

MŰANYAGOK ALKALMAZÁSA

PTFE és kompozitjainak alkalmazása forgó tengely tömítésként abrúziós környezetben, űrtechnikai megoldásoknál

Hivatkozás: Kalácska G., Barkó Gy.; Space mechanisms workshop and final presentation days, ESA ESTEC, Noordwijk, Hollandia, 2024, március 11–13.

Tárgyszavak: 1. Alkalmazás 2. 3.
4. Poli(tetrafluor-etilén) 5. Tömítés 6. Kopásállóság

Az Európai Űrügynökség (ESA) által finanszírozott kutatások témáiból az ESTEC szervezésében rendezett nemzetközi konferencián nagy szakmai sikert és elismerést aratott az a magyar kutatás, melynek témája a marsi és holdi közegben működő forgó tengelyek tömítési problémáinak megértése, modellezése. A gondot a marsi és holdporok (regolitok) agresszív koptató hatása, abrúziója jelenti. A regolitok összetétele és frakció-mérete jelentősen eltérő a származási helyének megfelelően, így a stabil gépészeti berendezések (helyhez, régióhoz kötött) űrtechnikai alkalmazásánál a domináns regolit koptató hatására kell az adott géprendszer súrlódó (tribológiai) jellemzőit feltárni és a rendszert optimalizálni.

Jelenleg a marsi technikai követelményeknek ($-150...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, kis nyomású gázkeverékből álló ritka légkör, sugárzás) viszonylag kevés szerkezeti anyag felel meg. Holdi körülmények között ennél is korlátozottabbak a lehetőségek. Tengelytömítési megoldásra az ESA a PTFE és PTFE-kompozit tömítéseket tartja az egyik legmegbízhatóbb anyagcsaládnak. A rugós tömítőgyűrű gépelemcsaládból két alapanyag – natúr PTFE és PTFE/15%GF+5%MoS₂ kompozit került kiválasztásra, míg a zsinóros tengelytömítés esetén a natúr PTFE mellett aramid szálakkal erősített, szilárd kenőanyaggal és viasszal töltött PTFE hibridkompozit került vizsgálatra.

Forgó tengelynek pedig rozsdamentes acél (1.4404 (EN)) és kemény-eloxált felületű, nagyszilárdságú, a repüléstechnikában használatos alumínium ötvözet (EN AW 7075) került kiválasztásra.

A kutatásokban olyan marsi és hold regolitok kerültek kiválasztásra (mesterséges szimuláns anyagok, Exolith Lab, USA), melyek reprezentatívak bármilyen emberi űrtevékenység várható helyszínéhez. Két marsi regolit szimuláns: MGS1 (Martian Global Simulant) és JEZ1 (Jezero kráter). Két holdi regolit: LHS1 (Lunar Highland Simulant) és LMS1 (Lunar Mare Simulant). A marsi és holdi regolitok mineralógiája, méreteloszlása, kémiai és frakció összetétele is eltérő.

A kopásvizsgálati mérések két eltérő tribológiai rendszerben történtek: egyszerű anyagminta vizsgálatok pin-on-disc tribo-teszteren, ahol a polimer tömítésanyagból kimunkált minták regolittal fedett fém felületen csúsznak, laboratóriumi rögzített körülmények (terhelés, csúszási sebesség, hőmérséklet...) esetén. A másik rendszer már valós gépelem (polimer tömítések és fém tengelyek) mérési rendszere volt (ún. sand-pot), ahol a forgó tengely tömítésére szabadon hullanak rá a regolit szemcsék, abrúziósan károsítva a polimer- és fém felületeket. Itt a mérések már száraz CO₂ és N₂ gáz atmoszférában történtek.

A forgó tengely és a polimer tömítés közé bejutó szemcsék mozgása és viselkedése nagyon összetett, melyet a szakirodalom a „harmadik-test” abrúziós mechanizmus névvel illet. A kemény szemcsék a felületek közé bejutva csúsznak-gördülnek, egymáshoz tapadnak majd széttöredeznek, mialatt egy jelentős részük be-tapad és beágyazódik a lágyabb polimer (esetleg fém) felületbe. Ezalatt a szerkezeti felületek topográfiáját, mikrogeometriáját átalakítják: rugalmas és képlékeny deformálás, barázdaképződés és mikroforgácsolás (abrúziós kopás) jelentkezik. A vizsgálatok alapján néhány érdekes új információ az űreszközök fejlesztéséhez (aktuátor-, robot tengelyek, szerszámok, forgó energiatermelő egységek, stb.) röviden, egyszerűsítve az alábbiakban foglalható össze:

- A különböző regolitok jelentősen eltérő felületi sérüléseket, azaz műszaki megbízhatóságot eredményeztek, tehát érdemes a tervezett alkalmazási körülményekhez (helyhez) optimalizálni az abrúziós hatásnak kitett tengelytömítés-rendszereket.

- Rozsdamentes acél tengellyel szemben, rugós tömítőgyűrűknél a natúr PTFE általában kedvezőbb sűrűlódást eredményezett, mint a kompozit változat. A natúr PTFE esetén viszont nagyobb volt a regolit szemcsék beágyazódása, ami idővel felgyorsult kopást eredményez. A kompozit tömítésnél a sűrűlódást jobban befolyásolta a regolit szemcsék jelenléte, sűrűlódási instabilitást okozva az acél és polimer között („harmadik-test” szemcse mechanizmus).
 - A keményebb felületű, eloxált alumínium tengelyen a kompozit PTFE rugós tömítőgyűrű kevésbé sérült, mint acél felületen akár a natúr, akár a kompozit PTFE.
 - A zsinóros tömítéseknél is jól elemezhető volt a „harmadik-test” abrúziós jelenség, melyet a tömítés alatti nyomatókváltozás online mérése igazolt. Kedvező eredményt adott a natúr PTFE fonat acélon és alumíniumon egyaránt, de az önkenő hibridkompozit állt ellen leginkább az abrúziós igénybevételnek.
 - A regolitok eltérő abrúziós hatása is számszerűsíthető voltak 3D felülettopográfiai mérések alapján, mind a tengelyek, mind a polimer tömítések esetén: megállapítható, hogy a holdi regolitok sokkal agresszívabbak és a műszaki megbízhatóságot sokkal inkább veszélyeztetik, mint a marsi regolitok. Rangsorolva a kísérletek alapján, a legrosszabbtól a legkedvezőbbig az alábbi sorrend alakult ki: LMS1, LHS1, MGS1, JEZ1.
- Az elért eredmények (feldolgozva 1500 A4 oldal terjedelemben) további európai űrtechnikai kutatásokat generálnak, a projekt folytatódik további modellekkel (vákuum és hőhatás) eltérő szerkezeti- és regolit anyagokkal.

Cikk nyelve: angol/német

Készítette: dr. Kalácska Gábor