

Ötven éve gyártják a Kevlar® szálanyagot

Kutasi Csaba

Az elmúlt évszázad 80-as éveinek elejétől egyre jelentősebbé váltak az egyedi teherbírású, hőstabil, lángálló szerves szintetikus szálanyagok. Ezeket harmadik generációs szintetikus szálaknak, nagyteljesítményű szálaknak (high performance fibres), speciális szálaknak egyaránt nevezték. Fő képviselői az aromás poliamidok.

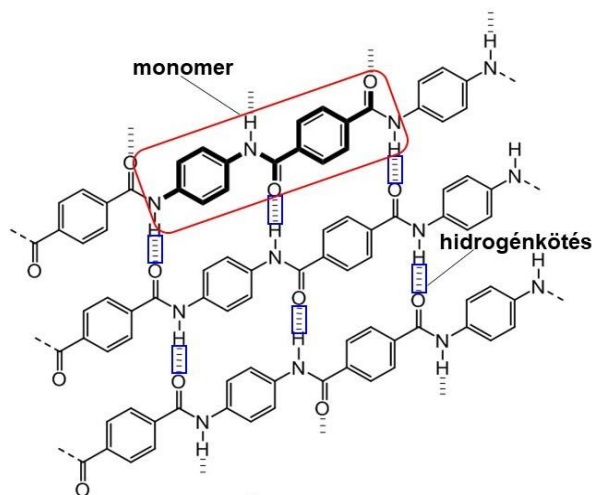


Herman Francis Mark (1895-1992)
osztrák-amerikai kémikus

1. kép.

(Kevlar®) volt az első para-aramid, amely merev struktúrája miatt nagyon magas olvadásponttal rendelkezett. Ezért olvadékból nem lehetett szálát húzni, így a DuPont által felfedezett állapot – miszerint bizonyos körülmények között az ilyen polimerek folyadékkristály oldatokat képeznek – tette lehetővé a szálképzést. (A folyadékkristály olyan, szilárd halmazállapotban kristályos anyag, amely olvadáskor először részlegesen rendezett, ún. folyadékkristály állapotba kerül – LCP oldat –, és csak akkor válik igazi folyadékká, ha hőmérséklete tovább növekszik).

A para-aramid szálak különleges tulajdonságai például azzal is magyarázhatók, hogy a láncmolekulák kötéstengelyük körüli elfordulása térbelileg akadályozott, miután a nagymolekulák nem hajtogatottak, hanem pálcika alakúak. A PPTA polimer akkor képez folyadékkristály oldatot, ha kénsavban oldják. A folyadékkristály polimer oldat a kritikus koncentrációnál maximális viszkozitást ér el (2. ábra).



A Kevlar® szál polimerláncjai

2. ábra

A felfedező pályája

Stephanie Louise Kwolek (3. kép) Pennsylvániában, lengyel bevándorló szülők gyermekeként, 1923-ban látta meg a napvilágot. Apja, John Kwolek – aki természettudós volt – a leány tíz éves korában meghalt. A természeti világ felfedezéséhez tudomány iránti érdeklődéshez ő adott inspirációt. Édesanyja, Nellie Kwolek varrónőként dolgozott. Neki tulajdonítható, hogy leánya a divatszakma iránt is vonzódott. Ennek ellenére Stephanie úgy döntött, hogy orvos lesz. Az orvosi egyetemi tanulmányokhoz szükséges anyagiak előteremtése érdekében először kémiai területen kívánt dolgozni. Ezért 1946-ban a Carnegie Mellon Egyetem Margaret Morrison Carnegie Főiskoláján kémia szakon alapképzési fokozatot szerzett.



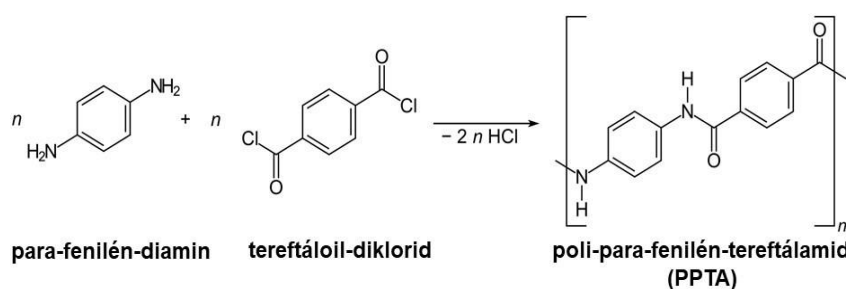
Stephanie Louise Kwolek (1923-2014)
a Kevlar® feltalálója

3. kép

Kwolek az ideiglenesnek gondolt munkahelyen, a DuPont cégnél több mint 40 évig dolgozott, számos tudományos sikert megélve. Többek között nevéhez fűződik a kivételes szilárdságú és merevségű szintetikus aromás poliamid szálak első képviselőjének, a poli-parafenilén-tereftál-amidnak a felfedezése. 28 szabadalmat nyújtott be a DuPontnál töltött 40 év alatt. A cég Lavoisier-éremmel ismerte el kiemelkedő műszaki eredményeit. 1995-ben ő lett a negyedik nő, aki bekerült a Nemzeti Feltalálók Hírességei Csarnokába (National Inventors Hall of Fame). Ezen kívül még számos kitüntetésben részesült polimerkémiai munkássága elismeréseként (többek között Nemzeti Technológiai Érem; az ipar fejlődését és a társadalom javát szolgáló, egyéni kreativitás és innováció kiemelkedő teljesítményének elismerése, az IRI – Industrial Research Institute – Eredmény-díja; Perkin-érem). A Kevlar® feltalálója 2014-ben hunyt el.

Az aromás poliamidok kutatása, fejlesztése

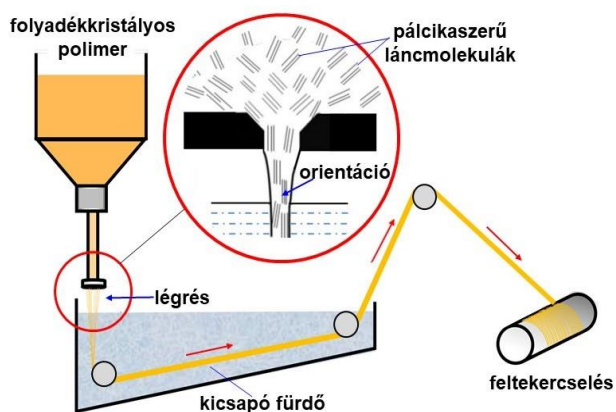
Az aromás poliamidból képzett harmadik generációs szál felfedezése Kwolek legismertebb munkája. Az 1950-es és 60-as években az aromás poliamidokkal kapcsolatos laboratóriumi munkáját Paul W. Morgan kutató felügyelete alatt végezte, aki felismerte, hogy az aramidokból egyedi szerkezetük révén merev szálak képezhetők. Az is egyértelművé vált, hogy csak oldat formájában lehet folyékonnyá tenni ezeket a polimereket, mert nagyon magas hőmérsékleten olvadnak, mert lángállóak. Kwolek meghatározta az alkalmas oldószereket és a polimerképzés körülményeit, amelyek alkalmasak a poli-meta-fenilén-izoftál-amid előállítására, amely a DuPont által 1961-ben létrehozott meta-aramid lángálló szál (Nomex) alapanyaga. Ezután tevékenységét kiterjesztette a poli-para-benzamidra és a poli-para-fenilén-tereftál-amidra,



A Kevlar® polimer előállítás kémiai reakciója

4. ábra

amelyek – megállapítása szerint – az oldatban rendkívül szabályos pálcikaszerű molekuláris elrendezést mutatnak (4. ábra). A folyadékkristályos polimerből előállított szálak addig nem tapasztalt merevséget és húzószilárdságot mutattak. A Kwolek által feltalált innovatív polimer Kevlar® márkanévvel került forgalomba. A szénhidrogén hiányra számítva 1964-ben Kwolek csoportja könnyű, mégis nagy szilárdságú szálak fejlesztésébe kezdett, az abroncsokban használt acél helyettesítésére. Azok a polimerek, amelyekkel akkor dolgozott folyadékkristályokat képeztek oldatban, 200 °C-on megolvadtak, gyengébb és kevésbé merev szálakat eredményeztek. Új fejlesztései során és az egyedülálló olvadékkondenzációs polimerizációs eljárás alkalmazásával a hőmérsékleteket 0 és 40 °C közé csökkentette. Ekkor az oldat szokatlanul alacsony viszkozitású, zavaros, keverhető opálos folyadék volt. A hagyományos polimer oldatok általában tiszták vagy áttetszők. A Kwolek által készített folyékony anyag diszperzió jelleget mutatott, ugyanakkor finom pórusú szűrőn keresztül teljesen szűrhető volt. Ez folyadékkristályos oldat volt, de akkor még ezt nem tudta. Az ilyenkor keletkezett zavaros oldatot általában további hasznosítási kísérlet nélkül eltávolították, kiöntötték. Ő azonban Charles Smullent, a szálképzéssel foglalkozó technikust megkérte, hogy tesztelje így nyert anyagát. Az ebből előállított új szál nemcsak erősebb volt a nejlonnál (ismert alifás poliamid), hanem ötször szilárdabbnak bizonyult az acélnál. A DuPont szakmai felügyelője és a laboratórium igazgatója is jelentős kutatói felfedezésnek tartotta Kwolek munkáját, amely a polimerkémia új területét nyitotta meg. 1971-ben bevezették az ún. modern Kevlar®-t, a szálakat hőkezeléssel még erősebbé lehetett tenni. A pálcika formájú



A Kevlar® szál előállításának elve

5. ábra

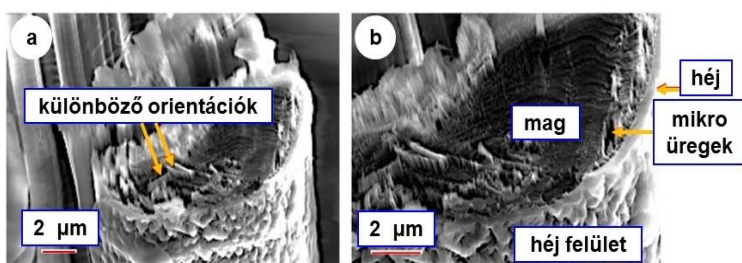
polimer molekulák erős orientációja biztosította a Kevlar® rendkívüli szilárdságát.

A szálképző fej nyílásainál a kipréselt folyadékkristályos polimer láncmolekuláit nyíró igénybevétel éri, ami száltengegy irányú orientációjukat előidézi. A nedves szálképzés során (5. ábra) a parányi csatornákkal kialakított szálképzőlapot a kicsapófűrdő szintje felett úgy helyezik el, hogy légrésezen haladjon át a készülő szálfolyam. Ezzel érhető el szálképző folyadék magasabb hőmérséklete, ami a folyadékkristályosság optimális szintjét biztosítja, garantálva tökéletes

orientációval járó nagy szilárdságot. A maximum 700 m/min sebességgel haladó szálköteget tízszeres nyújtásnak vetik alá, majd hőkezelik fűtött csökemencében.

A Kevlar® számos fajtája használatos, pl.:

- Kevlar K29® ipari alkalmazásokhoz, például kábelekekhez, gumiabroncsokhoz és fékbetétekhez ill. azbeszt helyettesítésére (6. ábra),



A Kevlar® 29 szál pásztázó elektronmikroszkópos keresztmetszeti képei

6. ábra

- Kevlar K49® nagy modulusú kábelekekhez és kötelekhez;
- Kevlar K100® a Kevlar® színes változata;
- K119® nagyobb nyúlású, rugalmasságú és fáradásállóságú;
- Kevlar K129® nagyobb szívóssága ballisztikus alkalmazásokat tesz lehetővé;
- Kevlar K149® a legnagyobb szívósságú, ballisztikus, páncélos és űrhajózási alkalmazásokhoz használják;
- Kevlar AP® 15% -kal nagyobb szakítószilárdságú, mint a K-29;
- Kevlar KM2® fokozott ballisztikus ellenállás jellemzi, páncélos alkalmazásokhoz használható;
- Kevlar XP® a könnyebb gyanta és KM2 felhasználáshoz szálkombináció.

A para-aramidok főbb fizikai jellemzői:

- sűrűség: 1,44 g/cm³,
- bomlási hőmérséklet: 500 °C,
- üvegesedési hőmérséklet 300 °C,
- nedvességfelvétel 3,5–7,0 %,
- lángállóság: LOI index: 29 (a LOI – limiting oxygene index – az a minimális oxigénkoncentráció százalékban, amely támogatja a polimer égését).

A Kevlar® szál felhasználása széleskörű, a főbb alkalmazási területek a 7. ábrán láthatók. A napfény UV összetevője károsítja a Kevlar®-t, ezért ritkán használják a szabadban napfény elleni védelem nélkül.

Kwolek folytatta az alifás és klórcsopor-
tokat tartalmazó termotróp (a folyadékkris-
tály különböző hőmérsékleten különböző fá-
zisokat mutat) Kevlar-származékok kutató-
sát. 1985-ben Kwolek és munkatársai szaba-
dalmaztattak eljárást a poli-parafenilén-
benzo-dioxazol (PBO) és poli-butilén-terftalát
(PBT) polimerek előállítására. A Kevlar® felfe-
dezője további, mások által kifejlesztett ter-
mékek előállításához is hozzájárult, pl. poli-
éter-poliuretán kopolimer (Spandex, Lycra),
poli-meta-fenilén-izoftálamid (Nomex) és a
poli-imid (Kapton) mű- és szálanyagok.

Felhasznált irodalom

- https://en.wikipedia.org/wiki/Stephanie_Kwolek
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Kevlar>
- <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/stephanie-l-kwolek>
- <https://www.dupont.com/brands/kevlar.html>
- Fenyvesi Éva: Újszerű textilipari és műszaki szá-
lasanyagok, Magyar Textiltechnika, 1994. évi kü-
lön száma



A Kevlar® főbb felhasználási területei

7. ábra