



Betétedzett DLC bevonattal rendelkező darabok vizsgálata Daimler-Benz eljárással

Daimler-Benz testing of case-hardened and DLC coated parts

¹Pócsik György, ²Oláh Ferenc, ¹Havasréti Kristóf, ¹Horváth Richárd

¹Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, pocsik.gyorgy@uni-obuda.hu; havasreti@gmail.com, horvath.richard@uni-obuda.hu;

²Óbudai Egyetem Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, olah.ferenc@uni-obuda.hu

Összefoglalás

Jelen kutatás célja az iparban előszeretettel használt felületkezelő módszer vizsgálata. A betétedzés és a PVD eljárások együttes alkalmazása igen elterjedt, így elemzésük, és kölcsönös viselkedésük megismerése kiemelt fontosságú célt jelent. A kutatásban a már ismertetett duplex felületkezelési eljárás Daimler-Benz eljárással való vizsgálata valósul meg, mely segítségével megismerhetővé válik a támaszréteg és a DLC bevonat együttes viselkedése, illetve az ezek közti összefüggések.

Kulcsszavak: Daimler-Benz vizsgálat, betétedzés, DLC, duplex felületkezelési eljárások

Abstract

The aim of the research is to investigate a surface treatment method that is commonly used in the industry. The combined use of case-hardening and PVD processes is widespread, so their analysis and understanding of their mutual behaviour is a high priority. In this research, the duplex surface treatment process described above will be investigated using the Daimler-Benz method, which will provide insight into the joint behaviour of the support layer and the DLC coating and the interrelationships between them.

Keywords: Daimler-Benz method, case-hardening, DLC, duplex surface treatment processes

1. Bevezetés

A világgazdaságban jelentős szerepet töltenek be a felületkezelő és a hőkezelési eljárások. Az ipar legtöbb szegmensében (pl.: autóipar, repülőipar, szerszámgyártás) alkalmazott technológiák a felületek keménységét növelő eljárás csoportok, melyek közé tartozik a betétedzés is [1]. A betétedzés két műveletből áll, a felületi réteg karbonnal való dúsításából (cementálás), illetve a darab edzéséből, mellyel növelt felületi keménység, és nagyobb kopásállóság érhető el. A létrehozott réteg a felülettől számított megközelítőleg 2 mm vastagságú lehet, keménysége akár a 65 HRC-t is elérheti, így akár bevonatok támaszrétegeként is viselkedhet. Jellemzően 2%-ot meg nem haladó szén tartalmú acéloknál alkalmazható, mely biztosítja, hogy a magban ne jelenjen meg beedződés,

ezáltal biztosított legyen az alkatrész belső részeinek szívós viselkedése [2].

A felületek tribológiai tulajdonságainak javítása érdekében különböző bevonatok és bevonatolási technológiák kerültek kifejlesztésre, melyek közül elterjedten használtak a különböző PVD (Physical Vapor Deposition) eljárások (mint pl.: nitridálás (TiN, CrN, VN), , vagy akár a DLC (Diamond-Like Carbon) eljárások [3]. A kutatásban a betétedzés és a DLC bevonatok együttes tulajdonságainak vizsgálata történt. A DLC bevonatok kedvező tulajdonságai közé tartozik a nagy keménység, illetve a kiváló súrlódási és kopásállósági jellemzők, melyeket akár kenőanyagok jelenléte nélkül is képes elérni. Az említett előnyös tulajdonságai miatt az orvosi műszereknél és különböző gépészeti megoldásoknál (pl.: gépjárművek tüzelőanyagbefecskendezői, csapágyazások, hajtóműfogaskerekek) előszeretettel alkalmazzák. Létrehozása történhet ionsugaras leválasztással, katódporlasztással, vagy plazmával történő ionimplantációval. A művelet akár alacsonyabb hőmérsékleten is történhet (akár már 50°C-on is megfigyelhető a rétegnövekedés), amely biztosítja, hogy a bevonatolás előtti hőkezelési állapot ne változzon meg. A réteg létrehozásakor a DLC bevonat dőpolható (pl.: hidrogénnel, oxigénnel, nitrogénnel), mely elemek jelenléte és mennyisége változtatja a bevonat tulajdonságait, mely lehetőséget nyújt arra, hogy különböző alkalmazási területekre optimalizálhatóvá váljon a bevonat [4,5].

Jelen kutatás célja, hogy a DLC bevonat tapadási tulajdonságait és jellemző károsodási mechanizmusait vizsgálja a betétedzett kéregvastagság függvényében ún. Daimler-Benz adhéziós vizsgálat segítségével, illetve feltárja az ezek közti összefüggéseket.

2. Anyagok és módszerek

2.1 Az alapanyag bemutatása

A kísérletsorozatban szereplő alapanyag az iparban fogaskerekek és tengelyek gyártásánál gyakran használt 16MnCr5 (EN 1.7131, BC3), mely alacsony karbontartalmának köszönhetően betétedzésre kiválóan alkalmas. Összetételét az 1. táblázat mutatja be. Betétedzést követően ezen anyagtípus külső kérge magas keménységi értékekkel és kitűnő kopásállósággal rendelkezik, felületének tribológiai tulajdonságai tovább javíthatók PVD bevonatokkal, például DLC-vel. A próbatestek alapanyaga Ø36 mm-es köracél volt, ebből kerültek kialakításra a 8 mm vastagságú Ø30 mm-es darabok, melyek homlokfelületei köszörültek, palástfelületei esztergáltak.

1. táblázat A 16MnCr5 kémiai összetétele

Megnevezés	C, tf%	Si, tf% ≤	Mn, tf%	P, tf% ≤	S, tf% ≤	Cr, tf%
16MnCr5	0,14-0,19	0,40	1,00-1,30	0,025	0,035	0,80-1,10

2.2 Betétedzés technológiájának ismertetése

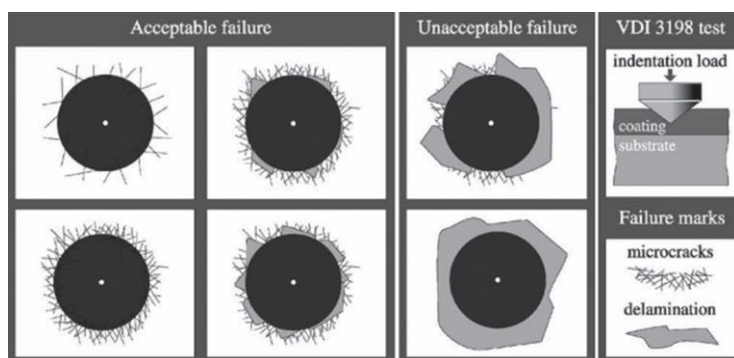
A technológia paraméterek változtatásával két jellemző rétegvastagságú próbatestsorozat került előállításra, melyek rendre 0,5 és 1,0 mm-esek. A használt betétedzési technológia hét lépésre osztható, melyek:

1. Felhevítés a cementálás hőmérsékletére
 - a. Endogázban; $c_p \approx 0,35 \rightarrow$ (Földgáz (metán, CH₄) – levegő = 2 CH₄ + O₂ + 3,76 N₂ $\rightarrow$ 2 CO + 4 H₂ + 3,76 N₂ = Összetétel: 20% CO, 40% H₂, 40% N₂)
2. Cementálás
 - a. 920-930°C
 - b. magas $c_p \approx 1,1$; szabályzás: + földgáz; - levegő
 - c. Idő: a teljes idő 2/3-a

3. Diffúzió
 - a. 920-930°C
 - b. alacsonyabb $c_p \approx 0,9$; szabályzás: + földgáz; - levegő
 - c. Idő: a teljes idő 1/3-a
4. Lehűtés edzési hőfokra + hőkiegyenlítés
 - a. alacsony $c_p \approx 0,8$; szabályzás: + földgáz; - levegő
 - b. Idő: 45 – 60 perc
5. Hűtés olajban
6. Mosás
7. Megeresztés: 170°C / 2 óra

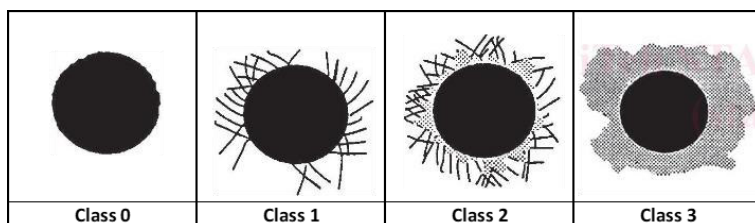
2.3 DLC bevonatok adhéziós tulajdonságainak vizsgálati módszerei

A DLC és egyéb bevonatok gyakori károsodási mechanizmusa a repedések megjelenése, lepattogás, illetve a gyenge adhézióból adódó bevonatleválás, ún. delamináció. Az adhéziós tulajdonságok tesztelésére az iparban is alkalmazott módszer a Daimler-Benz vizsgálat, mely Rockwell-C típusú indenterrel történik, 150 kg terhelőerő használata mellett [6]. A kiértékelés az 1. ábra alapján történhet.

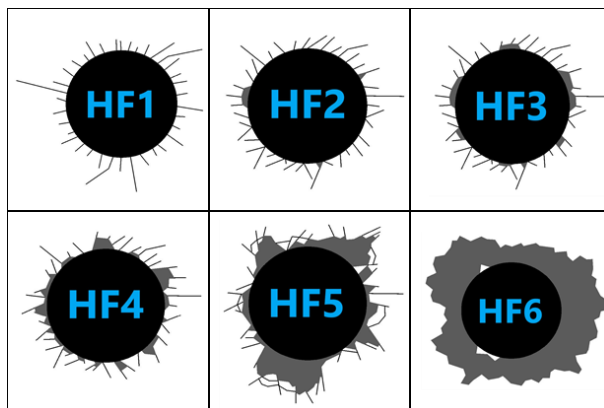


1. ábra A kiértékelést segítő táblázat a VDI 3198 szerint [7]

A 1. ábrán a baloldali két oszlop a még elfogadható sérüléseket mutatja, jobb oldalon a már nem elfogadható kategóriába tartozó károsodási formák kerültek. Azonban a vizsgálat kiértékelése több szabvány szerint is történhet, ilyen például a 2. ábrán látható ISO 26443:2023 szabvány [8], mely négy különböző károsodási osztályt különböztet meg, illetve a DIN 4856 szabvány [9], mely esetén HF1, HF2, HF3 és HF4 elfogadható, a HF5 illetve a HF6 már nem megfelelő adhéziót jelent.



2. ábra A kiértékelést segítő táblázat a ISO 26443:2023 szerint [8]

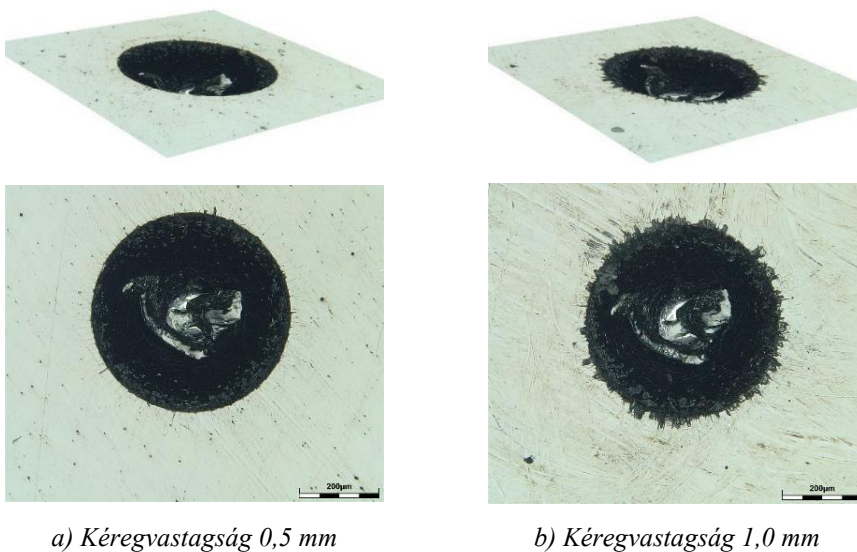


3. ábra A kiértékelést segítő táblázat a DIN 4856 szerint [9]

3. Eredmények

A kutatásban szereplő darabok és rétegvastagságok esetén a használt terhelőerő 150 kgf, mely eltér a szabványban [8] meghatározott 100 kg-os terheléstől, azonban a vizsgálatok szempontjából az eredmények szemléletesebb megjelenítése érdekében a terhelés növelésre került, ezzel növelve a bevonatkárosodás mértékét

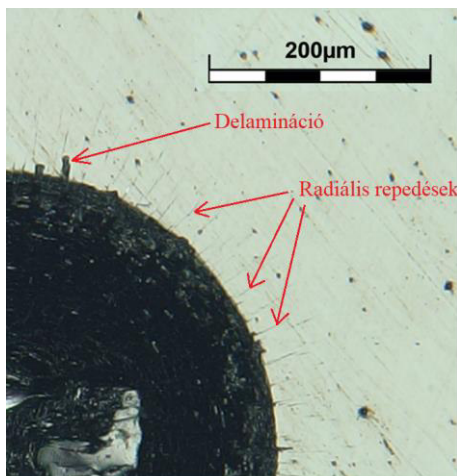
A Daimler-Benz adhéziós vizsgálat eredményeit a 4. ábra összesíti képek formájában.



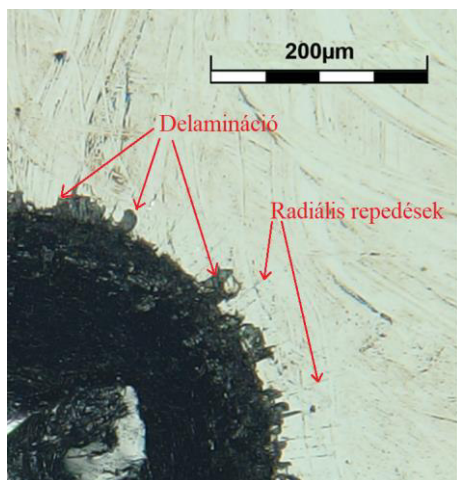
4. ábra Daimler-Benz adhéziós vizsgálat eredményei

A vizsgálatban szereplő két rétegvastagság esetén jelentős különbségek mutatkoztak meg. A 0,5 mm-es betétezett réteg esetén radiális repedések jelentkeztek, illetve enyhe delamináció figyelhető meg, melyet az 5. ábra részletesen ismertet. Az 1,0 mm-es kéreghez tartozó Daimler-

Benz vizsgálat részletesen elemzett képe a 6. ábrán található, ezen betétedzési mélység mellett jelentős delamináció jelentkezett, illetve itt is megjelentek a radiális repedések. Jelen kísérletsorozat esetén kijelenthető, hogy a nagyobb rétegvastagság esetén a károsodás mértéke szignifikánsan nagyobb. A delamináció és a DLC réteg lepattogzódása az 1,0 mm-es betétedzési mélység esetén DIN 4856 [9] szerint HF3-ba sorolható, míg a 0,5 mm-es darab esetén HF2-es besorolás adható. Mindezek alapján kijelenthető, hogy az adott próbadarabok esetén a növelt betétedzési mélység negatív hatással volt a DLC réteg adhéziós tulajdonságaira, azonban a kísérletsorozat további bővítése más betétedzési mélységű darabokkal jelentős többletinformációval szolgálhat.



5. ábra 0,5 mm-es betétedzett kéreghez tartozó Daimler-Benz vizsgálat részletes képe



6. ábra 1,0 mm-es betétedzett kéreghez tartozó Daimler-Benz vizsgálat részletes képe

Köszönetnyilvánítás

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM 2024-2.1.1 KÓDSZÁMÚ EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



4. Hivatkozások

- [1] Wołowiec-Korecka, E. (2023). Case hardening development review (2001-2020). *Archives of Materials Science and Engineering*, 120(2), 70-85.
- [2] Tóth, L., Nyikes, Z., & Mhatre, U. (2020). Szerszámacélok felületi kopásállóságának növelése felületkezeléssel. *Műszaki Tudományos Közlemények*, (13), 170-173.
- [3] Lukaszewicz, K. (2011). Review of nanocomposite thin films and coatings deposited by PVD and CVD technology. *Nanomaterials*, 145-163.
- [4] Yang, L., Li, T., Shang, B., Guo, L., Zhang, T., & Han, W. (2024). The Influence of Deposition Temperature on the Microscopic Process of Diamond-like Carbon (DLC) Film Deposition on a 2024 Aluminum Alloy Surface. *Crystals*, 14(11), 950.
- [5] Erdemir, A., Eryilmaz, O. L., Nilufer, I. B., & Fenske, G. R. (2000). Effect of source gas chemistry on tribological performance of diamond-like carbon films. *Diamond and Related Materials*, 9(3-6), 632-637.
- [6] Rodríguez-Castro, G. A., Jiménez-Tinoco, L. F., Méndez-Méndez, J. V., Arzate-Vázquez, I., Meneses-Amador, A., Martínez-Gutiérrez, H., & Campos-Silva, I. (2015). Damage mechanisms in AISI 304 borided steel: scratch and daimler-benz adhesion tests. *Materials Research*, 18, 1346-1353.
- [7] Zong, X., Jiang, W., & Fan, Z. (2018). Characteristics and wear performance of borided AISI 440C martensitic stainless steel. *Materials Express*, 8(6), 500-510.
- [8] ISO 26443:2023 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Rockwell indentation test for evaluation of adhesion of ceramic coatings, Published (Edition 2, 2023)
- [9] DIN 4856 Carbon-based films and other hard coatings - Rockwell penetration test to evaluate the adhesion standard by Deutsches Institut Für Normung E.V. (German National Standard), 02/01/2018