

Benedek István

Öntapadó ragasztók — tapasztalat vagy tudomány?

„S bár új utat tör, bizton célra ér, — Művéből
fog készíteni új szabályt... az absztrakció”

Madách Imre: Az ember tragédiája

Az öntapadós ragasztók sajátos, egyre növekvő helyet foglalnak el a ragasztás- és kötéstechikában. Kész ragasztóréteggként azonnali, de „örökre” tartó kötést hoznak létre, ami egyedülálló teljesítmény versenytársaik között. Tapasztalati továbbfejlesztésük a műanyagkémia és filmtechnológia alapján olyan új termékcsoporthoz vezetett, amely — bár klasszikus értelemben véve nem tekinthető ragasztónak — mégis öntapadó ragasztóként viselkedik. Ezért legújabb kutatásaink nyomán egységes szakterületként tárgyaljuk az öntapadó ragasztókat és termékeket. Tökéletesítésük folyamata napjainkban a tapasztalatból elméletileg megalapozott kutatássá válik.

Alig akad korunkban termék, amely gyártása vagy forgalmazása folyamán ne kerülne kapcsolatba az öntapadó ragasztókkal. Ha másként nem, az árcímke jóvoltából. Felületükkel Európát lehetne beborítani, évente több mint tíz százalékos a növekedésük — hangzanak a kereskedelem mennyiségi érvei. Seb-
tapasz és építkezési védőfólia, bőrre ragaszható elektróda, plasztikbomba vagy ún. szerkezeti ragasztó a repülőgépiparban — e néhány kulcsszó érzékeltetheti széles körű és sokoldalú felhasználásukat. Soraikban bonyolult, drága termékeket is találunk, oroszlánrészük azonban triviális áru: címke, ragasztószalag, védőfólia stb. Olyan csomagolástechnikai segédanyagok, amelyeknek létezését magától értetődőnek könyveljük el. Működésüket egyszerűnek hisszük. Előállításuk és fejlesztésük virágzó üzlet mamutcégek és törpék ezreinek. Önálló iparág „saját” alapanyagokkal és gyártási technológiák sokaságával, rendkívül gyors termékfejlesztéssel — és sötétben tapogatózó, éppen csak megindult alapkutatással, máig sem tisztázott alapfogalmakkal.

Miről beszélünk?

Ha jobban szemügyre vesszük, már a cím is hamis.

Mi az, hogy öntapadó?

Egyik munkámban¹ elemeztem a *terminus technicus* pontatlanságát. *Pressure-sensitive* — mondják az angolok, és arra gondolnak, ha ezekre a termékekre nyomást gyakorolunk, akkor ragadnak. — Mekkora nyomást? Mi tekinthető nyomásnak? — kérdezhetnénk.

Pontatlan a fenti megfogalmazás, mert számos „klasszikus” ragasztó igényel alkalmazáskor terhelést, és mert manapság automaták sokasága nem nyomja, csak fújja (leheletnyi nyomással) az öntapadós címkét a tárgyra. *Haftkleber* — mondják a németek, azaz tapadó ragasztó. Mintha létezne tapadás nélküli ragasztó is! Mi több, számtalan ragasztó nélküli termék (pl. műanyagfóliák, elektromosan feltöltött felületek stb.) tapad. *Autocollant* — hangzik a francia terméknev, s ezt veszi át fehér hollóként az általában németet utánzó magyar technikai szóhasználat. Szó szerint *önmagától ragadó*. Ebben a fordításban igazabb, pontosabb lenne, mint „irodalmasított” magyar változata, az *öntapadó*. Ami nem határozza meg a tapadás mechanikai körülményeit és azt, hogy a ragasztó önmagára (mint pl. az ún. *kontakragasztók*) vagy idegen felületre tapad.

Pontatlan írásom címe abban is, hogy ragasztókról beszél. Mint általában az iparág és a kutatás egésze. Mert meghatározó tulajdonságaik (kémiai kölcsönhatás nélkül ragadni és állandó folyékony állapot ellenére szilárd kötést biztosítani) eredetileg egy ragasztócsoporthoz jellemzői voltak.² Olyan anyagkeveréké, amely viszkózus és rugalmas tulajdonságokkal egyaránt rendelkezik. Elég folyékony ahhoz, hogy alkalmazáskor szoros kapcsolatba lépjen a kötendő felülettel és elég rugalmas ahhoz, hogy igénybevételkor ne hagyja magát letépni. Olyan ragasztóé, amely kész réteggént azonnali, de örökre viszkoelasztikus kötést biztosít, és ezáltal alapjában különbözik más kötésfajtáktól.

Itt ismét pontosítani kell állításomat.

Örökös a kötés?

Nem mindig. Csak az állandó (ún. *permanens*) öntapadó ragasztók esetében. Az ideiglenesen ragasztó, ún. *removable* ragasztók lehetővé kell, hogy tegyék a kötés felszakítását, méghozzá olyan „tisztán”, hogy a folyékony ragasztó teljes egészében elhagyja a ragasztott felületet. Bár már az ő öntapadó ragasztó (egy *Beiersdorf* által szabadalmaztatott ragtapasz) is eltávolítható volt, valójában leoldható ragasztók tudatos kifejlesztésével és széles körű elterjedésével születtek olyan termékek, amelyeknek nem akad versenytársa a klasszikus ragasztók között, és ...kerekedett igazi káosz ezen a szakterületen. Elméleti síkon. A kutatás alapjainak tisztázásánál és rendszerezésénél.

Hogyan és miért? — kérdezheti a kívülálló.

Termékrendszerek közös gazda nélkül?

Ismeretes, hogy a természetes kaucsuk ragad, öntapadó. Ragad, de nem eléggé. Valójában ragacsosítani (*tackifying, tackification*) kell. Kis molekulásúlyú

anyagok (gyanták, lágyítók stb.) belekeverésével elasztomerből viszkoelasztomerré kell alakítani. Így folyékony öntapadó ragasztó állítható elő.

Az is ismert, hogy bizonyos puha műanyagfóliák (pl. lágyított polivinilklorid vagy etilénvinilacetát³, etilén-alkén kopolimerek stb.) szintén viszkoelasztomerként viselkednek. Viszkoelaszticitásuk várható, „tervezett” tulajdonság, hiszen ha a makromolekuláris szerkezet (háló) „külső” fellazítása (a polimer lágyítása) a kaucsukragasztóhoz vagy lágy PVC fóliához vezet, ugyanaz a művelet ún. „belső” lágyítás (kopolimerizáció) révén nemcsak a polivinilklorid, hanem más (pl. az etilén, akrilát, dién stb.) kopolimerek esetében is viszkoelaszticitást és öntapadást kell, hogy biztosítson. Amíg az akrilátok vagy vinilacetát kopolimerek esetében a polaritás is szerepet játszik az öntapadásban, az egészen kis sűrűségű poliolefinéknél főként a molekuláris mozgékonyosság növelése az öntapadás oka. Tény, hogy a kopolimerizáció lehetővé teszi olyan szilárd polimerek előállítását, amelyekből öntapadó filmek állíthatók elő.

Amíg a klasszikus öntapadó ragasztók esetében a gyártási folyamat lényege a bevonástechnika, azaz a ragasztót egy nem ragadó folyamatos hordozóra (pl. papír, textil, fém, kerámia, műanyag stb.) viszik fel, a műanyagfóliák fejlődése révén megszülethetett a ragasztó nélküli öntapadó fólia. Olyan öntapadó termék, amit nem a ragasztóipar, hanem a műanyagfeldolgozó-ipar állít elő.

Itt újra tisztáznunk kell néhány fogalmat.

Mi az, hogy ragasztó nélküli?

A bevonástechnikus számára olyan termék, amelynek nincsen felvitt ragasztó rétege. Valójában az ilyen termék is ragadhat.

Hogyan?

Úgy, hogy a hordozóként használt polimert keverik ún. ragacsosító (*tackifier*, *klebrigmacher*) anyagokkal (pl. butilkaucsuk tömitőszalagok, polieténfóliák stb. esetében) és ekkor maga a (címkének, szalagnak, védőfelületnek stb. szánt) hordozó polimer (*carrier*) ragad; vagy oly módon, hogy a műanyagfóliát (ami közönséges körülmények között nem ragad) fizikailag kezelik⁴, és az alkalmazás körülményeit úgy választják meg, hogy ragadjon. Megszületik tehát a fából vaskarika, a ragasztó nélküli ragadó fólia, ami csak bizonyos körülmények között (pl. magas hőmérsékleten, nyomáson, hosszabb idő után stb.) ragad, és amit az angol terminológia *self-adhesive*-nek, öntapadónak nevez. A fejlesztés eredményeként termékcsoportok sorozata készül, amelyek mind alapanyagaikban, mind pedig gyártástechnológiájukban lényegesen különböznek, hiszen a műanyagfóliák lehetővé teszik, hogy műanyag-feldolgozó technológiával (értsd extrúzió) készüljenek az eddig többlépcsős bevonástechnikával előállított öntapadó termékek. A ragasztótechnika elválík, vagy ha úgy tetszik, ismét találkozik a műanyagtechnikával. A szakterület fejlesztéséhez és alkalmazásához olyan szakember kerestetik, aki mindkettőhöz ért. Míg eddig az öntapadó termékek csupán a klasszikus ragasztók egyik határterületét képezték, most magukban foglalják a műanyagkémia és technológia egyik határterületét is.

A helyzetet még bonyolítja egy újabb kategória, a hordozó nélküli öntapadó termékek (*carrierless pressure-sensitive products*) megjelenése. Amíg az előbbi esetben a ragasztó „tünt” el az öntapadó termékből, itt a kemény, szilárd hordozó felület szűnik meg.

Hogyan?

Úgy, hogy azt csak ideiglenesen használják, pl. az ún. átvihető (*transfer*) szalagoknál, vagy olyan módon, hogy a ragasztót erősítik meg, keményítik meg annyira (térhálósítás, töltés, habosítás stb. révén), hogy önmagában (szilárd hordozó felület nélkül) is alkalmazható legyen. A kutatás eredeti célja: szabható, adagolható „száraz” ragasztóidom vagy lágy, pl. emberi bőrre idomuló és tapadó film előállítására. A fejlesztés „melléktermékeként” kiderül, hogy az ilyen ragasztófilmek szilárdságtani tulajdonságai az ismert térhálósodó ragasztók (pl. epoxi gyanták) jellemzőivel vetekszenek. Ezzel megnyílik az út a „folyékony” szerkezeti ragasztók fejlesztése előtt. Ezek alapfeladatát (kötés, rögzítés) egyéb különleges funkciók (adagolás, kijelzés stb.) egészíthetik ki.

Az elmondottakból következik, hogy legalább két olyan alaptchnológia (bevonástechnika és polimerfilmgyártás) létezik, amely gyártási folyamatok sokaságával (pl. bevonás, nyomtatás, extrúzió, öntés stb.) gyárt öntapadó termékeket. Mindkét technológia lehetővé teszi az öntapadó termék egy- vagy többlépcsős (*in line/off line*) előállítását.

Ezzel valóban eljutottunk oda, hogy nemcsak a műanyag-feldolgozás, de maga a műanyaggyártás (polimerizáció) is az öntapadó termékek technológiájának része lett. Adott esetben egyszerre állítható elő a szilárd hordozó műanyagfilm és az ezen rögzített folyékony ragasztó réteg (pl. sugárzásos polimerizációval, amikor ugyanabból a monomer keverékből gyártható mindkét összetevő). Polimer (viszkoelasztomer és plasztomer) szintézis, ragasztógyártás, plasztomerfilm-gyártás, bevonástechnika, folyamatos rétegelt szerkezetek feldolgozásának technológiája, csomagolástechnika és ragasztástechnika — mind csak darabkái a mozaiknak, amely az öntapadó termékek szakterületét alkotja.

Ezek felépítése és alkalmazásmódja is rendkívül különböző lehet: egy vagy többretegű szerkezetek, szalag, fűszalag vagy darabáru: állandó kötést adó, újraelhelyezhető (*repositionable*) és leoldható termékek készülnek. Felhasználás-technológiájuk még változatosabb. Alkalmazható nyomás nélkül (pl. címkék, szalagok stb. esetében), de akár több száz fok fölött is (pl. forró hengerelt filmek).

Kezdetben fejlesztésük lényegében gyakorlati tapasztalaton alapult. Alapanyagaik a kaucsukfeldolgozó-, klasszikus ragasztó-, papír- és műanyagipar többnyire erre a célra „is használható” termékei voltak. Az egyösszetevőjű viszkoelasztomerek (olyan polimerek, amelyek ragacsosító nélkül is eléggé viszkózusak) kifejlesztése ugyan már a harmincas években megkezdődött, de az öntapadó termékek saját alapanyaggyártó ipara valójában csak azután jöhetett létre, miután (mennyiségileg) gazdaságilag kifizetődő lett (1980—90-es évek). Tudatos fejlesztésük, azaz az elméleti alapok kiépítése és az öntapadó termékek tudományának (*pressure-sensitive science*) körülhatárolása pedig még csak most kezdődött el. Ehhez azonban először meggyőző választ kellett adni a következő kérdésre:

Van-e közös tudományos alapja a szakterületnek?

Lehet-e mindent átfogó közös tudományos alapja egy felépítésében, alapanyagaiban, előállítás-technológiájában ennyire különböző termékcsoportnak?

Bár egy többszerzős munka⁵ már a nyolcvanas években tárgyalta az öntapadó ragasztók (csupán a ragasztók) bizonyos problémáit, az öntapadó termékek

közben óriásira duzzadt világát egészben és elméleti összefüggéseiben csak a kilencvenes évek végén sikerült elemezni, megkísérelve annak alapelveit összefogni^{1,2,6}. Mostanra kiderült, hogy helyesebb öntapadó termékekről beszélni, hiszen valójában szendvics szerkezeteket fejlesztünk és gyártunk. Olyan struktúrákat, amelyekben a vékony ragasztóréteg tulajdonságait döntően befolyásolja nemcsak a ragasztófelület, de a szilárd hordozó is (ennek felületi és szilárdságtani tulajdonságai). Ugyanaz a ragasztóréteg teljesen másként viselkedik különböző hordozókkal és geometriával.

Melyek tehát a principiumok, amelyek ennek a rendkívül változatos, heterogén szerkezetnek a hasonló működését lehetővé teszik? — vetődik fel a kérdés. Mi az, aminek jóvoltából folyékony ragasztó és szilárd műanyag egyaránt használható mint összetartó „alkatrész”? Mi az, ami miatt a térhálós elasztomer folyni kezd, annyira, hogy tapadjon, de csak annyira, hogy el ne szakadjon? Mi az, ami miatt pl. 230°C hőmérsékletű felületre hengerelt, *Corona* eljárással előkezelt polietilén fólia (plasztomer) ugyanúgy viselkedik, mint egy viszkoelasztomer (mint például az akriláragasztóval bevont védőfólia), azaz ragad, méghozzá leoldhatóan. Mi a közös szerkezetükben és működésükben?

További, látszólag független kérdések sorát lehetne feltenni ahhoz, hogy megmagyarázzuk egy új szakterület gyakorlati problémát. A válasz egyetlen mondatba sűrítendő: *A közös alap a makromolekuláris kémia*. Pontosabban a polimer-szerkezetten és folyástan (reológia). A látszólag teljesen különböző (önhordó filmként vagy folyékony, szilárd hordozóra felvitt) polimerek, amelyek öntapadó ragasztóként viselkednek: olyan nagymolekulájú anyagok, amelyek szerkezete bizonyos fokú rendezettséggel bír. A makromolekula összetételéből fakadó kémiai vagy fizikai térhálósodás (lásd: természetes kaucsuk vagy a termoplastikus elasztomerek) szilárdságtanilag ellenálló szerkezetet hoz létre. Ez feltétele annak, hogy alkalmazása után a „ragasztó” ellenálljon a szakítási, lefejtési igénybevételnek. Ugyanakkor az öntapadó ragasztóként felhasználható nagymolekulájú anyagok szerkezete bizonyos fokig fellazítható kell, hogy legyen, rendezettségének már viszonylag alacsony hőmérsékleten (üvegesedési hőmérséklet) el kell tűnnie ahhoz, hogy a polimer a szilárd-törékeny állapotból szilárd-elasztikus, illetve viszkoelasztikus állapotba kerüljön. A rugalmas állapot elengedhetetlen feltétele a kötés kiváló szakítási ellenállásának. A folyékony, viszkózus állapot ahhoz szükséges, hogy megfelelő kapcsolat létesüljön a ragasztó és a ragasztandó felület között.

Kezdetben az öntapadó ragasztók kötési mechanizmusát klasszikus példával, a két üveglap közé helyezett vékony vízréteg ellenállásához hasonlították. Mint minden példa, ez is sánta. Igaz, akár a víz, az öntapadó ragasztó is tökéletesen kell tapadjon szilárd határfelületeihez, azért, hogy ne engedje azokat egymástól elválasztani. Ez azonban csak az érem egyik oldala. Mint említettük, az öntapadó ragasztó alapanyagának (eltérően a víztől) rugalmasnak kell lennie. Elaszticitása biztosítja a kötés mechanikai szilárdságát. Ez a rugalmas struktúra csak bizonyos fokig helyettesíthető szilárd plasztomer vagy duromer szerkezettel. A plasztomerek többsége hidegen folyik (ami ugyan a szilárdságtani tulajdonságok rovására megy, de közönséges hőmérsékleten kölcsönös tapadás kialakításához nem elegendő); a duromerek nem folynak (ami a határfelületekkel való kapcsolat létrejöttét akadályozza). A túlzott rugalmasság maga is gátolja ez utóbbit, mi több, útjában áll a késztermék további feldolgozásának (pl. vágás). Az öntapadó ragasztók

működésének lényege tehát egy rendkívül pontosan szabályozható egyensúly létrehozása rugalmasság és maradandó alakváltozás, rendezett makromolekuláris szerkezet és „hidegfolyás” között. A ragasztónak — amely hig folyadékként gyorsan benedvesíti a ragasztandó felületet, amikor azzal kapcsolatba kerül — acélrugóként kell viselkednie abban a pillanatban, amikor innen el akarjuk távolítani.

Hogy lehetséges ez? — kérdezhetnénk.

Úgy, hogy a nagymolekulájú, rugalmas anyagokat keverjük kismolekulájú, folyadékként viselkedő komponensekkel, az elasztikus struktúrát fellazítjuk. Vagy éppen fordítva, a túlságosan viszkózus polimert térhálósítjuk. Egy anyagkeverék összetevőinek megválasztásával, az összetétel mennyiségi szabályozásával, az összetevők adagolási sorrendjének szabályozásával stb. megfelelően fellazított, vagy rendezett polimer struktúrát alakítunk ki, amely késztermékként (folyékony ragasztóként vagy szilárd polimer filmként) öntapadó, mi több, klasszikus technológiákkal (folyadékként vagy műanyag filmként) feldolgozható. A gyakorlatban ezt a tudományt a formuláció⁵ szó fedi. A formuláció a ragadást javító vagy csökkentő összetevők kiválasztásának és adagolásának tudománya. Nemcsak az. Magában foglalja a feldolgozhatósághoz, technológiai alkalmassághoz szükséges összetevők kiválasztásának és adagolásának tudományát is.

A formuláció sokáig empiria volt. Elméletileg követhető tudomány csupán azóta vált belőle, amióta a dinamikus mechanikai analízis az anyagok erőátviteli tulajdonságait mérhetővé tette, méghozzá a frekvencia függvényében. Az öntapadás lényege ugyanis, hogy a folyás és nemfolyás (erő hatására adott rugalmas válasz) közötti egyensúlynak a frekvencia (tehát idő és hőmérséklet) függvényének kell lennie. Kis túlzással: lassú és gyenge erőknek is folyást kell okozniuk, de gyors, erős igénybevételnek sem szabad feltépnie a kötést. Valójában tehát az az anyagkeverék, amely az öntapadáshoz megfelelő egyensúlyt biztosít az elasztikus és viszkózus tulajdonságok között, az egyensúlyt idő és hőmérséklet függvényében kell létrehozni. Ideális esetben a megfelelő öntapadó termék tervezésekor alkalmazásának sok száz határhelyzetét kell ismernünk (amikor más-más hőmérsékleten, pl. fagyasztott árura vagy forró fémlemezzel ragasztunk, illetve gyorsabb vagy lassúbb tépőerővel, például kézzel vagy géppel szakítjuk el az öntapadó kötést).

A formuláció tehát a polimerek felépítésének és keverésének tudománya. Alapvetően függ a nagymolekulájú anyagok és egyéb ragasztókomponensek kölcsönös összeférhetőségétől (Flory—Huggins-elmélet), valamint az összetevők oldhatósági paramétereitől (Hildebrandt-, Hansen-egyenletek). Ezért az elvárt öntapadás teljesen különböző receptúrák eredménye lehet. Például, amíg a klasszikus öntapadó kompozíciók kompatibilitást kérnek, egyes plasztomer alapú szerkezetek éppen az összeférhetetlenség (a viszkózus komponens „kitasztása” által) lesznek működőképeseek.

Valójában a formuláció csak része az öntapadó termékek fejlesztésének, mivel csupán az összetevők tervezésével és előállításával foglalkozik. Ezeket azonban polimerekből álló szerkezetűvé kell összeépíteni, és ebben a szerkezetben makromolekuláris komponensek mindegyikének reológiai jellemzői a függő változók (méghozzá másként függnek az időtől és hőmérséklettől). A végeredmény, a késztermék viszkoelaszticitásának mérlege (amint azt számos munkánkban kimutattuk) alapvetően függ a szilárd és folyékony összetevők, a hordozó és ragasztó összeépítésének módjától, az öntapadó szerkezet geometriájától. Alap-

jában véve a szilárd hordozók továbbítják és (összetételüktől, szerkezetüktől stb. függően) csillapítják a szerkezetre ható erőket. Amíg az összetevők reológiai tulajdonságai már tudományosan jellemezhetők, a különböző polimerekből alkotott öntapadó szendvics reológiai jellemzése helyett annak alkalmazhatóságát ma még az ipari gyakorlatból átvett mérés technika hivatott eldönteni.

Hogyan tovább?

Az utóbbi évtizedben az öntapadó termékek hihetetlen gyorsasággal fejlődtek. Bonyolult szerkezetű, több rendeltetésű (például hőmérséklet-, elektromosság-, pH-, kép- stb. kijelzés, adagolás), különleges tulajdonságú, hamisításbiztos, eltávolításbiztos, több rétegben leválasztható (például kártyával, úrlappal összekötött), hátlapos és hátlap nélküli, vízben oldható és oldhatatlan, villámzárthatós, küszöbérzékeny, elektromosan vezető/szigetelő, lézerrel nyomtatható/vágható, mélyhúzható, korrózióvédő, kapcsolórendszerbe építhető és kapcsolórendszerként működő, helyben készíthető stb. öntapadó termékek jelentek meg. Közülük néhány (pl. címke, szalag) és a többrétegű termékek (*forms*) akkora gazdasági jelentőségre tettek szert, hogy külön folyóirat foglalkozik szakterületük fejlődésével.

A közös tudományos háttér még korántsem dicsekedhet hasonló eredményekkel. Szaklap (amely csak az öntapadó ragasztók tudományával foglalkozna) még nincsen, és számos európai országban ez a tudományág egyelőre nem egyetemi tantárgy. Ennek ellenére hiszem, hogy Madách gondolatát érdemes megszívlelni. Érdemes bizni. Ez év tavaszán magam is ott lehettem az alakuló ülésen (Panama Cityben, Florida), ahol az *Adhesion Society*-ből új fióktársaságként (végre) kivált az Öntapadó Ragasztók Társasága. Bizonyoságként arra, hogy ez a szakterület mind gazdaságilag, mind tudományos szempontból nagykorú lett.

IRODALOM:

- 1 *Benedek, I.*: Development and Manufacture of Pressure-Sensitive Products. Marcel Dekker. New York. 1998.
- 2 *Benedek, I. — Heymans, L. J.*: Pressure-Sensitive Adhesives Technology. Marcel Dekker. New York. 1997.
- 3 *Benedek, I.* (Ebert Folien AG. Wiesbaden), Deutsches Gebrauchsmuster: G 9113755.1
- 4 *Benedek et al.* (Polifilm Verwaltungs-GmbH, Wipperfurth) DE 4433626A1/25.04.1994.
- 5 *Satas, D.* (ed). Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology. Van Nostrand-Reinhold Co., New York. 1982. 1988.
- 6 *Benedek, I.*: Pressure-Sensitive Formulation. VSP Scientific Publishers, Utrecht. 1999.