

Műanyagok kisenergiájú elektronkezelése

Zsigmond Balázs*

Napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak a polimer mátrixú kompozit szerkezetű anyagok. Fontos, hogy ezekből az anyagokból készült termékek megbízhatóak legyenek, szilárdságuk a legmagasabb követelményeknek is maradéktalanul eleget tegyenek. A kompozit tulajdonságát jelentősen befolyásolja a szál-mátrix határfelületi kapcsolat. E kapcsolat erősségének fokozására a legelterjedtebb módszer a különböző adalékanyagok használata. Az utóbbi időkben egyre nagyobb teret hódít a szál-mátrix határfelületi adhézió javítása kisenergiájú elektronkezeléssel. A cikk célja ezen újfajta felületkezelési módszer áttekintése, az irodalmi adatok összefoglalása.

Elektronkezelés a polimertechnikában

A sugárkémia technikai alapjai

Előljáróban felidézzünk néhány sugárfizika alapt fogalmat:

A sugárzás energiájának mértékegysége az elektronvolt (eV). 1 eV kinetikai energiára tesz szert az elektron vákuumban 1V feszültségkülönbség hatására. Ez igen kis mennyiség, $1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19}\text{J}$.

Az intenzitás a sugárzási tér erőssége egy adott pontban a sugárzásra jellemző részecske/s vagy foton/s egységben mérve.

Az elnyelt sugárdózis az anyag egységnyi tömegében elnyelt ionizáló sugárzás energiája. Mértékegysége a gray (gréj); $1\text{Gy} = 1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, mely $6,24 \times 10^{15}\text{eV/g}$ energia elnyelődésének felel meg a vizsgált közegben [5, 13, 14].

Az elnyelt dózisintenzitás (dózisjeljesítmény) az időegység alatt elnyelt sugárdózis. Mértékegysége: $\text{Gy/s} = \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.

Az elektronsugárzás jellemezhető a besugárzás irányára merőleges elnyelődési anyagvastagsággal. Meghatározására több empirikus képlet áll a rendelkezésünkre. A gyakorlatban a leginkább az alábbi képleteket használják:

$$r_u = \frac{E_0^2}{3d}, \text{ ha } E_0 \leq 1\text{ MeV};$$

$$r_u = \frac{E_0}{3d}, \text{ ha } E_0 \geq 1\text{ MeV};$$

ahol r_u a hasznos anyagvastagság (useful range, cm), E_0 az elektronsugárzás energiája (MeV) és d a besugárzott anyag sűrűsége ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) [5, 6].

A maximális elnyelődési anyagvastagságot gyorsított elektronokra az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. Maximális elnyelődési anyagvastagság [6]

Elektron energiája (MeV)	Maximális elnyelődési vastagság			
	levegőben (20°C, 1 atm) (m)	vízben (mm)	alumíniumban (mm)	ólomban (mm)
30	109	132	53,8	10,2
10	43,1	49,8	21,7	5,42
1	4,08	4,37	2,05	0,69
0,1	0,13	0,14	0,069	0,027
0,01	0,0024	0,025	0,0013	0,00073

A sugárzás fajtái

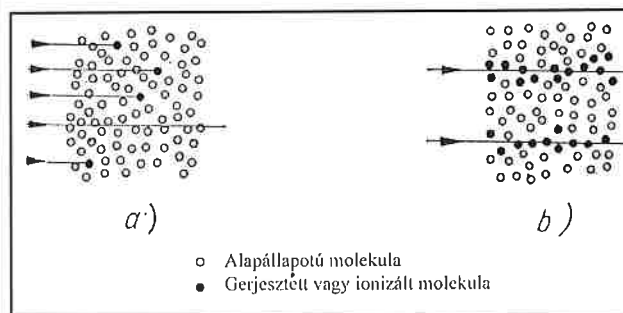
A nagy energiájú sugárzás gyűjtőnév természetükre és eredetükre nézve különböző sugárzásokat foglal össze. Ide sorolják:

- a villamos töltés nélküli, nagy energiájú elektromágneses sugárzást, vagyis gamma- és röntgensugárzást;

- a negatív töltésű elektronokból álló béta-sugárzást és a gyorsított elektronokat (ezzel a sugárzással dolgozunk mi is, ezért erre részletesebben kitérünk); továbbá

- az ionsugarakat, a neutronsugarakat és egyéb nagy energiájú sugárzástfajtákat.

Mind ezek a sugárzások elnyelődnek az anyagban és változásokat hoznak létre benne. A nagy energiájú sugárzás nemcsak gerjeszt, hanem egyes elektronokat teljesen ki is szakít az atom kötelékéből: ionokat és szabad elektronokat hoz létre. További fontos sajátossága, hogy a kémiai hatásban aktív ionok, gerjesztett molekulák és gyökök nem statisztikusan, nem egyenletesen elosztva keletkeznek a reakció-térfogatban, illetve a beeső sugárzás irányára merőleges elnyelődési vastagságú (r_u) térfogatelemekben, hanem a nagy energiájú részecske pályája mentén koncentrálnak jelennek meg (1. ábra). E helyi koncentráció mértéke is kihat a besugárzott termékek minőségére.



1. ábra. Az ibolyántúli fény fotonjainak (a) és a töltött elemi részecskének (b) hatása az anyagra [15]

Valamennyi jelentősebb kutatási vagy ipari célra szolgáló sugárforrás elektromágneses vagy elektronsugárzást termel, mégpedig néhány ezer és néhány millió elektronvolt energiahatárok között.

Elektronsugárzás

A polimer gyártása és feldolgozása során főleg elektronsugárzással dolgoznak. Ennek forrása lehet béta-sugárzó radioaktív izotóp (az esetek többségében ^{90}Sr) vagy elektrongyorsító gép. A kétféle eredetű elektronsugárzás között a gyakorlatban fontos különbségek vannak:

A gyorsított elektronok az elektronnalábon belül közel azonos energiájúak, a béta-sugárzás energia-spektruma viszont egy igen kis és egy maximális érték között folytonos.

Míg a gyorsítókkal sok MeV energiájú elektronsugárzás is előállítható, addig a besugárzási célra alkalmazható béta-sugárzó izotópok maximális energiája 1 MeV-nél kisebb. A leggyakrabban használt ^{90}Sr izotópé 0,55 MeV, de a bomlásterméke, az ^{90}Y is szolgáltat 2,2 MeV maximális energiájú elektronokat. A béta-sugárzó izotópok szélesebb körű felhasználását e mellett elsősorban az korlátozza, hogy egyrészt technikailag nem könnyű olyan nagy aktivitású, zárt béta-forrásokot készíteni, amelyekben csekély a forrásanyag okozta önabszorpció, másrészt a zárt sugárforrás sérülése esetén a környezet elszennyeződhet. Ez az ott-dolgozók egészségét is veszélyeztetheti, mert például a ^{90}Sr -et az emberi szervezet felveszi, és amennyiben nem teljesen oldhatatlan só alakjában alkalmazzák, kalcium helyett a csontokba beépíti, és mivel a felezési ideje viszonylag nagy (25 év), nyilvánvaló, hogy rendkívül veszélyes [6, 13, 14].

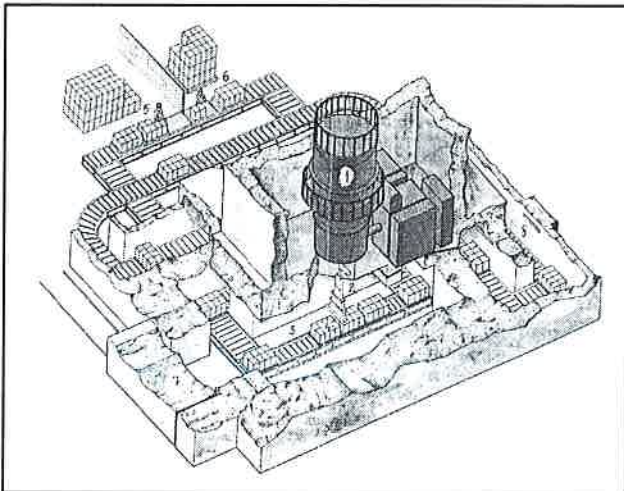
Elektrongyorsító gépek

Az elektronokat vákuumban, nagyfeszültségű térben gyorsítják (a röntgenkészülékek, elektroncsövek, televízió-képcsövek stb. működése is elektrongyorsításon alapul). A gyakorlatban csak az olyan készüléke-

* V. évf. hallgató, BME, Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék

ket nevezünk elektrongyorsítónak, amelyből az elektronsugár a szabad levegőre, illetve ritkább esetben közvetlenül a céltárgyba ki is léptethető. Erre a célra egy sugárkilépő ablak szolgál, amely rendszerint 40–60 µm vastag alumínium-, duralumínium-, vagy titánfólia (a Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszéken 12,5 µm vastag titánfóliát használunk, mivel az alumínium-fóliánál tartósabb, és jóval több elektron lép ki rajta már kis energiájú sugárzás esetén is). Az elektronnalábnak legalább is olyan energiával kell rendelkeznie, hogy képes legyen a kilépőablakon számottevő energiával áthatolni (pl., a 60 µm-es alumínium sugárkilépő ablak 1 MeV energia felett csak mintegy 25 keV energiaveszteséget okoz, míg 0,2 MeV elektronenergiából a veszteség már 40 keV, a 100 keV-os energiájú elektronok pedig úgyszólván teljesen elnyelődnek az ablakban). Ezért az elektrongyorsítók feszültségét a gyakorlatban legalább 400–500 kV-ra, többnyire azonban több mint 1 MV-ra szokás választani (a kezelendő vastagság függvényében).

A kibocsátott energia szerint megkülönböztetünk nagy-, közepes- és kisenergiájú elektrongyorsító gépeket. A nagyenergiájú elektrongyorsító több mint 1–3 MeV, a közepes 0,5–1 MeV, míg a kicsi 150–500 keV energiájú elektronok kibocsátására képes. A nagy falvastagságú termékek (a mm-es nagyságrendtől a 3–5 cm-ig, ez kompozit termékek esetén már jelentős falvastagság) elektronkezeléséhez a nagyenergiájú berendezések használata jelentős előny, mivel egy lépésben térhálósítható



2. ábra. Cockcroft-Walton 10 MeV-os elektronbesugárzó berendezés Japánban [6]

2. táblázat. Elektronkezelő berendezések felhasználása Európában [6]

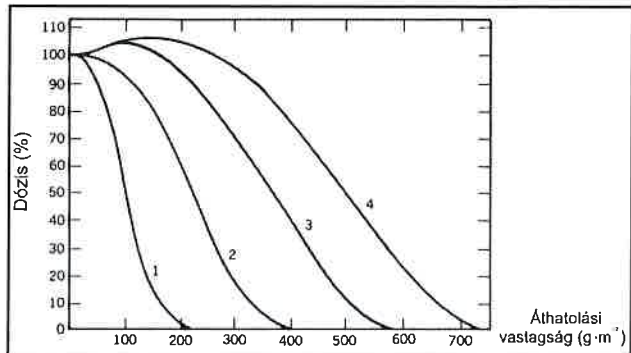
Termék	Alkalmazás
Szénszálás kompozit	Műszaki alkalmazás főleg a haditechnikában, műholdgyártásban
Fémbevonatok	Acéllemez bevonása háztartási cikkekhez, belső panelekhoz; dekoratív bevonatok az autópár számára
Fémezett papír	Alapréteg, védőbevonat készítése; címkék, cigarettacsomagoló anyagok; képeslapok
Könyvnyomás	Tinta- és festékek kezelése; védőréteggépzés; műanyag papírok
Papírbevonás	Könnyen tisztítható papírok gyors nyomáshoz
Nyomásérzékeny réteg	Autópár számára; lehúzható matricák
Szilikon-elválasztó réteggelés	Papír- és műanyag filmek bevonatai
Fa-kötőanyag elemek	Bevonatok külső és belső használatra
Fa elemek	Laminált- és védőbevonatok szekrényekhez, ajtókhöz
Röntgenérzékeny filmek	Tisztításvédő bevonat PET-ből röntgen-filmekhez

a termékek teljes keresztmetszete; viszont olyannyira drágák, hogy csak párat használnak a világon erre a célra (külön épület kell neki, általában a föld alatt, l. 2. ábra). A 2. táblázat, a teljesség igénye nélkül, felsorolja, hogy Európában az 1990-es évek közepéig kik, mire használtak elektrongyorsító berendezéseket a műanyagiparban [1, 6, 8, 9, 13, 14, 15].

Legnagyobb jelentősége, a bevonatkészítés és a felületkezelés területén, a kisenergiájú elektrongyorsító berendezésnek van. A 3. táblázat néhány kisenergiájú gép jellemzőit és gyártóit tartalmazza. Néhány, a kisenergiájú berendezésekre jellemző, vastagság-dózis görbét a 3. ábra szemléltet.

3. táblázat. A világ vezető elektronkezelőgép-gyártói [6]

Típus	Energia (MeV)	Teljesítmény (kW)	Pásztázási szélesség (m)
Irelec (francia)	0,2 0,3	20 22,5	0,3÷1,8 0,3÷1,8
Polymer Physik (német)	0,15÷0,28	≤56	0,22÷2,5
Nissin High-Voltage (japán)	0,3 0,3 0,3	7,5 19,5 30	0,45 1,2 1,8
Avrora-2 (orosz)	0,3÷0,5	25	0,5÷2,0
EOL-400	0,4	14	≤2,0
Electrocurtain (USA)	0,15÷0,3	≤100	0,5÷2,0
BroadBeam (USA)	0,15÷0,3	≤360	0,3÷2,5

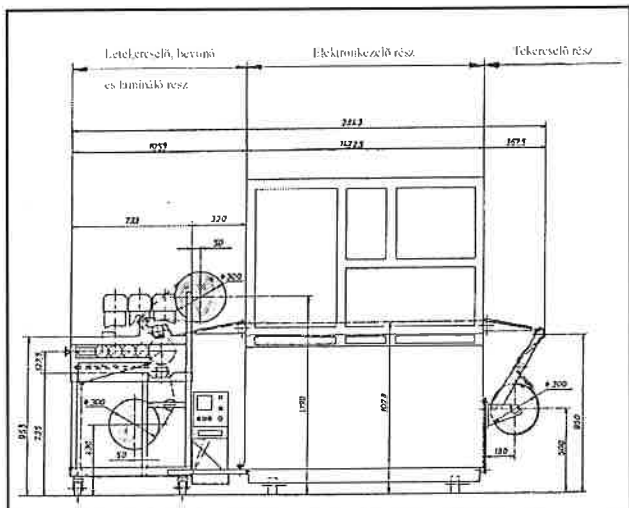


3. ábra. Az elnyelt dózis változása az áthatolási vastagság és az elektron energiájának függvényében: (1) 0,15; (2) 0,2; (3) 0,25; (4) 0,3 MeV [6]

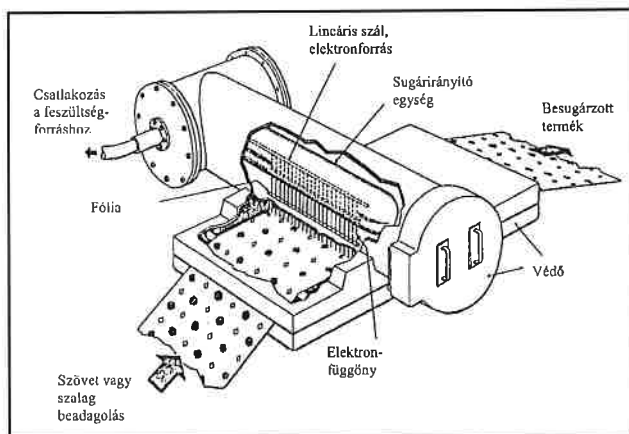
A Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszéknek az Energy Science Incorporation (ESI) által gyártott 175 keV-os Electrocurtain berendezés, és a hozzátartozó kiszolgáló berendezések állnak a rendelkezésére (4. ábra). Az elektronkezelő berendezés két fő részből áll: a feszültségforrásból, amely lényegében egy SF₆ gázzal töltött transzformátor, és az elektronfüggőnyt szolgáltató, henger alakú feltétből. Az „elektronfüggöny” az 5. ábra szemlélteti. A gép főbb paramétereit a 4. táblázat adja meg [8, 9, 15].

Két fontos paraméter határozza meg az elektronkezelés hatékonyságát, termelékenységét: a felhasznált feszültség és a sugáráram. E két paraméterrel lehet beállítani a kívánt intenzitást. A termelékenységet, és az elnyelt sugárdózist az előbbi két paraméteren kívül még a szállítószalag sebessége befolyásolja. Nyilvánvaló, hogy lassabb sebesség esetén kisebb intenzitású sugárzás is elegendőbb lesz, mivel több ideig lesz a fegyverzet alatt az anyag. Nagyobb sebességhez pedig nagyobb intenzitású sugárzás szükséges; azaz ugyanahhoz az áramerősséghez több dózis is tartozhat az áthaladási sebesség függvényében. Az összefüggést a 6. ábra szemlélteti.

A gép kiszolgáló berendezése – Polytype SA (Fribourg) cég által gyártott – Lab-coater gépi szalagimpregnáló berendezés, valamint ugyanezen cég által gyártott szalagelhúzó, tekercselő készülék. Az elrendezést a 4. ábra mutatja. Maga az impregnálás, laminálás végezhető az elektronkezelés előtti vagy utáni helyzetben, illetve pályahelyzetben [9].



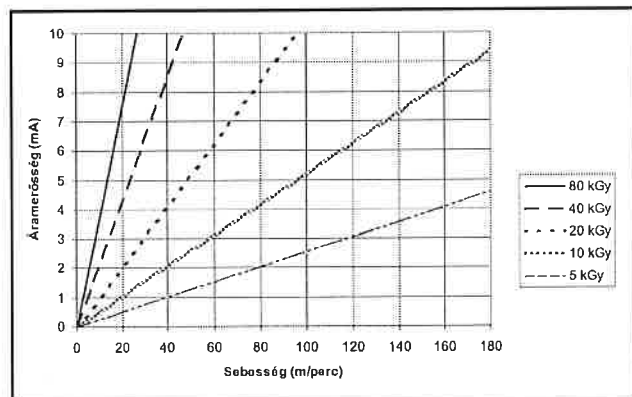
4. ábra. Az Electrocurtain (elektronkezelő) berendezés és a hozzá tartozó segédberendezések (lamináló, feltekercselő) elrendezése [15]



5. ábra. Az Electrocurtain gép működési vázlatja [15]

4. táblázat. Az Electrocurtain gép főbb paramétereit [15]

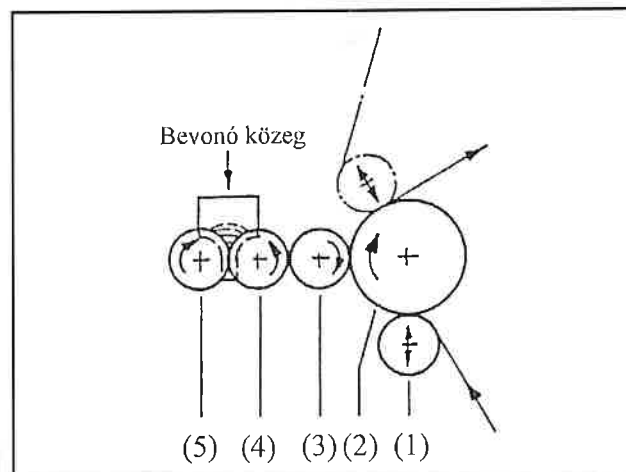
Használható feszültség/sugáráram	150÷175 kV/0÷10 mA
Besugározható maximális szélesség	150 mm
Besugározható vastagság (150 kV esetén)	75 μm
Besugározható vastagság (175 kV esetén)	125 μm
A szállítószalag sebessége	0,005÷1 m·s ⁻¹



6. ábra. Az intenzitás és a szállítószalag sebessége közti összefüggés [15]

Az impregnáló berendezéshez, a bevonó anyag viszkozitásától és a réteg vastagságától függően, a gyártó különböző elrendezési megoldá-

sokat ajánl. Céljainknak a vastag, kitűnő felületi minőségű rétegekhez ajánlott elrendezés (7. ábra) lesz a legmegfelelőbb, mivel ezzel a gyanút nemcsak a felületre, hanem kellőképpen a tow-preg szálai közé is be tudjuk jutatni, így a tow-preg teljes keresztmetszetében tudunk majd térhálós kötéseket létrehozni [15].



7. ábra. Hengerelrendezés (három nedves henger) a vastag, kitűnő felületi minőségű réteg előállításához [15], 1: szorító henger, 2: nyomó-szállító gumihenger, felette a lamináló henger, 3: bevonó acélhenger, 4: adagoló gumihenger, 5: adagoló acélhenger

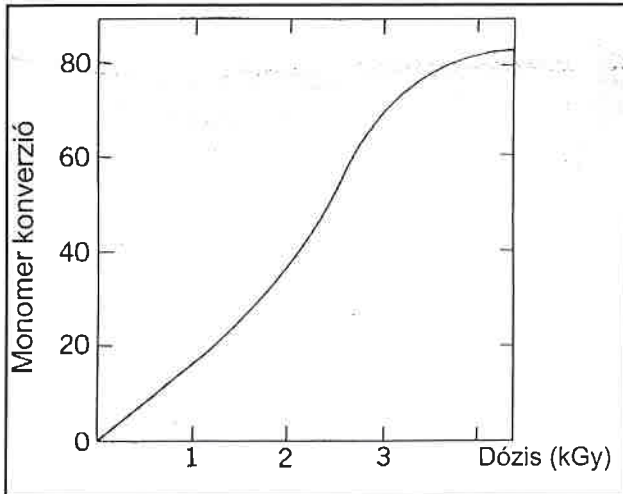
A kisenergiájú elektronkezelés alkalmazásai

A sugárkezelte polimerekben a legfontosabb reakciók a térhálósodás (dimerizáció), a lánchasadás, a kis molekulájú gáz alakú termékek keletkezése és a telítetlenség eltűnése, illetve keletkezése. E reakciók közül a legnagyobb jelentősége a térhálósodásnak és a lánchasadásnak van. A polimer molekulák nagy mérete következtében ugyanis már kisszámú reakció (kis dózis) is nagy hatást gyakorol a fizikai tulajdonságokra: térhálósodás esetén a molekulásúly nő, és végeredményben oldhatatlan és megolvashatatlan, egyetlen órásmolekulát alkotó terméket kapunk, míg a lánchasadás következménye a molekulásúly csökkenése [1, 2, 3, 6, 10, 12, 14, 16].

Polimerizáció

A szintetikus polimergyártás leghatékonyabb, és ennél fogva legnagyobb ipari jelentőségű technológiája a polimerizációs láncreakció. A polimerizáció nagy molekulásúlyú anyag létrehozása kis molekulásúlyú (monomer) anyagból láncreakcióban, melléktermék keletkezése nélkül. A monomerek tartalmazhatnak többes kötéseket (pl., $-C=C-$; $>C=C<$, $>C=O$, $-C=N$) vagy ciklikus csoportokat, amelyek gyűrűje felhasad a reakció közben. A polimerizáció jellemzésére a polimerizációs fokot szokás használni.

Mint általában a láncreakciók, az iniciálás, a láncnövekedés és a láncczárás elemi lépéseiből áll. Ezek közül a sugárzás csak az első lépést, az iniciálást befolyásolja. A további reakciókra, a láncnövekedési lépésekre, vagyis a monomermolekulák addíciójának egymást követő sorára és a láncczárásra már nincs hatással – kivéve, annyiban, amennyiben lehetővé teszi, hogy az iniciálási reakció és ezzel az egész polimerizációs folyamat különleges körülmények között, pl. kis hőmérsékleten, játszódjék le. Nagy jelentősége van annak, hogy a sugárzásos inicializálás független a hőmérséklettől. Ez azért fontos, mert a hagyományos iniciálás (kémiai iniciátorokkal vagy iniciátortmentesen, termikusan) igen nagy energiaigényű, azaz a polimerizáció hőmérsékletét nem választhatjuk meg a polimerláncok kialakulásának hőmérsékleti optima szerint, hanem azt az iniciálási reakció szükségletei határozzák meg. A polimerizáció előrehaladásának, konverziójának trendjét az elnyelt dózis függvényében a 8. ábrán lehet nyomon követni [6, 13, 14].



8. ábra. A polimerizációs fok és az elnyelt dózis közti összefüggés [6]

A polimerizáció folyamán felszabaduló jelentős hőmennyiség következtében megnő a hőmérséklet. Ez a nagy aktiválási energia következtében erősen meggyorsítja az iniciátor bomlását, ami további melegedéshez és végül a polimerizáció robbanásszerű felgyorsulásához, a polimer „besüléséhez” vezethet. A sugárzásos polimerizáció bruttó aktiválási energiája ezzel szemben kis érték, a hőmérséklet növelése sem a polimerizáció sebességét, sem a polimer tulajdonságait (pl. molekulaszúlyát) nem befolyásolja lényegesen.

A sugárzásos polimerizációnak gyakorlati jelentősége van a blokk-, a gyökös kopolimerizációnál, a tömb-, az oldószeres, az emulziós, a szuszpenziós, az ionos, az ojtásos polimerizációknál [6, 10].

Térhálósodás, lánchasadás

A térhálósodás és a lánchasadás rendszerint egymás mellett játszódik le, azonban a két reakció közül az egyik döntően érvényesül. Amennyiben a fő láncok hasadásainak száma nagyobb, mint a térhálós kötések keletkezése, a polimer végeredményben degradálódik, ellenkező esetben pedig térhálósodik, ebből következik, anyagfüggő tulajdonság, hogy melyik polimer térhálósodik, és melyik degradálódik besugárzás hatására (5. táblázat).

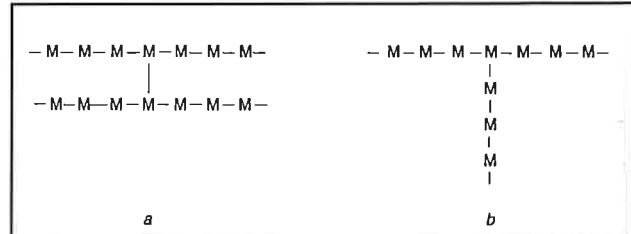
A térhálósodás és a degradáció nem egyensúlyi sugárkémiai eljárás, megváltoztatja a polimer szerkezetét, ennél fogva a fizikai tulajdonságait. A polimerek sugár okozta degradációjára egyszerű közelítő szabály vonatkozik: azok a polimerek inkább degradálódnak, amelyek fő láncában monomeregységként legalább egy kvaterner (tetraszubsztituált) szénatomot találunk [6, 13, 14, 19].

5. táblázat.

Polimerek elektronbesugárzásra adott válasza [6, 13, 17]

Polimer	Jellemző változás	Polimer	Jellemző változás
PE	Térhálósodik	PVDC	Degradálódik
PP	Térhálósodik	PTFE	Degradálódik
PAN	Térhálósodik	PMA	Degradálódik
PVC	Térhálósodik	PMMA	Degradálódik
PVAL	Degradálódik	PET	Térhálósodik
PVAC	Térhálósodik	NR	Térhálósodik
PS	Térhálósodik	PA	Térhálósodik
PIB	Degradálódik	CA	Degradálódik

Két típusát különböztetjük meg a sugárzás által létrehozott térhálóknak: a H-típusú térhálós kötést, valamint az Y-típusú láncvégi kötést. H-típusú térhálósodásnál minden kötés (amit tetrafunkcionális kötésként írhatunk le) magában foglal négy láncszelvényt, míg Y-típus esetén csak hármat (a kötést trifunkcionális kötésként írhatjuk le). A két csoportba tartozó kötések a 9. ábra szemlélteti.



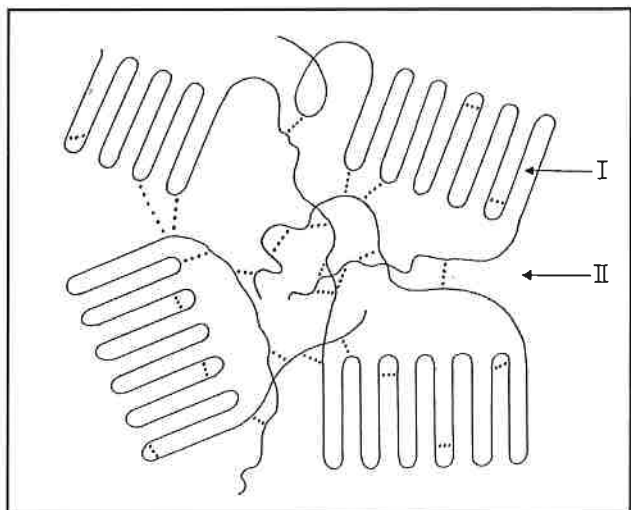
9. ábra. Láncban lévő kötések: (a) térháló, (b) végzár (M: monomer egység) [6]

A sugárkezelés okozta térhálósítást először polietilénen vizsgálták, amely az egyszerűségéből adódóan további vizsgálatok alapjául is szolgált [6, 13, 14].

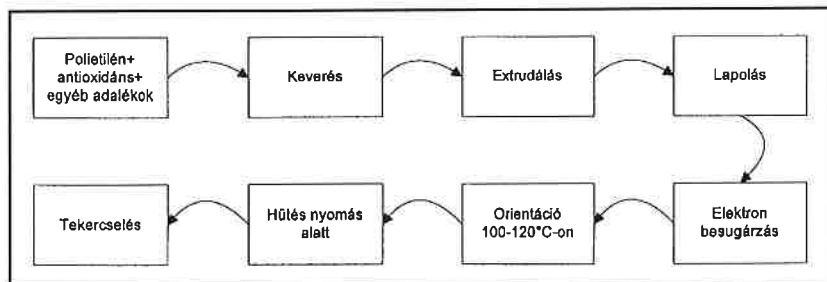
A legfontosabb különbség a termikus és az elektronkezeléses térhálósítási eljárás között, hogy míg termikusan csak kémiai térhálót hozunk létre, elektronkezeléssel fizikai térhálót is; ezáltal sűrűbb térháló jön létre, amely jobb tulajdonságokat eredményez, mint a termikus eljárással készült.

A polietilén tulajdonságai jelentősen megváltoznak a sugárkezelés okozta térhálósodás hatására. A néhányszor tíz kGy és néhány MGy dózistartományban kezelt polietilén a korábbi olvadási hőmérséklete felett flexibilis és gumiszerű lett, továbbá csökkent az oldhatósága szerves oldószerekben. Míg a nem besugárzott polietilén már 70–90°C körül meglágyul, majd viszkozusan folyóssá válik 115–125°C között, addig a besugárzott polimer olvadási pontja, már kis dózis mellett (~0,02 MGy) is, nem kevesebb, mint 250°C fölé tolódik. Ha a PE-t igen nagy dózisnak tesznek ki, akkor a polimer üvegszerű, és nagy rugalmassági modulusú lesz. A polietilénben térhálókötés létrejöhet a kristályos régióknak belül, a kristályos és az amorf fázis között, valamint az amorf fázison belül (10. ábra). Napjainkban a besugárzott polietilént főleg zsugorcsőként használják, de lehet belőle készíteni hóálló filmet (11. ábra), térhálós habot (12. ábra), valamint kábelbevonatot. A kábel elektronkezelését többféle képen meg lehet valósítani (13. ábra), attól függően, hogy hány gépünk van, és milyen mennyiségben, minőségben szeretnénk előállítani a termékünket.

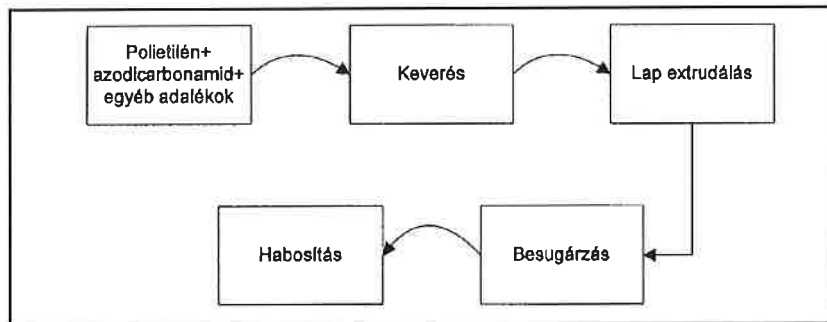
Mint azt a 2. táblázatban már bemutattam, igen sokoldalú a kisenergiájú elektronkezelő berendezések alkalmazása a műanyagiparban. Ezek közül is kiemelkedő a bevonatok készítése. Az egyik fő terület a papírípar. A papíríparban eddig sok oldószerezrel felvitt és hőenergiával szárított vagy keményített eljárást alkalmaztak. Napjainkban ez egyre inkább visszaszorul, mivel drága és környezetszennyező. Az új bevonási technikák legfőbb célja az energiatakarékosság. Azt az alapelvet figyelembe véve, hogy a jó bevonat (lakkozás, festés, nyomtatás) készí-



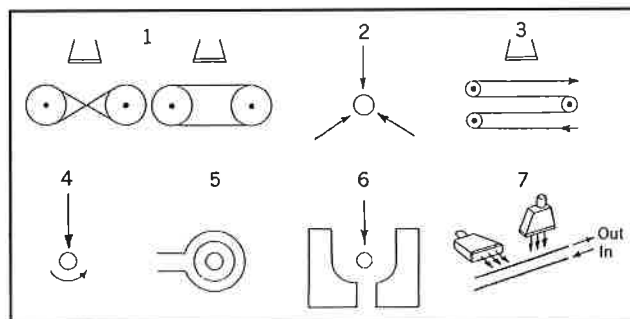
10. ábra. Sugárzás hatására létrehozott szerkezet polietilénben, I: kristályos rész, II: amorf rész [6]



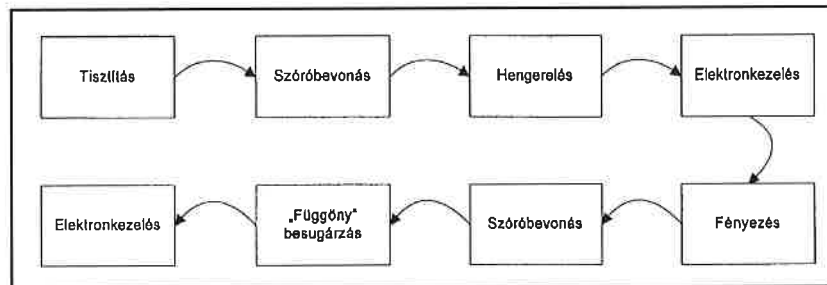
11. ábra. Hőálló film készítésének egyszerűsített vázlata [6]



12. ábra. Térhálós hab készítésének egyszerűsített vázlata [6]



13. ábra. A kábel besugárzásának lehetőségei: 1. két oldalról; 2. három oldalról; 3. négy oldalról; 4. besugárzás a kábel forgatásával; 5. koaxiális besugárzás; 6. kör alakú mágnessel; 7. két gyorsítóval, négy oldalról [6]



14. ábra. A chip határreteg készítésének egyszerűsített vázlata [12]

tésénél nemcsak fizikai „száradásra” van szükség, hanem irreverzibilis kémiai reakciókra, olyan eljárásra van szükség (a polimerizációhoz, térhálósodáshoz), amely nem igényel növelt hőmérsékletet, hanem szobahőmérsékleten elindítható és végrehajtható. Ezen kritériumoknak, az ebben a fejezetben bemutatott figyelembe vételével, a kisenergiájú elektronkezelés mindenképpen megfelel. Elektron-sugárzással 100–200 µm vastagságban biztonságosan polimerizálhatunk, térhálósíthatunk. Ezzel az eljárással két nagyságrenddel csökkenti lehetett a bevonás költségét. Ehhez viszont olyan anyagokra van szükség, amelyeket könnyen lehet térhálósítani elektronsugár-kezeléssel. Ilyen anyagok a több funkciós oligomerek, prepolimerek [10, 11]. Az eljárás további jelentősége, hogy sugárérzékeny bevonatok, filmek is készíthetők ezzel az eljárással [8, 9, 10, 11].

Jelentős a felhasználás az elektronikai iparban is. Itt főleg chip-pek határreégeit készítik elektronkezeléssel. Ezen folyamatot mutatja be a 14. ábra.

Új irányvonalat képvisel a természetes szálakkal (pl., bambuszrost, kókuszrost, bazaltszál) erősített, elektronkezelt kompozit termék előállítás. Ezek a termékek gyakran nem használhatók, mivel gyenge a biológiai stabilitásuk, de biztató eredményeket értek el különböző adalékanyagok segítségével [6, 10, 12].

A gumipar is használja ezt a kezelési eljárást. A Forma-1-es autók gumijának több rétege is elektronkezeléses eljárás eredményeképpen lesz a kívánalmaknak megfelelő kopási, tapadási tulajdonságú [1].

Irodalom

1. Berejka, A. J., Eberle C.: Electron Beam Curing of Composites in North America; 12th International Meeting on Radiation Processing, Avignon, France, 2001.
2. Fengmei, L., Jianwen, B., Xiangbao, C., Huaying, B., Huiliang, W.: The Influence Factor of EB Curing Epoxy Matrix; 12th International Meeting on Radiation Processing, Avignon, France, 2001.
3. Sanders, C., Lopata, V., Kremers, W.: Electron Curing of Composite Structures for Space Applications, Executive summary, 1997
4. Norris, R. E., Schulz, M. D.: Selection of Materials to be Utilized in Fabrication Tooling for EB Curing of Composites; EB Curing of Composites Workshop, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1996
5. Mark, J. E.: Physical Properties of Polymers Handbook American Institute of Physics, Woodbury, New York, USA, 1994
6. Woods, R. J., Pikaev, A. K.: Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1994
7. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
8. Czvikovszky, T.: Application of Low-Energy Electron-Beam Curing in Plastics Processing and Coating Technologies, Radiat. Phys. Chem., 26, 5, (1985)
9. Czvikovszky, T., Helyes, L., Madai, Gy.: Energia-takarékos papírbevonási technikák UV-sugárzással és elektronkezeléssel, Papíripar, 6, (1983)
10. Czajlik, I., Takács, E., Czvikovszky, T.: Reactive Oligomers: The Key Compounds of The Next Years Radiation Chemical Technology Radiat. Phys. Chem., 35, 64 (1990)
11. Czajlik, I., Takács, E., Czvikovszky, T.: The Effect of Monomer Functionality in EB-Curable Coatings Radiat. Phys. Chem., 35, 76 (1990)
12. Czajlik, I., Takács, E., Alpár, T., Czvikovszky, T.: Advanced Materials Made by Radiation Processing Radiat. Phys. Chem., 31, 639 (1988)
13. Tabata, J., Ito, Y., Tagawa, S.: CRC Handbook of Radiation Chemistry CRC Press, Inc., Florida, USA, 1991
14. Dobó, J.: Gyakorlati sugárkémia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967
15. Electrocurtain gépkönyv, Energy Science, Inc., Massachusetts, USA, 1988
16. Janke, J. J., Norris, R.E., Yarborough, K., Havens, S. J., Lopata, V. J.: Critical Parameters for Electron Beam Curing of Cationic Epoxies and Property Comparison of Electron Beam Cured Cationic Epoxies Versus Thermal Cured Resins and Composites EB curing Composites Workshop, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1996
17. Jagrovia, P., Holl, P., Seidel, J., Häring, E.: Elektronenstrahlhärtung für Beschichtungen und andere Anwendungen Expert Verlag, Germany, 1990