAM) és a szürkeségi vizsgálat

A pásztázó akusztikus mikroszkópia kétdimenziós, ultrahang alapú vizsgálati módszer. A rendszer lelke egy ultrahangos átalakító, amely villamos jeleket mechanikai rezgéssé tud alakítani és vissza. Az ultrahangot az átalakító egy közvetítő közeg (többnyire víz) segítségével a vizsgálandó tárgyba juttatja. Az átalakítót tartalmazó fej x-y irányban meanderszerűen mozog a vizsgált felület fölött. Az akusztikus hullám

kölcsönhatásba lép az anyag akusztikus impedanciájával (ami a sűrűség és a terjedési sebesség szorzata). Minden határfelületen a hullám egy része visszaverődik és időbeli késéssel detektálható az átalakítóban. Az 1. ábrán láthatók a detektálható hibák. A hibák elhelyezkedése vizsgálható a felület mentén (úgynevezett C-pásztázás) és a mélység függvényében (B-pásztázás).



1. ábra Az ultrahangos átalakító és a detektálható hibatípusok

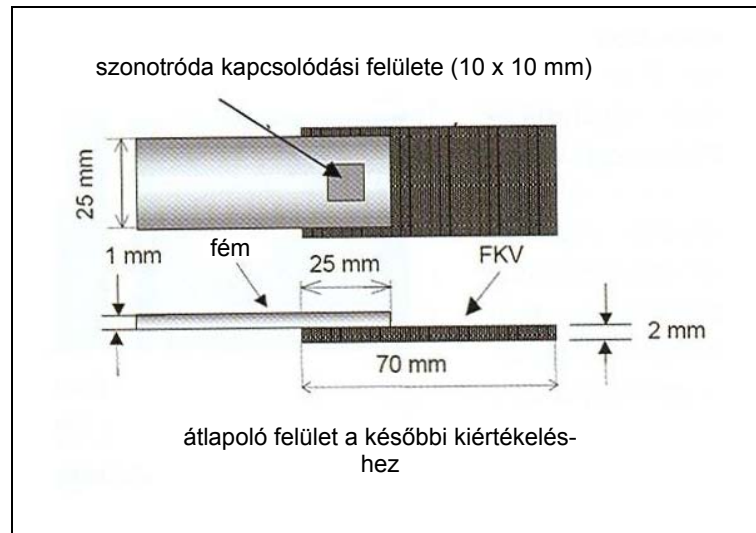
A szürkeségiérték-korreláció egy matematikai vizsgálati módszer, amelynek segítségével a *digitális képadatokból eltolódási vektorok számíthatók*. Elsősorban arra alkalmas, hogy különböző mechanikai vagy termikus terhelésnek kitett azonos testek felvételeit hasonlítsák össze a finom eltérések kiderítése érdekében. Ezzel a technikával 2D vagy 3D elmozdulási térképek is rekonstruálhatók. Mivel a SAM 2D felvételek a határfelületekről szolgáltatnak információt, a 2D elmozdulások kalibrációja elegendő a kamerás felvételek nagyságának hozzárendeléséhez. Eközben egy statisztikus eloszlású, kontrasztos szürkeségi értékmintát osztanak el a felületen, aminek segítségével az elmozdulásvektorok nagy pontossággal meghatározhatók. Mivel az adatgyűjtés optikai úton történik, csak optikailag hozzáférhető felületek deformációja vizsgálható.

A két módszer együttes alkalmazásával a korábbinál pontosabb információ nyerhető az átlapoló kötés tönkremenetelére vonatkozóan. Ahhoz, hogy a köztiréteget tanulmányozni lehessen, az ultrahangos képi információt az AlMg₃ vagy a CF-PA 66 rétegen keresztül kell begyűjteni. Tekintettel arra, hogy a szálerősített műanyag erősen szórja az ultrahangot, a fém felől végezték a besugárzást.

Ultrahanggal hegesztett határfelület vizsgálata

Az ultrahangos hegesztési technológia segítségével olyan különböző anyagok is összehegeszthetők, mint a fém, az üveg és a hőre lágyuló műanyag. A módszer fő fel-

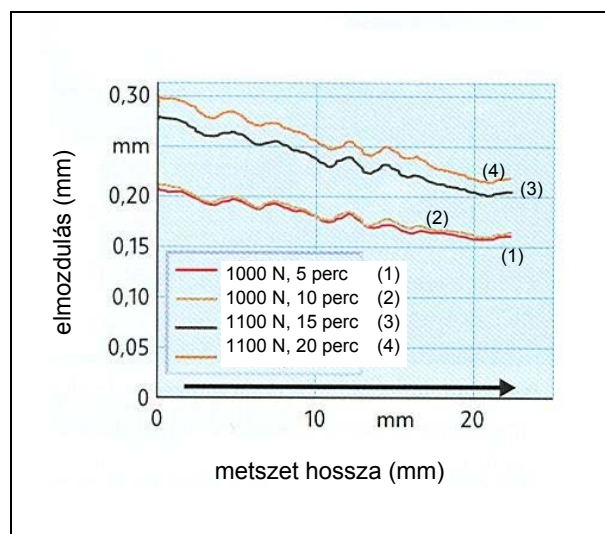
használói az autóipar, az elektronika és az orvostechika. Az ultrahangos hegesztés fő előnyei a jó varratminőség, a rövid hegesztési idő és a jó automatizálhatóság. A hegesztendő *AlMg₃* és *CF-PA 66* darabokat egymáshoz nyomják, majd a megfelelően kialakított szonotróda (ultrahangos hegesztőfej) horizontális rezgéseket hoz létre a határfelületen (a kötési geometriát a 2. ábra mutatja). A határfelületi abszorpció és a sűrűdés következtében a rezgés hővé alakul. Az elkészült próbatestet szabályozható erővel (20 N pontossággal, max. 2000 N terhelésig) terhelik úgy, hogy közben a vizsgált felület víz alatt van az ultrahangos vizsgálat érdekében. Az erőmérő bélyeget szilikonon borítják, hogy a vizes közeg ne okozzon benne károkat.



2. ábra Az ultrahanggal hegesztett alumínium/magnézium ötvözet (fém) és a szénszállal erősített PA 66 (FKV) darab geometriája

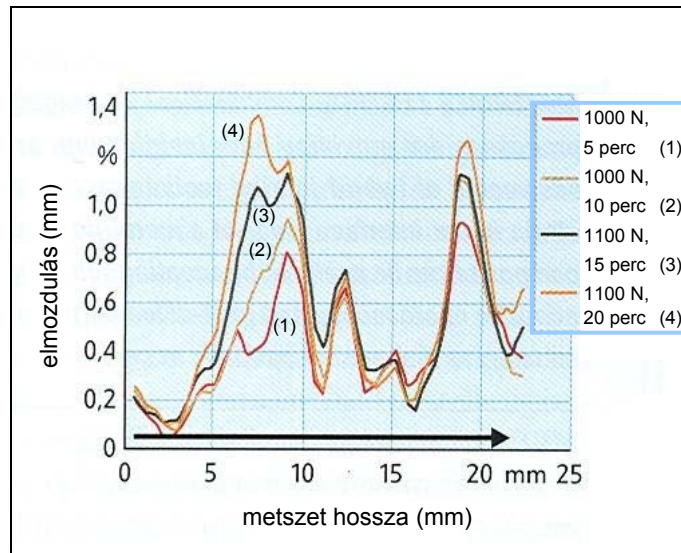
A pásztázó akusztikus mikroszkóppal (SAM) mélységi vizsgálatot (B-pásztázás) végeznek, ami detektálja a határfelületeket. Az ötvözetréteg vastagságát úgy választották meg, hogy a szonotróda hozányomása ne okozzon benne zavaró méretváltozást. A határfelület mélysége mellett kétdimenziós felvételt (C-pásztázás) is végeztek, hogy követhető legyen a mélységeloszlás. Az első SAM felvételt terhelés nélkül, egy másodikat kb. 1000 N terhelésnél, egy harmadikat 1100 N terhelésnél, és egy utolsót kb. 1400 N terhelésénél, közvetlenül a tönkremenetel előtt vettek fel. A felvételek azon a területen szolgáltatnak legtöbb információt, ahol a határfelület a legnagyobb húzónyíró igénybevételnek van kitéve. Az egyik mintában pl. kisebb légzárványok voltak megfigyelhetők már terhelés nélkül is, amelyek a terhelés hatására összeolvadtak – ez tulajdonképpen egy repedési folyamatnak felel meg. A SAM módszer önmagában nem elég ahhoz, hogy a terhelési folyamatot kielégítően jellemezzék. Ehhez arra van szükség, hogy a SAM felvételeket a szürkeségiérték-analízisnek vessék alá, hogy a megnyúlás eloszlását az egész határfelület mentén megkapják.

A SAM pásztázó eljárás, a teljes felvétel elkészüléséig több perc is eltelik. Erre azért van szükség, mert minél nagyobb a felbontás, annál hosszabb a felvétel, de annál informatívabb az elkészült vizsgálati eredmény. Az olyan próbatesteknél, ahol időfüggő folyamatok zajlanak (mint az ismertetett példában is), különösen figyelni kell az eredmények értékelésére, hiszen a felvétel vége felé a próbatest már nem teljesen azonos állapotban van, mint az elején – ettől csak kisebb terhelés esetében lehet eltekinteni. *A terheletlen alapállapothoz képest a deformáció diagonális (átlós) irányban nő.* Ideális esetben a maximális deformációkülönbség horizontálisan, az erővel párhuzamosan várható. Az átlós irányú eltérést több dolog is magyarázza (a befogásból eredő forgatónyomaték, a szög alatti hegesztés és az ultrahangos felvétel során bekövetkező relaxáció a mintában). A 3. ábra az átlós irányban mérhető deformáció mértékét mutatja különböző terhelések mellett. 1000 N terhelésnél nincs értékelhető különbség a két felvétel között, 1100 N esetén kb. 0,02 mm eltolódás látható a kúszási folyamat miatt. A szűrkeségi érték vizsgálata azt szolgálta, hogy megtalálják a terhelésátvivő területeket a hegesztett felületen. Az elmozdulásokból kiszámíthatók az átlós irányú elmozdulások, amelyeket a 3. ábrával azonos körülmények között a 4. ábra mutat be. A már elvált és még el nem vált zónában a megnyúlások (érthető módon) másként alakulnak. A légzárványok jelenléte zavarja a szűrkeségi értékek korrelációjának kiértékelését is. 1400 N esetében már olyan nagy mértékű az időfüggés, és a próbatest olyan közel van a tönkremenetelhez, hogy a szűrkeségi értékek analízise már csak igen nagy hibával végezhető el. A kétdimenziós C-pásztázó felvételek tanúsága szerint a megnyúlás eloszlásmaximuma a hegesztett ill. a szonotróda körüli terület peremén lokalizálódik.



3. ábra A hegesztett AlMg₃/CF-PA 66 felület átlója mentén mért eltolódás nagysága különböző terheléseken, a terhelés utáni különböző időpontokban mérve

A vizsgálat azt bizonyította, hogy a két módszer kombinációja hasznos új információt szolgáltat a hegesztett felületről, most már „csak” az van hátra, hogy a mérési eljárást bonyolultabb, a gyakorlathoz közelebb álló geometriákra is átvigyék.



4. ábra A hegesztett AlMg₃/CF-PA66 felület átlója mentén a hegesztési részben számított megnyúlás nagysága különböző terheléseken, a terhelés utáni különböző időpontokban mérve

TPE-EPDM hibrid elemek vizsgálata

Noha a TPE-k (hőre lágyuló elasztomerek) választékának bővülése egyre több helyen lehetővé teszi a hagyományos térhálós gumik kiváltását, még mindig vannak olyan területek (pl. az erős dinamikus vagy termikus terhelésnek kitett alkatrészek), ahol továbbra is szükség van a térhálós elasztomerekre. Ilyenek pl. az ablak és ajtószigetelések az autóiparban, vagy a nagy hőmérsékleti terhelésnek kitett építőipari szigetelések (pl. fűtő vagy napelemes rendszerekben). A TPE ilyen esetekben is használható, mint összekötő vagy lezáró elem a térhálós EPDM profilok között. Ezt a kombinált megoldást a hőre lágyuló műanyagok hagyományos előnyei diktálják, a gyorsabb ciklusidő, a kisebb beruházási költség, az azonos darabszám mellett kevesebb szerszám és kisebb utómunkálási igény.

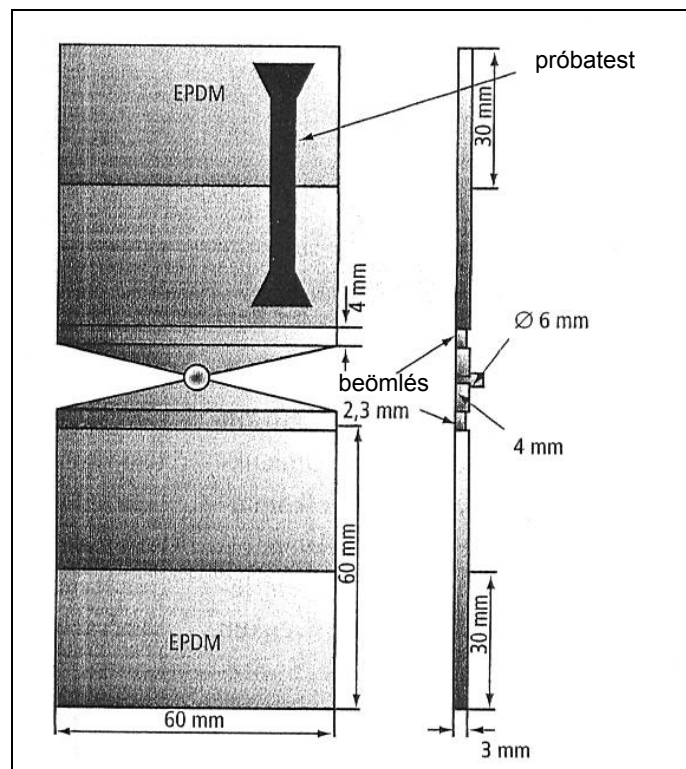
Az ilyen hibrid alkatrészekkel szemben azonban fontos követelményeket támasztanak:

- a tapadó határfelületet tartalmazó hibrid elem szilárdságának meg kell haladnia a 3,5 MPa értéket,
- a tapadó felületnek nyúlnia kell, mert pl. a sarokkötések behelyezésekor a darab komoly deformációnak van kitéve,
- jó tömítőképesség,
- jó időjárás-állóság.

Az első ilyen egymáshoz tapadó EPDM és TPE elemeket tartalmazó alkatrészek a 90-es évek végén jelentek meg a tömítések piacán. Ezek az első generációs alkatrészek még nem mutattak kellően nagy nyúlást a tapadó felületeken, ezért csak statikus használatra (lezárásokban) vagy viszonylag kemény (>85 Shore A) alkatrészek esetében voltak felhasználhatók. A fejlesztések eredményeként kidolgozták a másodgenerá-

ciós megoldásokat, amelyek már a 65–70 Shore A tartományban is kielégítő határfelületi nyúlást produkáltak, ezek már félig dinamikus alkalmazásokban is felhasználhatók voltak. Ilyenek a karosszériatömítések és az ablakvezető-keretek saroktömítései. Az EPDM-hez tapadó TPE fejlesztésekor az jelenti a nehézséget, hogy az EPDM receptúrája és a térhálósítás módja (kénes vagy peroxidos), valamint a térhálósűrűség nagymértékben befolyásolja a tapadás nagyságát. Fontos emellett a szubsztrátum keménysége, modulusa és szakadási nyúlása, ami befolyásolja az erőeloszlást és a kapcsolat tartósságát. A következőkben egy 65 Shore A keménységű, kénnel térhálósított EPDM vizsgálatáról lesz szó (gyártója **Metzeler APS**), amelyet gyakran használnak szubsztrátumként ráfröccsöntött TPE ablaktömítésekhez.

A vizsgálat tárgya az volt, hogy különböző tapadó TPE receptúrákat hasonlítsanak össze a fentebb ismertetett kritériumok alapján. A tapadás szilárdságát úgy vizsgálták, hogy egy frissen vágott felületű EPDM darabot helyeztek a szerszámba és 230 °C-os ömledék-hőmérséklet és 70 °C-os szerszámhőmérséklet mellett ráfröccsöntötték a TPE-t. A homlokkötés szilárdságát kivágott próbatesteken vizsgálták úgy, hogy a határfelület merőlegesen volt terhelve (5. ábra).



5. ábra Tapadási próbatestek szakítóvizsgálathoz

A TPE-EPDM határfelület szakítóvizsgálata

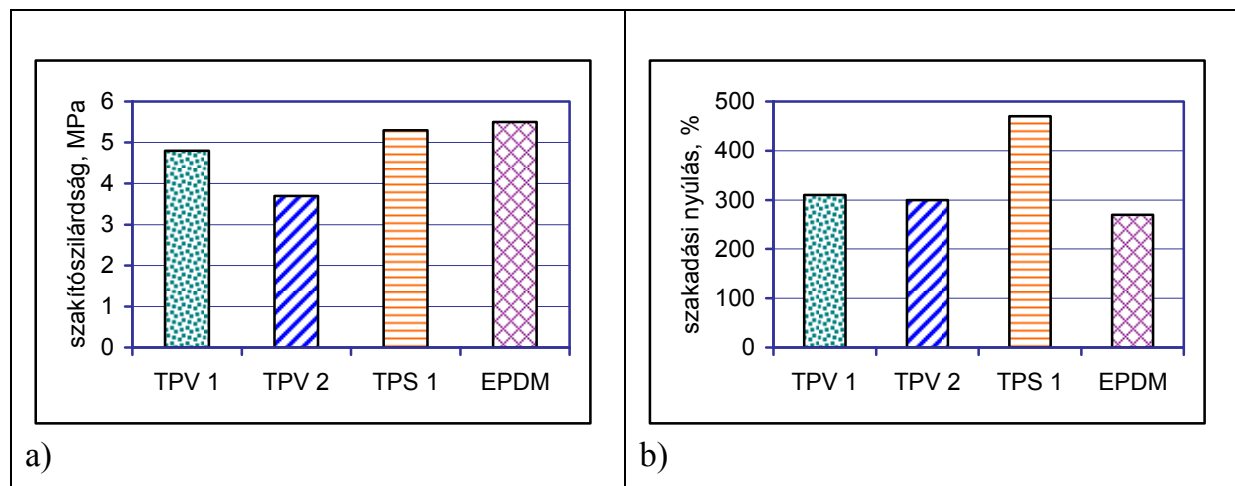
Az alkalmazás szempontjából a legfontosabb változó a szakítószilárdság és a szakadási nyúlás viszonya volt, ezért mindkettőt követték a különböző paraméterek

függvényében. A felhasznált anyagokat az 1. táblázat foglalja össze. A 6. ábrán látható, hogy a hibrid próbatetek szilárdsága minden esetben elérte az EPDM/EPDM kötéseket szilárdságát. A szakadási nyúlás értékei különösen a SEBS/PP esetében jóval meghaladták az EPDM/EPDM kötések nyúlását (6/b ábra). Abból indultak ki, hogy 300% szakadási nyúlás esetén már nincs probléma a beépítés során.

1. táblázat
A TPE-EPDM tapadási vizsgálatban felhasznált TPE típusok jellemzése

Jelölés	Összetétel	Keménység Shore A	Szakítószilárdság MPa	Szakadási nyúlás %
TPV-1	EPDM/PP	70	7,5	560
TPV-2	EPDM/PP	65	5,6	640
TPS-1	SEBS/PP*	68	8,7	850

* Márkanév: Allruna W 65 TS 309.



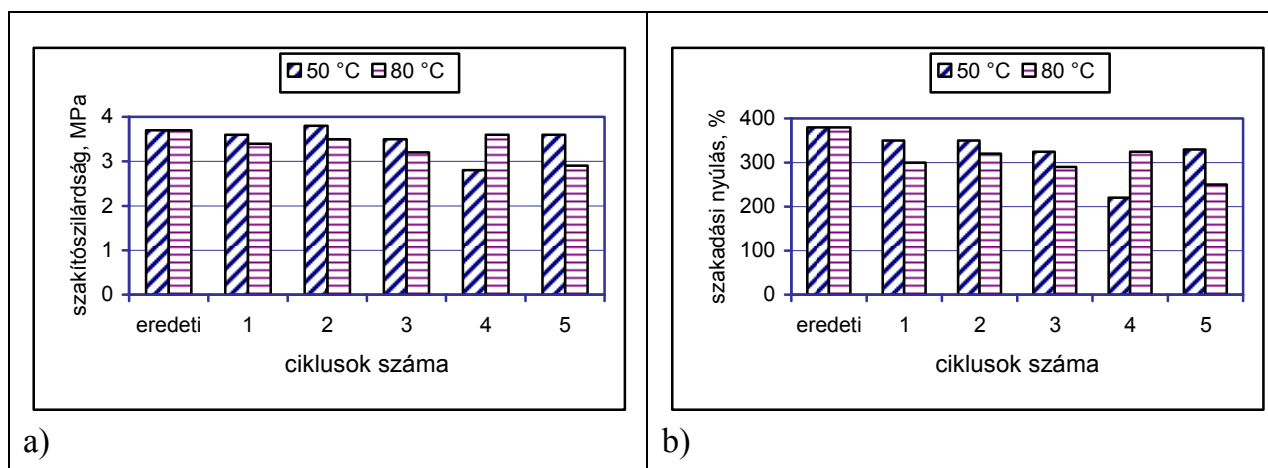
6. ábra Különböző TPE-EPDM hibrid anyagú próbatetek szakítószilárdsága (a) és szakadási nyúlása (b) szobahőmérsékleten. Összehasonlításként szerepel az EPDM/EPDM kötés értéke is (jobboldali oszlopok). Jelöléseket ld. az 1. táblázatban

Tekintettel arra, hogy a műanyagok (és kötések) tulajdonságai függenek a hőmérséklettől, a vizsgálatokat megismételték a szobahőmérsékletnél magasabb és alacsonyabb hőmérsékleten. A gépkocsi-ablaktömítésekben akár 80 °C-os hőmérséklet is felléphet, ezért ez volt a vizsgálati hőmérséklet felső határa, és választottak egy közbelső (50 °C-os) értéket is. Magasabb hőmérsékleten a TPE-EPDM kötések szilárdsága jobban csökken, mint az EPDM-EPDM páré, mert a hőre lágyuló komponensek szilárdsága jobban csökken a hőmérséklettel, mint a térhálósaké. A szakadási nyúlás

vonatkozásában a TPE-EPDM párok nem rosszabbak, sőt esetenként jobbak magas hőmérsékleten is, mint az EPDM-EPDM kötések. Mivel beépített állapotban a tömítéseket már nem éri nagy deformációval járó igénybevétel, feltételezhető, hogy a hibrid struktúrák a magasabb hőmérsékletű dinamikus igénybevételek során sem károsodnak. Alacsony hőmérsékleten (-30 °C) a komponensek modulusának növekedése miatt a szilárdság nő, miközben a szakadási nyúlás elfogadható marad.

Ciklikus terhelés és tárolás hatása az adhézióra

A fenti extrém vizsgálatok, ahol az erőhatás a tapadási felületre merőlegesen hat szélsőséges hőmérsékleti viszonyok között, olyan körülményeket szimulálnak, amelyek a valós életben ritkán következnek be. Nagy jelentősége van viszont a kisebb, de tartós vagy ismételt terhelések vizsgálatának. Az egyik ilyen vizsgálatban ötször egymás után 2 óráig ciklikusan termikusan terhelik a próbatestet 25% előfeszítés mellett (ami kb. megfelel a gyakorlatban előforduló átlagos terhelésnek), lehűtik, és ezután végzik el a szakítóvizsgálatot (7. ábra). A ciklikus terhelés hatására sem a szakítószilárdság, sem a szakadási nyúlás nem csökken szignifikáns mértékben: az eltérések a módszerre jellemző szórási értéken belül maradnak. A hosszabb idejű (336 órás) szobahőmérsékletű és a 144 órás 100 °C -os öregítés sem csökkentette lényeges mértékben a hibrid próbatestek tapadását, tehát a fejlesztés sikeresnek volt tekinthető.



7. ábra TPS1-EPDM hibrid próbatestek szakítószilárdsága és szakadási nyúlása ciklikus termikus igénybevétel után. A ciklus 50, ill. 80 °C -on 2 órás termikus terhelésből állt, 25%-ban előfeszített próbatesteken. A mechanikai vizsgálatok hőfoka: szobahőmérséklet

Összeállította: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Bos, M.; Fassbender, S.; Renz, R.: Akustische und optische Verfahren Hand in Hand = Kunststoffe, 98. k. 7. sz. 2008. p. 105–108.

Schmid, T.; Krüger, D.: Materialanforderungen an TPE-EPDM Hybridbauteile = GAK, 62. k. 6. sz. 2009. p. 356–358.