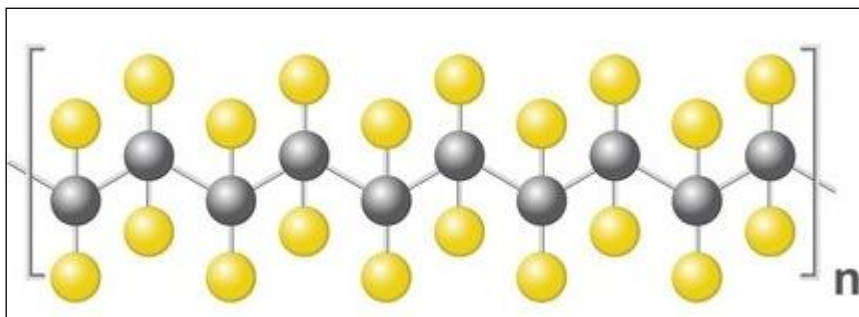


Minden, amit a PTFE-ről tudni kel

A PTFE („teflon”) kivételesen széles hőmérséklet-tartományban alkalmazható, nagyon kis súrlódású és szinte minden vegyszernek ellenálló műanyag. Komoly hátránya, hogy nem dolgozható fel a hőre lágyuló műanyagokhoz alkalmazott jól bejáratott eljárásokkal. Ezt a polimert érdemes közelebbről szemügyre venni

Tárgyszavak: PTFE; molekulaszervezet; tulajdonságok; feldolgozás; alkalmazás; néhány példa.

A PTFE [poli(tetrafluor-etilén)] nagyon sok területen alkalmazott, nagy teljesítményű műanyag, amely kizárólag szén- és hidrogénatomokból épül fel Lineáris polimer, amelyet tetrafluor-etilénből vizes közegben, szabad gyökös polimerizációval és szakaszos technológiával állítanak elő. Ez a monomer olyan etilénmolekulának tekinthető, amelynek mind a négy hidrogénatomját fluoratomra cserélték (képlete: $\text{CF}_2 - \text{CF}_2$). A PTFE molekulaszervezete az 1. ábrán látható. A polimer elméletileg 76 % (m/m) fluort tartalmaz és 95%-ban kristályos.



1. ábra A PTFE molekulaszervezete
(a C-atomok szürke, a hidrogénatomok sárga színűek)

A PTFE ott van minden konyhában, ahol a háziasszony tapadásgátló teflonbevonatos edényekben készíti az ételt. De számos iparágban is jól bevált költségtakarékos megoldásokhoz; pl. az olaj- és gázkitemelésben, a vegyiparban, a villamos és elektro-

nikus eszközök gyártásában, a gépiparban és egyéb területeken is. Mindezt egyedi tulajdonságegyüttesének köszönheti.

A PTFE vegyszerállósága kivételesen jó; jól tűri a viszonylag magas és alacsony hőmérsékletet; meleg és nedves környezetben is szigeteli a villamos áramot; ellenáll a fénynek és az UV-sugárzásnak, szabad térben is alkalmazható; kicsi a súrlódási együtthatója; alacsony a dielektromos állandója; rendkívül kicsi a tapadása. A PTFE rugalmas anyag; kis feszültségű dinamikus terhelés mellett hosszú ideig elviseli a fázisát; kicsi a nedvességfelvétele. Az élelmiszeriparban és a gyógyításban alkalmazható nagy tisztaságú változatai is vannak.

Ennek a polimernek a különleges tulajdonságai abból erednek, hogy a fluoratómok egységes és folyamatos bevonatot képeznek a szénatomok körül, ez a bevonat teszi a molekulát stabillá, vegyszerállóvá és villamosan szigetelővé.

A PTFE-t 1938-ban a DuPont cégnél „véletlenül” fedezték fel, 1947-ben elsőként a Chemours cég kezdte forgalmazni „Teflon” márkanevvel. Ez a márkanev az egész világon ismertté vált, és sokan a PTFE szinonímájaként használják. Ma jó néhány gyártója van, amelyek saját márkanevekkel hozzák forgalomba ezt a polimert. Ilyen pl. változatlanul a Chemours (*Teflon*), a 3M-Dyneon (*3M Dyneon*), a Flontech (*Flontech*), az AGC (*Fluon*), a Daikin (*Polyflon*) stb. A gyártók teljes listája az Omnexus Plastics szabadon hozzáférhető adatbázisában található meg.

A PTFE felfedezése nyomán megindult a fluoropolimerek további kutatása, és számos más fluoropolimer is megjelent a piacon. A fontosabbak: PCTFE, poli(klór-trifluor-etilén); PVF (poli(vinil-fluorid); PVDF poli(vinilidén-fluorid); ECTFE poli(etilén-klór-trifluor-etilén), ETFE poli(etilén-tetrafluor-etilén) stb.

A PTFE tulajdonságai közelebbről

A PTFE granulátum, finom por vagy vizes diszperzió formájában található meg a piacon. A *szemcsés PTFE-t* (szinterport) vizes közegben, szuszpenziós polimerizációval, kevés diszpergálószer hozzáadásával vagy anélkül állítják elő. A szinterport többnyire sajtolással, izosztatikus préssel vagy ram (döngölő) extrudálással dolgozzák fel. A finom *PTFE port* emulziós polimerizálással készítik, a termék kis méretű fehér szemcsékből áll. Ugyancsak ram-extrudálással, előformák szinterezésével készítenek belőle formadarabokat, csöveket. A nagyon finom port más polimerekhez keverve súrlódást csökkentő adalékként is használják. *PTFE diszperziókból* bevonatokat, fóliákat öntenek.

A PTFE átlagos tulajdonságait az *1. táblázat* tartalmazza. A polimer mechanikai tulajdonságai szobahőmérsékleten nem érik el a műszaki műanyagok hasonló értékeit, de ezen szálerősítéssel tudnak javítani. Alacsony és magas hőmérsékleten azonban jobban megőrzi eredeti mechanikai tulajdonságait, és ilyenkor megfordul a sorrend. A PTFE mechanikai tulajdonságait a molekulatömeg, a részecskeméret, továbbá a feldolgozási körülmények is befolyásolják; pl. az előforma sajtolási nyomása, a szinterezés hőmérséklete, a hűtés sebessége stb.

Jó villamos szigetelő tulajdonságait, és főképpen alacsony dielektromos együtt-hatóját és veszteségi tényezőjét a makromolekulák szimmetrikus szerkezetének köszönheti. A különböző típusok dinamikus sűrűlási együttthatója 0,01-0,08 között változik. Tartósan 260 °C-ig alkalmazható, de degradációja csak 440 °C körül indul meg. Besugárzás hatására levegőben 0,02 Mrad dózis után mutat bomlási jelenséget. Ömledékviszkozitása az 1–10 GPa/s tartományba esik.

1. táblázat

A PTFE hozzávetőleges tulajdonságai

Tulajdonság	Egység	Érték
Sűrűség	g/cm ³	2,1–2,3
Olvadási hőmérséklet	°C	315–340
Húzómodulus	MPa	550
Szakadási nyúlás	%	300–550
Villamos szilárdság	kV/mm	19,7
Dielektromos állandó	–	2,0
Dinamikus sűrűlási együtttható	–	0,04
Felületi energia	Dynes/g	18
Alkalmazás hőhatára	°C	260
Törésmutató	–	1,35

A PTFE az egyik legjobban vegyszerálló műanyag, csak az alkáli fémek ömledéke, a magas hőmérsékletű és nyomású fluorgáz és néhány halogénezett szerves vegyület, pl. a klór-trifluorid (ClF₃) vagy az oxigén-difluorid (OF₂) tudja megtámadni. Részletesebb adatok az *omnexus.specialchem.com* adatbankjában található.

Az átlagos PTFE alkalmazásának megvannak a maga korlátai is. Ezek között főképpen a nehézkes feldolgozást kell megemlíteni. *Ez a polimer nem formázható a hőre lágyuló műanyagok egyszerű és olcsó eljárásaival*; ehhez speciális és viszonylag költséges technológiákat fejlesztettek ki. További hátránya, hogy kúszásra hajlamos és kopásállósága is gyenge. Emellett üvegesedési hőmérséklete (19 °C) körül megváltoztathatja méreteit; nehézkesen alakíthatók vele kötések önmagával vagy más anyagokkal; maga ugyan nem ég, de tűz esetén bomlástermékei erősen irritálóak és korrozívak; sugárzással szemben pedig gyenge az ellenálló képessége.

Töltőanyagok és más adalékok hatása a PTFE tulajdonságaira

A PTFE mechanikai tulajdonságait töltőanyagokkal lehet javítani, ezek növelik a kúszással és a kopással szembeni ellenállást is. Szokásos töltőanyagai az üvegszálak, a bronz, az acél, a korom, a szénszálak, a grafit stb.

Az üvegszálak alacsony és magas hőmérsékleten is csökkentik a kúszást és a kopást, és különösen oxidatív környezetben fejtenek ki pozitív hatást.

A korommal töltött PTFE kevésbé kúszik, keményebb és jobban vezeti a hőt. Ha a korommal együtt grafitot is kevernek a kompaundba, a kopásállóság tovább javul. Az ilyen típusok jól beváltak olajozás nélküli kompresszorok dugattyúgyűrűinek gyártásához. A grafittal töltött PTFE-k súrlódási együtthatója rendkívül kicsi.

A szénszálak ugyancsak csökkentik a kúszást, növelik a hajlítási és kompressziós modulust, valamint a keménységet. Az üvegszálakkal ellentétben a szénszálakat nem támadja meg sem a hidrogén-fluorid sav, sem az erős bázisok. A szénszálakat tartalmazó polimereknek kicsi a hőtágulási és nagy a hővezetési együtthatója. Az ilyen PTFE-k ideálisak a gépkocsik lengéscsillapítóiban és vízszivattyúiban.

A bronzporral töltött PTFE-k jó hő- és áramvezetők, és jól alkalmazhatók extrém magas hőmérsékleten. Vannak kalcium-fluoriddal, alumínium-oxiddal, csillámmal, polimerrel töltött speciális PTFE-k is.

Általánosságban igaz, hogy a töltőanyagok tovább javítják a PTFE alacsony és magas hőmérsékleten mutatott jó tulajdonságait, emellett növelik porozitásukat, ebből következően befolyásolják villamos tulajdonságaikat: csökkentik villamos szilárdságukat, továbbá növelik dielektromos állandójukat és veszteségi tényezőjüket. Vegyszerállóságuk mértéke a töltőanyagtól függ; a legtöbb töltött típus vegyszerállósága gyengébb, mint a töltetlen polimeré. A PTFE-be bekeverhető töltőanyagok maximális mennyisége 40% körül van; 5% hozzáadásával az eredeti tulajdonságok csak csekély mértékben változnak.

Hol és mire alkalmaznak PTFE polimert?

Fluortartalmú hőre lágyuló műanyagokat csak nagyon magas igényeket kielégítő eszközök gyártására alkalmaznak. Ott, ahol nagyon magas vagy nagyon alacsony hőmérsékletet kell az eszköznek elviselni vagy ha fontos a jó vegyszerállóság, ha nagyon tiszta, nagyon gyengén tapadó vagy önkénő anyagra van szükség. A leggyakoribb PTFE gyártmányok többek között a különböző tömítőgyűrűk, tengelytömítések, csapágyak, dugattyúgyűrűk stb. Alkalmazási hőmérséklet-tartományuk -200 °C -tól 260 °C -ig, speciális típusoké -260 °C -tól 280 °C -ig terjed. Fő felhasználói a következő iparágak:

Gépkocsigyártás: O-gyűrűk és más tömítések, szelepszártömítés; tengelytömítés; üzemanyag-vezeték bélelése, szervókormány, erőátvitel stb.

Vegyipar: hőcserélők bevonata, szivattyúk, membránok, terelőlapátok, futókerekek (impeller), tartályok, reakciós edények, tálak, autoklávok stb.

Villamos és elektronikai ipar: villamos szigetelés, rugalmas nyomtatott áramkörök, félvezető eszközök, foglalatok, dugaszok, csatlakozók stb.

Gépipar: csapágyak, csőbevonatok, tapadásmentes felületek, kötőelemek, szelepek és szivattyúk stb.

Orvosi eszközök: szív- és érsebészeti eszközök, kötőanyagok, szívgyógyászati eszközök stb.

A PTFE feldolgozására alkalmazott gyakoribb eljárások

A PTFE merev molekulaszervezete, ebből következő nagyon magas ömledékviszkozitása és olvadáspontja miatt a szokásos módon nem fröccsenhető vagy extrudálható. Feldolgozása ezért inkább a fémek pormetallurgiai eljárásaihoz hasonlít, mint a hőre lágyuló műanyagok formázásához. A feldolgozási technológiák között vannak szakaszos, folyamatos és félfolyamatos eljárások.

A szakaszos eljárásokban szinterporból sajtolással előformát készítenek, amelyekből szinterezéssel állítják elő a kívánt terméket. A leggyakoribb és legolcsóbb eljárásban a szinterporból szobahőmérsékleten magas (200–1000 bar) *nyomás alatt sajtolnak előformákat*, majd ezekből lassú felfűtéssel, *több órás olvadáspont közeli hőkezeléssel és lassú hűtéssel szinterezve* kapják meg a formázott terméket. Ez gyakran egyszerű formájú félkész termék (lemez, lap), amelyből forgácsolással állítják elő a végterméket. A jóval költségesebb *nyomás alatti szinterezéssel* kisebb porozitású, jobb mechanikai tulajdonságú termékek gyárthatók. Előformákat készíthetnek *izotaktikus sajtolással* is (ezek tulajdonságai kevésbé irányfüggőek) vagy *ütvesajtolással*, ahol a gélesedési hőmérséklet közelébe felmelegített szinterport nagy nyomással és sebességgel, ütésszerűen tömörítik, majd nyomás alatt tartva, a szerszámban lassan hűtik le.

Ram-extrúzióval folyamatosan lehet tetszés szerinti hosszúságú rudakat, csöveket vagy profilokat gyártani. A ram-extruderben egy dugattyú előre-hátra, vagy a többnyire alkalmazott függőleges extruderekben fel-le mozgó dugattyú a 320–420 °C-ra felmelegített zónákon át döngölve 50–800 bar nyomással tömöríti a szakaszosan betáplált szinterport. Mivel az előre haladó polimernek folyamatosan kell előre mozognia (a megszakadó PTFE polimeráram többé nem tud összehegedni), az extruderfejből egy rúd (csőmag) nyúlik befelé a hengerbe, és a dugattyú tulajdonképpen egy ezen sikló csődarab. A kitolási sebesség a falvastagság függvényében 2–4 m körül van.

A *pasztás extrúzió* félfolyamatos eljárás, amellyel csöveket, huzalbevonatokat, vagy szinterezés nélküli fóliákat, tömítőszalagokat, zsinórokat állítanak elő. A szinterport a felületét jól nedvesítő pasztaképző folyadékkal, csövek huzalok gyártásakor pl. 100–150 °C-os forráspontú benzinfrafrakcióval, kalanderezett termékek extrudálásakor ennél magasabb forráspontú szénhidrogénnel elegyítik. Az extruderből dugattyú hajtja ki a tömbszerű előgyártmányt, amely csőgyártáskor maga is csőszerű formátum. A profilszerű termékek gyártásakor a szabadba jutó előgyártmányból szárítón áthaladva elpárologtatják a szénhidrogént, majd 400–500 °C-os szinterezőben alakítják ki a végterméket. A fólia jellegű termékekből az oldószer a kalanderezés alatt párolog el.

PTFE diszperziókból fém- és más bevonatokat készítenek, fóliákat öntenek, szálakat húznak, de impregnáláshoz, porgyártáshoz is alkalmazzák őket.

A PTFE termékek tulajdonságait erősen befolyásolja a kiválasztott gyártástechnológia, a szinterpor szemcsemérete, a szinterezés hőmérséklete és időtartama és a gyártás közben alkalmazott nyomás. Ezért érdemes a PTFE kompaundjaival és többi fluorpolimerrel is megismerkedni, mert vannak olyan alkalmazási területek, ahol ezek jobban beváltak, mint a PTFE.

Néhány kereskedelmi forgalomban kapható népszerű PTFE-alapú alapanyag

Tii WF11 (P788A) (gyártója: DSM). 35% üvegszállal erősített, hőstabilizált polimer, PTFE és PPA (poliftálamid) fröccsönthető keveréke, amelynek kiemelkedő a kopásállósága és kitűnőek a siklási tulajdonságai. Főtengelyek kiegyensúlyozó fogaskerekeinek, elektromos (EPS) kormányzás elemeinek (fogaskerekek, rugalmas tengelykapcsoló, szenzorok) gyártásához ajánlják; de alkalmazható olajszivattyúk, önjáró fűnyírók erőátviteli fogaskerekeihez is.

NST 1111R Compound (gyártója 3M Dyneon). Szabadon folyó PTFE szuszpenzió, amely 10% elektrografitot és 10% más töltőanyagot tartalmaz. Feldolgozható ram-extrúzióval, sajtolással vagy automata fröccsgéppel. Jellemzői a jó hőállóság, a méretállandóság, a nagy felületi keménység, a terhelés alatti formaállóság, a csekély sűrűlódás és kopás, a vegyszerállóság, a magas oxigénindex (csekély éghetőség), a nagyon jó mechanikai tulajdonságok, és a nagyon magas hőállóság. Fő alkalmazási területei a vegyipari tömítések és az autógyártás.

TF R4212 Modified PTFE Compound (gyártója 3M Dyneon). Szabadon folyó PTFE szuszpenzió, amely 10% elektrografit-karbont (grafit és szén keveréke) tartalmaz. Ram extrúzióval dolgozható fel. Jellemzői hasonlóak az NST 1111R kompaundéhoz

TFX 4212 Modified PTFE Compound (gyártója 3M Dyneon) Szabadon folyó PTFE szuszpenzió, amely 10% szénszálat tartalmaz. Sajtolható és automata fröccsgépen is feldolgozható. Tulajdonságai hasonlóak az előző két PTFE-éhez.

TFX R4262 Modified PTFE Compound (gyártja 3M Dyneon). Ugyancsak 10% szénszálat tartalmazó PTFE kompaund. Valamennyi tulajdonsága hasonló a *TFX R4212* kompaundéhoz, de ennek feldolgozását ram-extruderben ajánlják.

Összeállította: Pál Károlyné

What is PTFE?

https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polytetrafluoroethylene-ptfe-fluoropolymer?lr=pom1906488&li=100009054&utm_source=NL&utm_medium=EML&utm_campaign=pom1906488&m_i=ehGJYWnI9PEX0ZAbOV6pwMgb2AescpcL%2BSi0Bj11Yc4JkhfBZntGh4vWp7T03IXV9%2BTk31nNQqk3_wS34_PXfypM%2BZ1Oem

Omnexus. The material selection platform.

<https://omnexus.specialchem.com/selectors/kf-chemical-resistance-good/c-thermoplastics-fluoropolymer-ptfe>

Dr. Füzes László: Műanyagok – anyag- és technológiakiválasztás. Bagolyvár kiadó, 1994. p. 244–247.