



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2025)



Hidrogénezett DLC bevonat súrlódási vizsgálata polipropilén homopolimer anyagpár esetén

Study of the friction coefficient of a DLC coating (a-C:H) against a polymer (PP) counterface

¹Kohlheb Róbert, ²Varga Viktória Annamária, ²Réger Mihály, ²Horváth Richárd

¹Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, kohlheb.robert@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, horvath.richard@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Jelen kutatás célja DLC (Diamond-Like Carbon) bevonattal ellátott próbatest súrlódási vizsgálata polipropilén (PP) anyagpár esetében eltérő sebesség és azonos felületi nyomás mellett. A kutatás során alkalmazott bevonattípus hidrogénezett amorf szén (a-C:H) DLC volt, mely nemesített 42CrMo4 próbatestre került felvitelre. A vizsgálat három különböző sebesség (5–50–500 mm/min) alkalmazásával valósult meg, a felületi nyomás 2 MPa volt mindhárom esetben. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a súrlódási sebesség, mind a statikus (μ_0) mind pedig a dinamikus (μ_{din}) súrlódási tényező esetében jelentős hatást gyakorol.

Kulcsszavak: DLC bevonat, súrlódási együttható, csúszási sebesség

Abstract

The aim of the present study is to investigate the friction behavior of a DLC (Diamond-Like Carbon) coated specimen against a polypropylene (PP) counterpart under varying sliding speeds and constant contact pressure. The applied coating was a hydrogenated amorphous carbon (a-C:H) DLC deposited on a quenched and tempered 42CrMo4 substrate. The experiments were carried out at three different sliding speeds (5–50–500 mm/min), while the contact pressure was maintained at 2 MPa in all cases. The results indicate that sliding speed has a significant influence on both the static (μ_0) and dynamic (μ_{dyn}) coefficients of friction.

Keywords: DLC coating, coefficient of friction, sliding speed

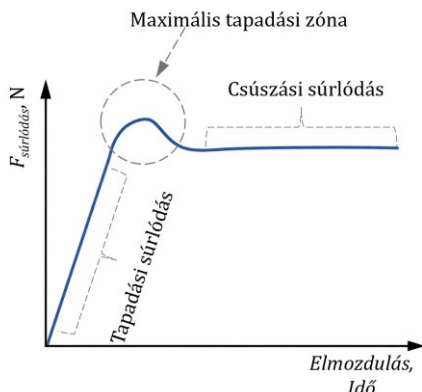
1 Bevezetés

A DLC bevonatok egyik kiemelkedő előnye a kiváló felületi minőségükből adódó alacsony súrlódási együttható. A szakirodalom széleskörben kiterjed a DLC bevonatok súrlódásának vizsgálatára, amennyiben DLC–DLC, illetve DLC–fém anyagpárról van szó. Azonban a DLC-polimer anyagpárokra vonatkozó releváns kutatások csupán elszórtan jellemzők. DLC bevonat és polimer kapcsolat létre jöhet többek között biomedikai alkalmazásban protézisek esetén, ahol a kopás- és korrózióállóság, valamint az alacsony súrlódás kiemelten fontos. [1]

A DLC bevonatok súrlódási viszonyai nagyban függenek a DLC bevonat hidrogéntartalmától

[2], vagy más hozzáadott kémiai elem(ek) jelenlététől (pl.: szilícium, oxigén és különböző fémek) [3], valamint a környezet relatív páratartalmától [4] és az eltérő környezeti közegektől (pl.: H_2O , O_2 , N_2) [5].

A súrlódás úgy definiálható, mint két erő hányadosa: az egyik merőlegesen (normál elő), a másik pedig párhuzamosan (súrlódási erő) hat két test érintkezési felületére, amikor azok relatív mozgásban vannak, vagy annak határán állnak.. Ebből adódóan, az 1. ábra alapján kétféle súrlódási tényező határozható meg.



1. ábra Klasszikus súrlódási erő változási görbe az idő vagy elmozdulás függvényében

A statikus (μ_0) és a dinamikus (μ_{din}) súrlódási tényező értéke (1. ábra alapján) a következő módon definiálható:

$$\mu_0 = \frac{F_{súrlódás_max}}{F_{terhelés}} \quad (1)$$

ahol, $F_{súrlódás_max}$ a regisztrált érték maximuma (itt a vonszolási sebesség lokális értéke közel zérus). A dinamikus súrlódási tényező pedig, ahol a súrlódási sebesség állandó értéket vesz fel:

$$\mu_{din} = \frac{F_{súrlódás}}{F_{terhelés}} \quad (2)$$

ahol, $F_{súrlódás}$ a regisztrált érték közel állandósult állapota (csúszási súrlódás – ld. 1. ábra).

Jelen kutatás célja annak meghatározása, hogy a bevonat súrlódási tényezőjét miként befolyásolja az eltérő sebesség, illetve az eltérő felületi nyomás alkalmazása a vizsgálat során. A vizsgálat során alkalmazott anyagpár polipropilén volt.

2 Anyagok és módszerek

2.1 Súrlódási kísérletekben használt anyagpár és kísérleti beállítások

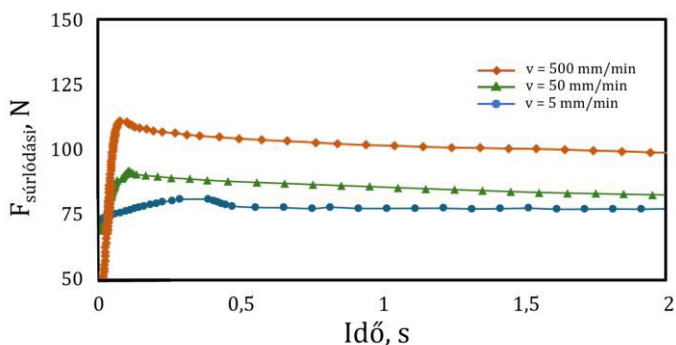
A súrlódási kísérletben köszörült felületű nemesített 42CrMo4 acél próbatestre (melynek méretei: 18 mm×18 mm×150 mm) felvitt hidrogénezett amorf szén (a-C:H) DLC bevonatot és esztergált polipropilén (PP) ($\varnothing=15$ mm) anyagpárt használtunk.

Az alkalmazott bevonattípus főbb tulajdonságai: rétegvastagság = 2 μm ; mikrokeménység = 1300 HV_{0,025}; a bevonat hidrogén tartalma: ~40%.

A súrlódási vizsgálatokat egy egyedileg fejlesztett súrlódást mérő berendezésen végeztük, mely szabadalmaztatás alatt van (patent pending). A kísérleti beállításokat 3 féle sebességen és három féle felületi nyomással végeztük el: $v = 5\text{--}50\text{--}500\text{ mm/min}$, valamint $p = 2\text{ MPa}$

3 Eredmények

A 2. ábra egy mérési eredmény sorozatot ismertet, melyből látszik, hogy hogyan alakulnak a súrlódási erő igények a súrlódási folyamat során, különböző sebesség és azonos felületi terhelés (2 MPa) alkalmazásánál.



2. ábra Súrlódási erő igények eltérő sebességek esetében

Az 1. ábra magyarázata alapján minden mérési pont erő regisztrátumai alapján (2. ábra) az (1) egyenlet segítségével meghatároztuk a statikus (μ_0) és a dinamikus (μ_{din}) súrlódási tényező értéket, melyeket az 1. táblázat ismertet.

1. táblázat μ_0 és μ_{din} alakulása eltérő sebesség mellett

	μ_0	μ_{din}
5 mm/min	0,242	0,216
50 mm/min	0,273	0,243
500 mm/min	0,319	0,285

4 Konklúzió

Ebben a cikkben hidrogénezett amorf szén (a-C:H) DLC bevonattal ellátott 42CrMo4 acél és polipropilén anyagpár súrlódási viselkedését vizsgáltuk eltérő súrlódási sebességek ($v = 5, 50$ és 500 mm/min) és azonos felületi nyomás ($p = 2\text{ MPa}$) mellett. A kísérleti eredmények alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- A súrlódási sebesség értéke mind a statikus (μ_0), mind a dinamikus (μ_{din}) súrlódási tényező esetén szignifikáns hatással van a vizsgált paramétertartományban.
- PP – DLC anyagpár súrlódási tényezője ($v = 5\text{--}50\text{--}500\text{ mm/min}$; $p = 2\text{ MPa}$ paraméter tartományban) ~0.2-0.35 közötti értékeket mutat.

Az eredmények alátámasztják, hogy a hidrogénezett DLC bevonatok polimer ellenpárral kombinálva potenciálisan alkalmazhatók olyan műszaki rendszerekben, ahol a kontrollálható súrlódás kiemelt követelmény, például biomedikai vagy gépészeti alkalmazások esetén. A további jövőbeni kutatások során indokolt lehet a kopási mechanizmusok részletes elemzése, valamint a hőmérséklet és a környezeti feltételek hatásának vizsgálata is.

5 Hivatkozások

- [1] Escudeiro, A., Wimmer, M. A., Polcar, T., & Cavaleiro, A. (2015). Tribological behavior of uncoated and DLC-coated CoCr and Ti-alloys in contact with UHMWPE and PEEK counterbodies. *Tribology International*, 89, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.02.002>
- [2] Donnet, C., Fontaine, J., Grill, A., & Le Mogne, T. J. T. L. (2001). The role of hydrogen on the friction mechanism of diamond-like carbon films. *Tribology Letters*, 9(3), 137-142. <https://doi.org/10.1023/A:1018800719806>
- [3] Bewilogua, K., Bialuch, I., Brand, J., Keunecke, M., Ruske, H., Thomsen, H., ... & Wittorf, R. (2006). DLC based coatings for tribological applications. In *International Workshop on Application of Nanocrystalline Diamond Like Carbon Materials (IWancDLC) Kolkata*.
- [4] Shi, J., Gong, Z., Wang, Y., Gao, K., & Zhang, J. (2017). Friction and wear of hydrogenated and hydrogen-free diamond-like carbon films: relative humidity dependent character. *Applied Surface Science*, 422, 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.05.210>
- [5] Suzuki, M., Ohana, T., & Tanaka, A. (2004). Tribological properties of DLC films with different hydrogen contents in water environment. *Diamond and related materials*, 13(11-12), 2216-2220. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2004.06.023>