

Kenőanyag-tároló és -leadó képesség vizsgálata felújított alkatrészeknél

Dr. Fazekas Lajos

főiskolai docens, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar

A XXVII. Karbantartó Szimpóziumon elhangzott előadás szerkesztett változata

A hideg fémporózással felszört rétegek kenőanyag-tároló és kenőanyag-leadó képessége az alkatrészek hibátlan működésében jelentős szerepet játszanak. A porózus felszört felületek esetén a kenőanyag-tároló és -leadó képesség elsősorban a porozitással és felületi energiaviszonyokkal (adhéziós hajlam) van összefüggésben. Az adhéziós képesség közvetve is kifejezhető mérőszámmal is, azaz a felületi szabadenergia meghatározással.

BEVEZETÉS

A porózus felületek adhéziós képességének jelentősége a kenőanyag-tárolás és kenőanyag-leadás mechanizmusa szempontjából kerül előtérbe.

A porózus rétegekben végbemenő kapilláris hatást – amikor a felületi erők és jelenségek dominálnak a tömeghatások felett – az adhézió befolyásolja.

Az adhéziós képesség közvetve kifejezhető mérőszámmal is, a felületi szabadenergia meghatározással. Ennek elméleti alapja és meghatározási módszere a szakirodalomban tisztázott. (Farkas F. és Farkas F. J.) (1997) [1]

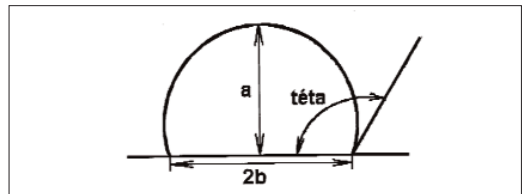
A felületi szabadenergia meghatározás egyik bevált lehetősége a csepp-próba vagy peremszögmérés. A módszerrel nemcsak a felületi szabadenergia mértéke határozható meg, hanem a szabványos cseppösszetételek alkalmazásával az is eldönthető, hogy hidrofíli vagy hidrofób-e az adott felület.

A **hidrofíli (vízkedvelő)**, illetve a **hidrofób (víztaszító)** anyagok a polaritásukban különböznek egymástól. **A hidrofíli anyagok polárosak, azaz bennük az elektromos töltések megoszlása nem egyenletes. A hidrofób anyagok apolárosak, azaz egyenletes töltéeloszlásúak.** Az apoláros kovalens kötésű vegyületekre, különösen a szénhidrogénekre (pl. olajokra) jellemző. A hidrofíli anyagok vízoldhatóak, a hidrofób anyagokat apoláros ol-

dószerekben lehet csak feloldani. Ez a felületek kenéstechnikája szempontjából kiemelten fontos. Vannak olyan alkalmazási helyek felszört tengelyfelületek esetében is (pl. mezőgazdasági vagy élelmiszer-ipari termékfeldolgozás), ahol a kenőhatást víz vagy pára biztosítja. Ekkor célszerű a **hidrofíli** felületet eredményező bevonatokat választani felszöráshoz. Klasszikus hajtómű alkalmazásoknál legtöbbször hajtóműolaj a kenőanyag, ekkor a kenőanyag-felvétel és -leadás szempontjából meghatározó a **hidrofób** felületi jelleg.

Ezek eldöntésére, a kenőanyag-feltevő és -leadó képesség meghatározása előtt tisztázni kell a felületi szabadenergia viszonyokat és a **hidrofíli-hidrofób** jellegét.

A folyadéklepergető hatást a peremszögek (a folyadékprofil szilárd felszínhez való illeszkedését jellemző szög a θ); (1. ábra) értékeinek meghatározásával és – amennyiben lehetséges – a felületi energiájának számításával jellemezzük. (Pászli I., Mohammedné Ziegler I.) (2005) [3]



1. ábra. A peremszög θ (más néven kontaktszög) értelmezése

A folyadék peremszögek (θ az egyensúlyi peremszög) 90° körüli vagy annál nagyobb értéke hidrofób felszínre utal, melyen jelentős folyadék-lepergető hatás várható.

SZÓRÁSRA ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIA

A **Castolin + Eutectic** által kifejlesztett hideg fémporózáshoz alkalmazott porokat használtam.

A kiválasztott porok és jellemzői:

- ♦ **DuroTec 19910**, szívós és kemény bevonat a dinamikus terhelhetőség kihasználására,
- ♦ **HardTec 19400**, kemény bevonat, abráziós hatások elleni védelemre,
- ♦ **LubroTec 19985**, kiemelt siklási követelményekre alkalmasak.

Meghatározó a porok összetétele, a főbb összetevők: **Ni, Cr, C, B, Si, Fe, Co, W** és ezek **karbidjai**.

A porötvözetekkel tesztfelületeket szórtam fel az eltérő szórási távolságoknak megfelelően, melyekkel öt-öt próbatestet készítve minden méréshez, a csepp-próba peremszögmérés elvégezhető volt. A szórási távolságok a csökkentett szórási távolság (100 mm, 140 mm), a normál szórási távolság, amit a forgalmazó javasol, 180 mm és a növelt szórási távolság (220 mm, 260 mm). A felszórás után semleges gázlánggal a felületi réteg beolvasztásra került csak épp egy záróréteg létrehozására, mely szükséges a peremszögmérési módszer elvégzéséhez (zárt, sík felület).

A **porózus réteg** miatt alapvető fontosságú, hogy az olaj mennyire nedvesíti a felületet, mert a kapilláris hatás miatt nagyban befolyásolja a **kenőanyag-felvételt**.

A felületi szabadenergia meghatározására az **Owens-Wendt** módszer került alkalmazásra, amennyiben mindkét folyadékkal értékelhető eredmény adódott, illetve a **Kwok-Neumann** módszer, amennyiben csak vízzel volt értékelhető eredmény.

A vizsgálatok során kiderült, hogy a szórási távolság hatását felületenergia-mérésnél nem lehet külön értékelni, mivel a felületen a porozitást egy beolvasztási művelettel meg kell szüntetni. A beolvasztott felületek között – adott porösszetételeknek megfelelően – gyakorlatilag ugyanaz a felület adódott, melynek energiaviszonyai is megegyeznek. A továbbiakban a normál szórási távolságok esetén készült csepppróbák eredményeit – mint az adott porötvözet reprezentatív példányát – mutatom be.

NEDVESEDÉSI PEREMSZÖGMÉRÉS

A nedvesedési peremszögmérések egy SEE System (Advex Instruments, Cseh Köztársaság) típusú berendezéssel, ún. statikus ülő csepp módszerrel, **kétszer desztillált vízzel** és **dijód-metánnal (CH₂I₂)** (ReagentPlus, 99%, Sigma-Ald-

rich), 23 °C-on lettek végrehajtva. 2 µl-es cseppek Hamilton fecskendővel lettek a próbatestek felületére juttatva. Mindegyik mérési pont 5 db, száraz felületre felvitt független mérés átlagának az eredménye.

1. táblázat. Méréshez használt folyadékok néhány sajátos fizikai jellemzői

Folyadék	Sűrűség (kg/m ³)	Viszkozitás (mPa.s)
Víz	1000	1,00
Dijód-metán	3325	2.80

DuroTec 19910

A **2/a ábra** a **DuroTec 19910** porötvözet beolvasztott felületén ülő vízcseppet, míg az **2/b ábra** a dijód-metán cseppet szemlélteti.



2/a ábra. Ülő vízcsepp a felületen



2/b ábra. Ülő dijód-metán csepp a felületen

A megfelelő peremszögek átlaga rendre:

$$\Theta_{\text{víz}} = (50 \pm 2)^\circ$$

$$\Theta_{\text{DIM}} = (30 \pm 7)^\circ$$

Az ülő vízcsepp peremszöge alapján számított felületi szabadenergia:

$$Y_{\text{Kwok-Neumann}} = 50,6 \text{ mJ/m}^2.$$

A vízcsepp és dijód-metán csepp peremszögei alapján számított teljes felületi szabadenergia és annak poláris és diszperzív komponensei:

$$Y_{\text{tot, Owens-Wendt}} = 57,0 \text{ mJ/m}^2$$

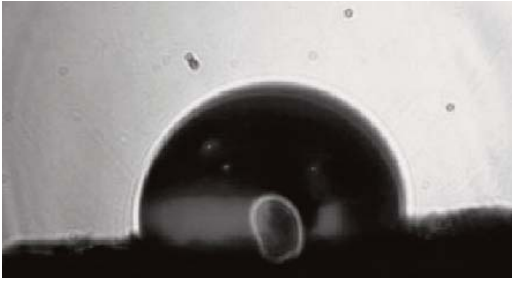
$$Y_{\text{pol,Owens-Wendt}} = 14,4 \text{ mJ/m}^2$$

$$Y_{\text{dis,Owens-Wendt}} = 42,7 \text{ mJ/m}^2$$

Ezek alapján a felület hidrofílnak, azaz „víz-szeretőnek” tekinthető.

HardTec 19400

A 3. ábra a **HardTec 19400** porótvözet beolvasztott felületén ülő vízcseppet szemlélteti.



3. ábra. HardTec 19400 porótvözet beolvasztott felületén ülő vízcsepp

A 3. ábrán láthatóhoz hasonló, öt csepp peremszögeinek átlaga:

$$\Theta_{\text{víz}} = (86 \pm 7)^\circ$$

Dijód-metánnal nem lehetett mérést végezni a felületen, mert annak cseppje azonnal elterült rajta. Az ülő vízcsepp peremszöge alapján számított felületi szabadenergiája:

$$Y_{\text{Kwok-Neumann}} = 33,3 \text{ mJ/m}^2$$

Ezek alapján a felület még kissé hidrofílnak tekinthető.

Meg kell jegyezni, hogy a felületi érdesség miatt a mért peremszögek és a belőlük számított felületi szabadenergiák csak közelítő értékeknek tekinthetők, mivel ismeretes, hogy az érdesség az ún. Wenzel-egyenlet:

$\cos \Theta_{\text{látszólagos}} = R \cos \Theta_{\text{valódi}}$
szerint befolyásolja a peremszög értékét, ahol $R = (\text{valódi felület nagysága}) / (\text{síkba vetített felület nagysága})$.

Ebből az is következik, hogy:

$-\Theta_{\text{valódi}} < 90^\circ$ esetén a mért peremszög értéke,

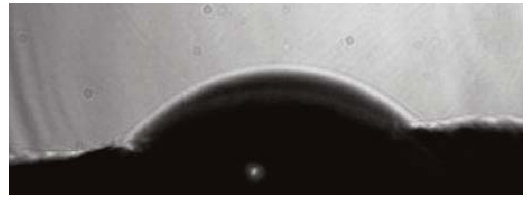
$$\Theta_{\text{látszólagos}} < \Theta_{\text{valódi}}$$

$-\Theta_{\text{valódi}} > 90^\circ$ esetén a mért peremszög értéke,

$$\Theta_{\text{látszólagos}} > \Theta_{\text{valódi}}$$

LubroTec 19985

A 4/a ábra a **LubroTec 19985** porótvözet beolvasztott felületén ülő vízcseppet, míg a 4/b ábra a dijód-metán cseppet szemlélteti.



4/a ábra. Ülő vízcsepp a LubroTec felületen



4/b ábra. Ülő dijód-metán csepp a LubroTec felületen

A megfelelő peremszögek és szabadenergiák:

$$\Theta_{\text{víz}} = (106 \pm 7)^\circ,$$

$$Y_{\text{Kwok-Neumann}} = 19,5 \text{ mJ/m}^2$$

$$\Theta_{\text{DIM}} = (36 \pm 6)^\circ,$$

$$Y_{\text{tot,Owens-Wendt}} = 41,3 \text{ mJ/m}^2$$

$$Y_{\text{pol,Owens-Wendt}} = 41,1 \text{ mJ/m}^2$$

$$Y_{\text{dis,Owens-Wendt}} = 0,2 \text{ mJ/m}^2$$

Ezek a felületek hidrofóbnak tekinthetők.

A KENŐANYAG-FELVEVŐ ÉS -LEADÓ KÉPESSÉG

Pellényi (1997) [2] tézisszerűen megfogalmazta elméletét, és kidolgozta módszerét annak, hogyan kell értelmezni és mérni porózus, azaz nedvszívó képességgel rendelkező anyagok kenőanyag-leadó képességét. Elméletét és módszerét mezőgazdasági gépekben alkalmazott ragasztott szerkezetű facsapágyakra dolgozta ki, de az alapelv érvényesíthető minden porózus réteg esetében, mint pl. a hideg fém-porszórt rétegek esetében. Erre vonatkozó tudományos igényű, megalapozott eredmények és összefüggések a szakirodalomban nem találhatók.

Pellényi (1997) [2] gyakorlati tapasztalatai és a laboratóriumi vizsgálatai is egyértelműen igazolták, hogy a facsapágyak várható élettartama

alapvetően a csapágy kenőanyag-leadó képességével függ össze.

A facsapágyak kenőanyag-leadó képességére -k-, a következő összefüggést vezette be:

$$\kappa = \frac{M_{ki}}{M_E} \cdot 100[\%]$$

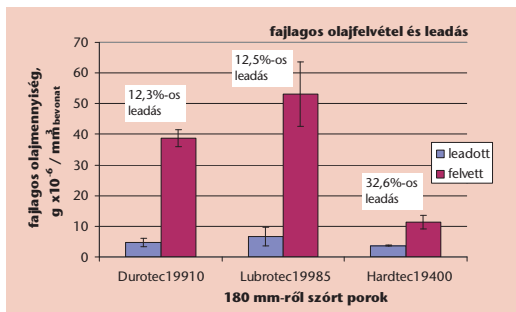
ahol: M_{ki} - a kifolyt kenőanyag tömege [g]
 M_E - az eredeti vizsgált csapágyanyag tömege [g]

Ez a jellemző jól mérhető, a mérési eredmények matematikai statisztikai módszerekkel feldolgozhatók.

Ezt az alapelvet követve végeztem el a szórt próbatest mintákkal kísérleteimet.

Az 5. ábra a 180 mm-ről szórt próbatestek olajfelvételi és -leadási eredményeit szemlélteti. Az oszlopokon feltüntetett hibásávok a $\pm 2\sigma$ mérettartományt, azaz 95%-os méretszóródási tartományt jelölik.

A Bevezetésben ismertetett, szórt réteg adhéziós képessége, felületi szabadenergia eredményei és az 5. ábra eredményei közötti összefüggések fogalmazhatók meg.



5. ábra. 180 mm szórás távolságból felvitt bevonatok kenőolaj-felvevő és -leadó képessége
 ΔT vizsgálati intervallum 60°C, (20°C → 80°C → 20°C)

♦ A **LubroTec 19985** bevonat a cseppelemzés alapján **hidrofób** bevonatnak minősült, ami azt jelenti, hogy könnyedén vesz fel olajat, apoláros jellegű a felület viselkedése. Ha hidrofób, akkor viszont az olaj leadása nehezebb. Az 5. ábra egyértelműen mutatja, hogy a **hidrofób** bevonat kimagaslóan nagy mennyiségű olajat volt képes felvenni 1 mm³ bevonati térfogatra vonatkoztatva, és valóban kevés, csak 12,5%-os leadásra volt képes.

♦ A **HardTec 19400** és **DuroTec 19910**: mindkét bevonat felületi szabadenergia értékei alapján inkább a **hidrofil** kategóriába, azaz a „vízszerető” csoportba sorolható. Az 5. ábrán látható, hogy a **hidrofil** porózus bevonatok olajfelvevő képessége jelentősen elmarad – főleg a **HardTec 19400** esetén – a hidrofób **LubroTec 19985**-től. A **hidrofil** jelleg viszont segíti az olaj leadását elméletileg, mely szintén beigazolódtott a **HardTec 19400** réteg által, ahol a nehezen felvett kevés olaj 32,6%-a sikeresen leadódott.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 180 mm-es szórás távolság eredményeiből megfogalmazható, hogy a pontosan elvégzett cseppelemzés és felületi energia meghatározás alapján a **hidrofil** és **hidrofób** jelleg tájékoztatást ad a kenőanyag-felvevő és -leadó képességről. Figyelembe véve az 1 mm³ porózus rétegre vonatkoztatott, mért kenőolaj-tömegeket, a legkedvezőbb a nagy olajfelvételt biztosító **hidrofób** bevonat, annak ellenére, hogy ott a kenőanyag-leadás alig haladja meg a **10%-ot**. Ez végeredményben még mindig kedvezőbb, mint a hidrofil réteg nagyobb kenőanyagleadó képessége (10–30%) alacsonyabb olajfelvétel esetén.

További előny a **hidrofób** bevonat esetén, hogy a rétegben nagyobb kenőolaj-tartalom marad, ami a kopási folyamatok során folyamatosan a felszínre tud kerülni, és csökkenti a tribológiai veszteségeket.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Farkas F., Farkas F. J. (1997): Ragasztási kézikönyv, Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- [2] Pellényi L. (1997): Mezőgazdasági gépek korszerű ragasztott önkenő facsapágyainak tribológiai és mechanikai paraméterei. PhD. Dolgozat. Gödöllő, 1997
- [3] Pászli I., Mohammedné Ziegler I.: A peremszögmérések alternatív értelmezéséről. Magyar Kémiai Folyóirat – Közlemények 111. évf., 2. szám, 2005. június. p. 79–82.