

Műanyag csapágyak

A műanyagok műszaki alkalmazásának egyik speciális területe a csapágyak gyártása. A fejlesztések nem voltak problémamentesek, új anyagokra volt szükség, hogy a csapágyak megfeleljenek a követelményeknek, sőt a fémekhez képest előnyöket nyújtsanak.

Tárgyszavak: kompozit; kerámia; fémhelyettesítés; epoxigyanta; szénszál; poliamid; csapágy; kopás; súrlódás.

A műanyag csapágyak története

A műanyagok megjelenésük után nem sokkal levetkőzték a hozzájuk tapadó „pótanyag” képzetét, és azóta a műszaki élet minden területére behatoltak; vannak olyan alkalmazások, ahol gyakorlatilag nélkülözhetetlenek. Nem csak hogy nem pótanyagok, hanem pótolhatatlan anyagok. Olyan tulajdonságkombinációval rendelkeznek, amellyel egyetlen más szerkezeti anyag sem.

A gyakran érintkező alkatrészeket tartalmazó, nagy sebességgel működő, nagy gyorsulással jellemezhető berendezések tartós működéséhez jól működő csapágyakra van szükség. Ahogy nő a műanyag siklócsapágyak élettartama és csökken az áruk, a tervezők is egyre inkább számolnak velük. Egyszerű műanyag csúszógyűrűből egyre inkább megbízható funkcionális alkatrészé válnak.

Ha visszatekintünk a műanyag csapágyak történetére, akkor legalább a poliamidok („Nylon”) felfedezéséig kell visszamennünk. A poliamidokat ugyan elsősorban szálhúzásra találták ki és alkalmazták, de hamar rájöttek, hogy a belőlük készült blokkok kenés nélkül is alkalmasak arra, hogy acéltengelyek csapágyaként használhassák őket. Ilyen anyagokat akkoriban nem nagyon ismertek, csak kent fémcsapágyakat. Ha bármilyen zavar állt be a kenésben, azonnal megkezdődött a kopás. *Valóságos áttörést jelentett, hogy a polimer csapágy kenés nélkül is működik.*

Ezen felbuzdulva a 60-as évek első felében számos cég próbálkozott műanyag csapágyak gyártásával, de elkövettek egy súlyos hibát: egyszerűen átvették az addig bevált fémcsapágyak konstrukcióját. Ez megbosszulta magát, mert a poliamid melegezés hatására kitágul, meglágyul és viszonylag sok nedvességet felvesz, vagyis a csapágyak nem úgy működtek, ahogyan elvárták tőlük. Ma már visszatekintve világos, hogy az anyaghelyettesítés nem végezhető el „egy az egyben”, az anyagsajátosságok változását a tervezéskor figyelembe kell venni. Ez a sajnálatos hiba sokáig visszavetette a műanyag csapágyak fejlesztését és alkalmazását.

Műanyag csapágyak fejlesztése

A német **igus** cég a műanyag csapágyak gyártói közül nem adta fel a reményt, és folytatta a fejlesztőmunkát. Először megpróbálták az akkor ismert hátrányokat kiküszöbölni, pl. kisebb falvastagságot alkalmaztak, ami fröccsöntési technológiával könnyen elérhető volt. Másodszor megpróbálkoztak olyan anyagkeverékek kidolgozásával, amelyek csökkentették a hőtágulást, a nedvességfelvételt és javították a siklási jellemzőket. Az anyagfejlesztés mindenképpen kulcskérdés, hiszen az új anyagok új alkalmazásokra nyújtanak lehetőséget. Ma már számos olyan csapágy létezik, amelyet a 70-es évek poliamidjaiból nem lehetett volna elkészíteni. Az **igus** cég a 80-as évek végén, a 90-es évek elején egy sor speciális anyaggal jött ki a piacra, amelyekből különböző csapágyak voltak készíthetők. A fejlesztés főbb irányai

- a kopás csökkentése,
- a terhelhetőség növelése,
- a hőállóság javítása,
- az egész csapágy lehetőleg egy anyagból történő előállítás.

Időközben a piac elvárásai is sokat változtak. A 70-es és 80-as években inkább csak olyan alkalmazásokhoz kerestek a gyártók műanyag csapágyat, ahová még a fém is sajnálták, vagyis a jelentéktelen alkalmazásokhoz. Az első olyan iparág, amely komolyan elkezdett foglalkozni a műanyag csapágyakkal, a *textilipar* volt, ahol porokkal, szöszökkel terhelt környezetben a kenésmentes csapágyakkal valódi előnyökre lehetett szert tenni. Ma már a vevők jóval komplexebb követelményeket támasztanak, amelyek közül csak egyik a kenésmentesség, de számít az élettartam, a csapágy kialakítása és természetesen az ára is. Érdekes, újszerű alkalmazás az *orgonaépítés*, ahol mindkét fél sokat tanult az együttműködésből. A piac nem tűnik túl nagyoknak, de egyetlen orgonában több ezer csapágy van, amelyek különböző méretűek és funkciójúak.

A műanyag csapágygyártás minőségi átalakulása nem csak a gyártástechnológiával szemben támaszt nagyobb követelményeket, hanem már a gyártást megelőző fázisokkal (anyagkiválasztással, tervezéssel) szemben is. Ezzel a többletmunkával a gyártás biztonsága is javítható. A vevőkapcsolatok és a marketing erősödésével a gyártó egyre több ismeretet szerez arról, hogy a felhasználónak milyen csapágyra van szüksége.

A manapság alkalmazott anyagválaszték jóval szélesebb, mint korábban, akár az alapanyagokat, akár a belőlük készíthető kompozitokat/keverékeket tekintjük. A fejlesztési irányok már a 70-es években kirajzolódtak, de a mai analitikai és vizsgálati lehetőségek sokkal jobbak. *Egy-egy új anyaggal kapcsolatban legalább 70 egyedi vizsgálatot és 500 próbaiüzemet végeznek.* Mindennek eredményeként a tisztán fémekből felépülő csapágyakkal szemben akár 40%-os megtakarítás is elérhető.

Műanyag csapágyak repülőgépek fékező lemezeihez

A repülőgépek hajtóműveit még felszállás előtt maximális teljesítményre pörgetik fel, és ilyenkor csak a fékek tartják álló helyzetben a gépet. Ha valamelyik fék felmondaná a szolgálatot, a repülőtér betonjából 350 kg-os tömegű fékező lemezek tolnák ki, amelyek mozgását műanyag csapágyak segítik. A szerkezetet általában egy

meglehetősen szűk árokba kell elhelyezni, ami komoly követelményeket támasztott a mechanikával szemben. További nehezítő tényezők voltak az alábbiak:

- az árkot gyakran elárasztja az esővíz,
- homok és egyéb szennyeződések fordulhatnak elő, ami kizárja a nem védett golyóscsapágyak alkalmazását,
- nem zárható ki a hosszú állásidők, ami alatt a csapágy nem „állhat be”,
- a szerkezetnek -20 és $+50$ °C között működnie kell,
- a mechanikának karbantartás és további kenés nélkül is működnie kell.

A feladatot az **igus** cég *iglidur HFM-6065-50 márkajelű, szálerősítésű, hőre lágyuló műanyagból készülő csapágyai* látják el, amelyeket külön olyan körülményekre terveztek, ahol nagy nedvességtartalom mellett sem változhatnak a szerkezet jellemzői. A csapágy nem igényel kenést, sőt az esetleg jelenlevő víz maga is kenőanyagként szolgál. A szerkezeti anyag hőállósága kiváló, akár rövid idejű 200 °C-os terhelést is kibír, de -40 °C-on is üzemel. A csapágy terhelhetősége még 120 °C-on is eléri az 55 MPa értéket. A kopás mértéke majdnem független a hőmérséklettől. 150 °C-on is csak kb. 20%-kal nagyobb, mint szobahőmérsékleten. A súrlódás ugyancsak alig függ a hőmérséklettől – ennél lényegesebb a másik érintkező anyag minőségének megválasztása. A tartós eredmények eléréshez jól kikeményített, $Ra = 0,3-0,4$ µm érdességű fémfelületet ajánlanak.

A csapágyak anyagául választott anyag vegyszerállósága igen jó: még elég agresszív vegyszerek is kenőanyagul szolgálhatnak. A kivételt csak forró oxidáló savak jelentik. Normál körülmények között a nedvességfelvétel 0,1% alatti, de a telítési érték sem több 0,3%-nál. Mivel az anyag gyakorlatilag nem duzzad vízben, jól használható nedves körülmények között. Ami a „beállást” illeti, ennek nem áll fenn a veszélye, mert a csapágy anyaga az alappolimer, a szálerősítés és a töltőanyagok mellett ún. szilárd kenőanyagot is tartalmaz. Ez utóbbira tulajdonképpen nem lenne feltétlenül szükség, de mindig jelen van, és hosszú állásidő után is helyi kenést biztosít.

Kompozitból készült műanyag csapágyak agresszív és koptató közegekhez

Hermetikusan záró műanyag szivattyúknál, amelyet agresszív és koptató közegek továbbítására használnak, a továbbítandó közeg általában egyben a csapágyak kenőanyaga is. Jelen pillanatban a legmagasabb szintű megoldást ilyen esetekben a *kerámia csapágyak* jelentik, amelyek pl. SiC-ből (szilícium-karbidból) készülnek. Ezek a műszaki kerámiák rendkívül ellenállóak a vegyszerekkel szemben és igen kicsi a kopásuk. Ugyanakkor a kenés megszűnése esetén nem mindig kielégítő a viselkedésük, és ridegségük miatt érzékenyek az ütésszerű hatásokra. Alternatívaként a csapágyat kialakíthatják polimerkompozitokból, a másik elem pedig maradhat műszaki kerámia. Ezzel jelentősen csökkenteni lehet a meghibásodás esélyét. Ilyen alkalmazásokban csak erősen töltött kompozitok jönnek számításba az intenzív koptató igénybevétel miatt. Nagy töltöttségi fok mellett a kompozit tulajdonságait alapvetően az adalékok (töltő- és erősítőanyagok) határozzák meg, ezért a fejlesztésnél általában hőre keményedő mátrixot (pl. epoxigyantát) használnak, és az így kapott eredményeket viszik át más polimermátrixokra.

A szivattyúban általában egy belső (forgó) és egy külső (álló) csapágy szerepel, ahol többféle súrlódás is felléphet:

- szilárdtestsúrlódás,
- kevert vagy határfelületi súrlódás,
- folyadéksúrlódás,
- részecskesúrlódás.

A legnagyobb problémát a súrlódó részecskék jelenléte okozza, ami károsíthatja a felületet. Ilyenkor a tiszta kerámia csapágy előnye a rendkívül kemény felület, amely inkább összetöri a részecskéket, de nem károsodik. Ha az egyik felület kompozit, akkor abba az apróbb, kemény részecskék akár be is épülhetnek (önerősítés). A körülményekből az következik, hogy egyfajta kompromisszumot kell találni a lágyabb, önkendő komponensek között (ami száraz kontaktus esetén kívánatos) és a keményebb, kopás- és erózióálló komponensek között.

1. táblázat

Korrozív és koptató hatású közegekben használható csapágyanyagok fejlesztésénél használt összetételek

| Szám | Polimer | Szénszál, %(V/V) | Grafit, %(V/V) | TiO ₂ , %(V/V) | SiC, %(V/V) |
|------|-------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------------|
| 1 | epoxigyanta | – | – | – | – |
| 2 | epoxigyanta | 10 | 7 | 4 | – |
| 3 | epoxigyanta | 10 | 7 | 4 | 4 (9 μm) |
| 4 | epoxigyanta | 10 | 7 | 4 | 8 (9 μm) |
| 5 | epoxigyanta | 10 | 7 | 4 | 12 (9 μm) |
| 6 | epoxigyanta | 10 | 7 | 4 | 4 (3 μm) |
| 7 | epoxigyanta | 10 | 7 | 4 | 8 (3 μm) |
| 8 | epoxigyanta | 10 | 7 | 4 | 12 (3 μm) |

Az anyagok kiválasztása és előállítása

A tapasztalatok szerint a már jól bevált epoxigyantához szénszálat keverték a szilárdság és kopásállóság növelése érdekében, ill. grafitot kenőanyagként. Töltőanyagként ezen kívül SiC és TiO₂ kerámiát is használtak. Néhány összetételt az 1. táblázat mutat. A teljes töltő- és erősítőanyag-tartalom még a legnagyobb töltöttségi fok esetén sem haladta meg a 33 %(V/V)-t, ami még kezelhető. A fő eltérés a SiC tartalomban és a SiC részecskék szemcseméretében adódott. A viszonylag nagy mennyiségű töltőanyagot egy laborméretű berendezésben keverték bele a gyantába, amely már a bekeverés során elkezdett reagálni. Ez nehézséget is jelentett, de megakadályozta az ülepedést is. Az epoxigyantán kapott eredményeket megpróbálták átvinni más mátrixanyagokra is: vinilészterre (VE) és hőre lágyuló etilén–tetrafluor-etilén kopolimerre (ETFE). A kopási kísérleteket (amelyekhez némi módszertani továbbfejlesztésre is szükség volt) a következő körülmények között végezték el:

- száraz, nem kent súrlódó felületek,

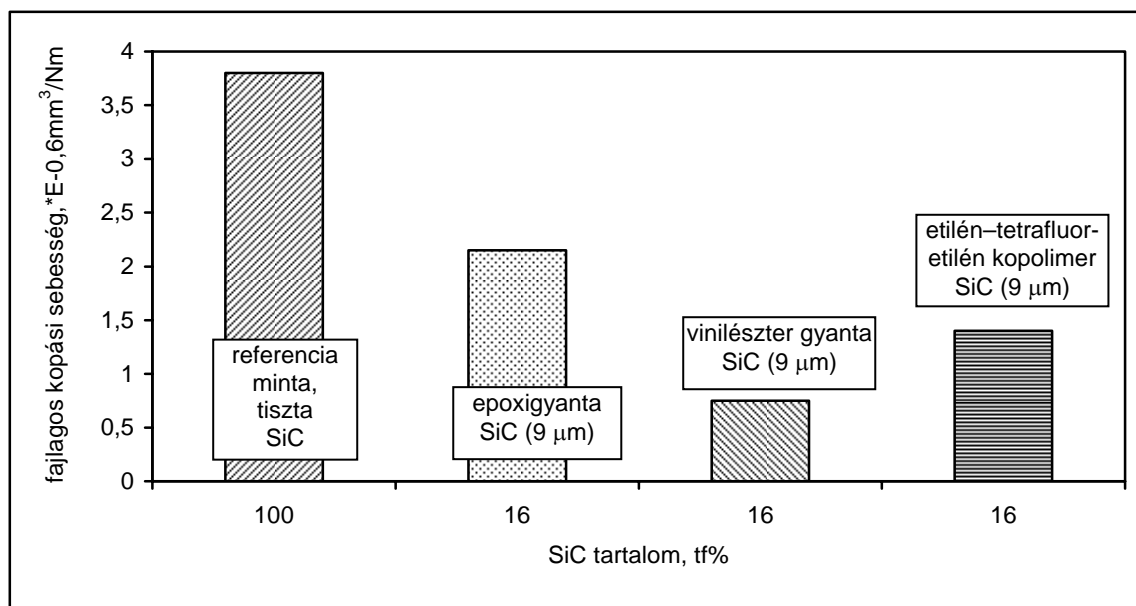
- kent súrlódó felületek koptató közeg jelenlétében (a közeg egyik esetben 200 g 3,5 μm wollastonit 1 l vízben, másik esetben 100 g 100–400 μm kvarchomok 1 l vízben),
- száraz és kent koptató felületek.

Az első két esetben érintkező felületként acélgyűrűket vagy SiC gyűrűket használtak. A töltő- és erősítőanyagot tartalmazó gyanták minden esetben kisebb kopást mutattak a töltetlen gyantánál. A száraz, nem kent súrlódó felületek esetében a durvább szemcséjű SiC erősebb kopást eredményezett, mint a finomabb szemcsés – a SiC mennyiségétől szinte függetlenül. A finom szemcsés SiC esetében jóval kisebb maradt a kopás, csak 12% SiC tartalomnál emelkedett meg. A száraz, nem kent felületek kopásának mérésére az acélfelület nem bizonyult igazán alkalmasnak, mert maga is megmaródott.

2. táblázat

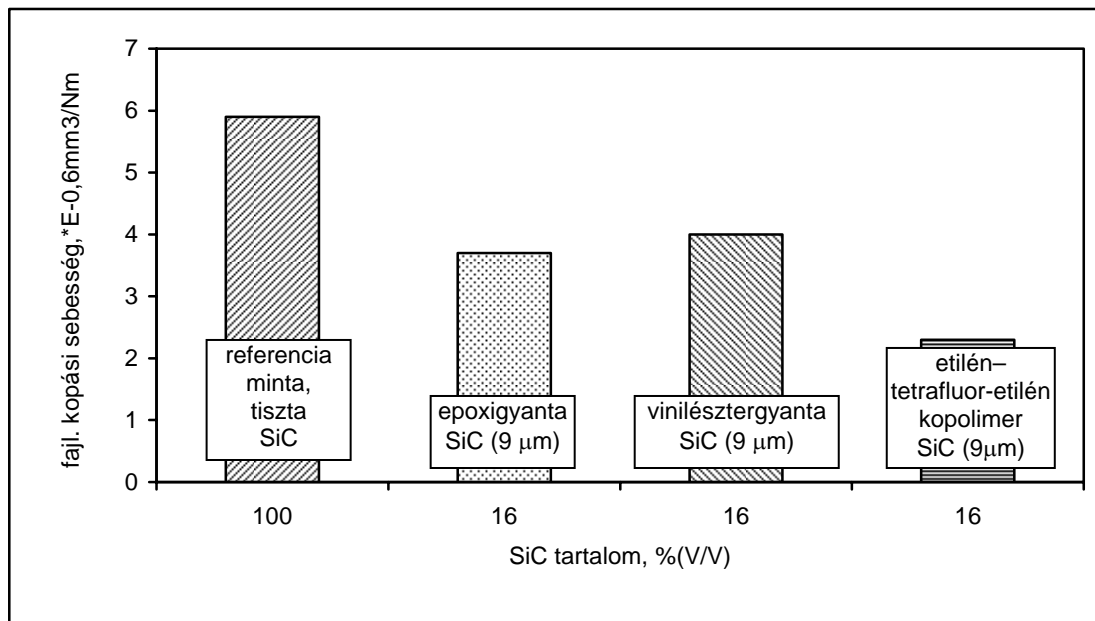
Az 1. táblázatban bemutatott méréssorozat folytatásaként előállított végső csapágyanyagok összetétele

| Szám | Polimer | Szénszál, %(V/V) | Grafit, %(V/V) | SiC, %(V/V) |
|------|------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
| 9 | epoxigyanta | 10 | 10 | 16 (9 μm) |
| 10 | vinilésztergyanta | 10 | 10 | 16 (9 μm) |
| 11 | etilén–tetrafluor-etilén kopolimer | 10 | 10 | 16 (9 μm) |
| 12 | tiszta SiC (referencia) | – | – | – |



1. ábra A 2. táblázatban bemutatott összetételű minták kopási vizsgálatának eredményei (polimer próbatest SiC gyűrűvel szemben, száraz súrlódó felületek).
Polimer próbatest elrendezés, $p = 1 \text{ MPa}$, $v = 1 \text{ m/s}$, $t = 20 \text{ h}$,
száraz súrlódó érintkezés SiC ellenfelülettel

Kent felületek súrlódásánál, ha koptató közeg is jelen volt, a SiC adaléknak igen pozitív hatása volt: nagyságrendekkel csökkentette a kopás mértékét. Itt (szemben a nem kent felületekkel) a durvább SiC adalék bizonyult hatásosabbnak (a nagyobb szemcsék nehezebben voltak eltávolíthatók a mátrixból, mint a kisebbek). Ha wollastonitot tartalmazó koptató közeget alkalmaztak, a 12% SiC tartalmú rendszerrel és a tiszta SiC tömb esetében a kopás mérhetően kicsivé vált.



2. ábra A 2. táblázatban bemutatott összetételű minták kopási vizsgálatának eredményei polimer próbatest gyémánszemcsével borított gyűrűvel szemben, vízben.

Polimer próbatest/gyűrű elrendezés, $p = 0,5$ MPa, $v = 0,5$ m/s, $t = 30$ s,

Egyéb feltételek: súrlódó érintkezés: koptató (abrazív); közeg: víz; érintkező felület gyémánt koptatógyűrű, szemcseméret kb. $12 \mu\text{m}$

Végül a 2. táblázatban ismertetett összetételű, különböző mátrixban elhelyezett kombinált töltőanyagokat tartalmazó kompozitok kopási jellemzőit vetették össze a tiszta SiC kopásával száraz, nem kent súrlódó felületek esetében (1. ábra) és koptató felülettel (2. ábra) szemben. Az eredményekből az derül ki, hogy a kompozitok a tiszta SiC-nél kedvezőbb viselkedést mutattak, és az is látszik, hogy a mátrixanyagtól való függetlenség feltételezése csak bizonyos határok között érvényes: a száraz kontaktus esetében a vinilészteres, a nedves kontaktus esetében az ETFE mátrixú minta adta a legkisebb kopást, bár az utóbbi esetben az eltérések a viszonylag nagyobb szórás miatt nem szignifikánsak.

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

Höltkeimer, U.: Kunststoff statt Plastik. = Konstruktionspraxis Spezial, 2006. márc. p. 12–16.
Baus, G.: Wartungsfrei um die Welt. = Verfahrenstechnik, 40. k. 5. sz. 2006. p. 96–97.
Prehn, R.; Hauptert, F.; Friedrich, K.: Polymere Verbundwerkstoff-Gleitlager für aggressive und abrasiven Medien. = Tribologie + Schmierungstechnik, 53. k. 2. sz. 2006. p. 10–15.