

MISKOLCI EGYETEM



DOKTORANDUSZOK FÓRUMA

Miskolc, 2017. november 16.



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
SZEKCIÓKIADVÁNYA

Kiadja: Miskolci Egyetem Tudományos és Nemzetközi Rektorhelyettesi Titkárság
 Kiadásért felelős: Prof. Dr. Kékesi Tamás rektorhelyettes
 Szerkesztette: Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella dékánhelyettes, Piller Imre tanársegéd
 Nyomda: ME Sokszorosító Üzeme
 Sokszorosításért felelős: Pásztor Erzsébet
 Nyomdaszám: TNRT.2018-409.ME.
 ISBN 978-963-358-166-7

Almaseidin, Mohammad Intrusion Detection Mechanisms Using Machine Learning Algorithms	1
Béres Miklós, Dr. Paripás Béla Csigafúró forgácsolás közbeni rezgéseinek vizsgálata lézer doppleres méréssel	7
Cservenák Ákos Vezető nélküli targonca programozása	13
Forgács Zsófia Intelligent Control- and Data Acquisition Methods with the Requirements of Industry 4.0	18
Fülöp Fruzsina Multiréteges kopásálló bevonatok komplex tribológiai vizsgálata	24
Gál Viktor, Dr. Kovács Péter Zoltán Nagyszilárdságú autópárai anyagok alakíthatósági vizsgálatainak numerikus modellezése	32
Juhász János, Dr. Bányai Tamás Intelligens szállítási rendszerek logisztikai vonatkozásai	38
Kállai Viktória, Dr. Szepesi L. Gábor Etán-etilén szétválasztó kolonna szimulációs vizsgálata	44
László Noémi Az Ashby-féle anyagválasztási koncepció alkalmazása járműipari lemezalkatrész tervezése esetén	50
L. Kiss Márton Különböző vezetéknélküli technológiák összehasonlító elemzése	58
Nagy Gábor, Dr. Bányainé Dr. Tóth Ágota, Dr. Illés Béla Hálózatszerűen működő vállalatok beszerzési logisztikai rendszerének hatáselemzése	63
Németh Alexandra Kitti Kopási modellek alkalmazása SPS gyártású Si_3N_4 /MLG nanokompozitok tribológiai viselkedésének jellemzésére	69
Patrik Máté, Dr. Szepesi L. Gábor, Dr. Jármai Károly Csőlkötéses hőcserélő csőoldali hőátadásának vizsgálata CFD szimulációval	76
Rabab, Benotmane; Benachenhou, Mohammed Redha; Dr. Dudás, László, Dr. Kovács, György Preliminary Study of 6 Axis Manipulator Arm	82
Rónai László Számítógépes mérés Erőmérő-cellával	91
Shiraz, Ahmed Siddiqui; Dr. Szilágyiné Dr. Biró, Andrea; Dr. Marosné Dr. Berkes, Mária Characterization of Scratching Behaviour of Surface Layers Produced on X49Cr13 Plastic Mould Tool Steel by Duplex Heat Treatment	97

MULTIRETEGES KOPASALLO BEVONATOK KOMPLEX TRIBOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Fülöp Fruzsina

BSc hallgató,

fulop.fruzsina@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

BEVEZETÉS

Napjainkban a járműipar az egyik legdinamikusabban fejlődő iparág, amelyben nagy jelentőségűek az alkatrészek megmunkálására használt szerszámok teljesítőképességének növelése érdekében alkalmazott különféle felülettechnológiák.

Ezek a szerszámanyagok jelentős koptató igénybevételnek vannak kitéve, miközben számos más elvárásnak is meg kell felelniük [1]. Többek között ellen kell állniuk a teljes térfogatra ható dinamikus igénybevételnek, tehát kellő szívóssággal kell rendelkezniük, amely csak a szerszám anyagának igénybevétel szerinti megválasztásával lehetséges.

A műszaki feltételek teljesítése mellett a gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve sokkal kedvezőbb lehet, ha az igen költséges kopásálló tömbi anyagok alkalmazása helyett csak a szerszám felületét módosítjuk hőkezeléssel, vagy valamilyen bevonat felvitelével [2].

Egy vezető hazai hőkezelő cégnél – amelynek fő profilja a bevonatkészítés, illetve a nitridálás – szakmai gyakorlatom alkalmával lehetőségem nyílt korszerű, nagy teljesítőképességű, a nemzetközi viszonylatban is egyre elterjedtebben alkalmazott szuperkemény bevonatok előállítási technológiájának és minősítési folyamatának megismerésére, továbbá saját kutatási feladatok végzésére. Ennek során különféle, az iparban használt bevonatrendszereket hasonlítottam össze.

Kutatómunkám célkitűzése, hogy egy ipari gyakorlatban elterjedten használt szerszámanyagon – Böhler K110, X153CrMoV12 – összehasonlítsam két különböző rétegszerkezetű, korszerű DLC (Diamond-Like-Carbon) bevonatrendszer kopásállóságát.

Munkám során az egyik vizsgált bevonat az ún. szilícium-alátétréteges DLC bevonat, továbbiakban (SiCH/DLC), a másik pedig egy Cr, CrN, WC és DLC rétegekből álló, a továbbiakban Cr/CrN/WC/DLC jelölésű multiréteges bevonat volt. A bevonatok jellemzésére és összehasonlítására karcvizsgálatot, Calotest vizsgálatot, ball-on-disc típusú kopásvizsgálatot, valamint Mercedes tesztet végeztem el.

A DLC BEVONATOK NÉHÁNY SAJÁTOSSÁGA

DLC bevonatok szerkezete, tulajdonságai

Az utóbbi években egyre gyakrabban alkalmazott Diamond-Like-Carbon bevonatok ún. önkenő bevonatok, amelyeket a nagy keménység (1500-3200 HV) mellett rendkívül kis súrlódási együttható jellemzi.

A DLC bevonat általában egy hordozó vagy alátét rétegből és egy külső, funkcionális, szennel dúsított, amorf rétegből áll. A hordozóréteg kiválasztásánál fontos szempont a kopás típusa, a tapadással kapcsolatos követelmények ismerete, az érintkező felületek típusa és geometriája, illetve egyéb fémtani szempontok.

A DLC bevonatfilmek szerkezete – a szubsztráttól a bevonat súrlódásnak kitétt, külső rétege felé haladva – három zónára osztható:

- az átmeneti zóna: a szubsztrát alkotóelemei karbonnal keveredve;
- a valódi DLC réteg sp3 kötésekkel;
- a grafitosabb vékony felületi réteg sp2 kötésekkel.

A lemezalakító szerszámok kopásállóságának növelése érdekében megjelentek a multiréteges bevonatok, amelyeknél nemcsak egyetlen alátétréteg van, hanem több különböző anyagból készült réteget is kialakítanak a külső DLC bevonat alatt. A TiN, TiAlN, TiBN, CrN és a WC a leggyakrabban alkalmazott keramikus anyagok a multiréteges bevonat elkészítéséhez.

A PACVD eljárás

Az általam vizsgált bevonatot ún. PACVD (Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition) eljárással készítették, ami plazmával segített kémiai gőzfázisú rétegleválasztást jelent. Ez a módszer a PVD (Physical Vapour Deposition) és CVD (Chemical Vapour Deposition) eljárások között képez átmenetet, ötvözve azok előnyeit. Az eljárás során plazma segítségével aktiválják a reagenseket, csökkentve így a CVD eljárásra jellemző magas bevonatképzési hőmérsékletet.

A PACVD eljárás során kis nyomású argongázban egyenáram, illetve rádiófrekvencia segítségével plazma alakul ki a bevonatolandó munkadarab körül, a gázmolekulák nagy része pedig az elektronütöközés hatására disszociálódik, ami következtében reakcióképes anyag jön létre [3].

Az eljárás további előnyei közé tartozik, hogy bonyolult térbeli alakzatokon is egyenletes bevonat készíthető, akár a munkadarab forgatása nélkül is, továbbá a kisebb hőmérsékletnek köszönhetően nagy geometriai pontosságú szubsztrát esetén sincs mérettorzulás, ezért nem szükséges utómegmunkálás alkalmazása [4].

A PACVD eljárással készült bevonatok alkalmazása környezetvédelmi szempontból is előnyös lehet, hiszen ún. „zöld” technológia, mind a kiindulási anyagok, mind pedig a folyamatok és a termékek tekintetében [5].

KÍSÉRLETI MUNKA

A vizsgált bevonatok mindkét típus esetében Böhler gyártmányú K110 jelölésű acél alapanyagra kerültek fel. Az anyag EN-számjele 1.2379, az összetételére utaló EN jelölése X153CrMoV12 [6].

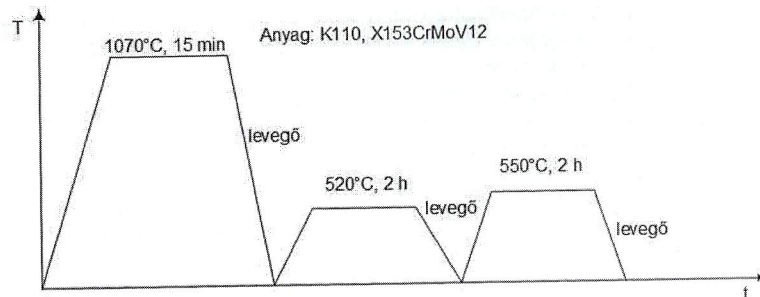
A próbatestek 20,8 mm átmérőjű rúdból készültek, amelyből még nyers állapotban gépi forgácsolással 20 mm magas hengereket daraboltak. Ezt követően a hengereket a homlokfelületen megköszörölték.

A következő lépés a hőkezelés volt, amely edzésből, majd kétlépcsős megeresztésből állt. A hőkezelés jellemző paramétereit az 1. ábra szemlélteti.

A hőkezelést követően üveggyöngyszórással (40-70 µm/4 bar) tisztították meg a felületet, amit a befejező lépés, a polírozás követett.

A vizsgált bevonatok

Az általam vizsgált bevonatok egyike szilícium-alátétréteges DLC (SiCH/DLC) bevonat. A bevonatot létrehozó eljárás első lépése az ún. „bias etching”, azaz reaktív ionokkal végzett maratási eljárás, amelynek célja a felületen lévő szennyeződések és oxidmaradványok eltávolítása [7].



1. ábra.
Az alapanyag hőkezelése

A folyamat során a bevonatolandó darabokba nagyfrekvenciájú áramot vezetnek. A nagy frekvenciának köszönhetően a darabok között plazma jött létre. Az ionbombázás Ar^+ ionokkal történt. Ezt követően megkezdődött a Si beáramoltatása a reakciótérbe. A DLC bevonat készítése előtt az elektromágneses tükör (P.E.M.S.) elé minden esetben védőlemez elhelyezése szükséges. Ezután megkezdődött az acetilén beáramoltatása a kamrába, amit a plazma C^+ és H^+ szabadgyökökre bontott.

A másik bevonat, amelyen vizsgálatokat végeztem, Cr/CrN/WC/DLC jelölésű multiréteges DLC bevonat volt. Ez a bevonatrendszer felépítését tekintve egymásra felvitt Cr, CrN, WC, illetve DLC rétegekből áll [8].

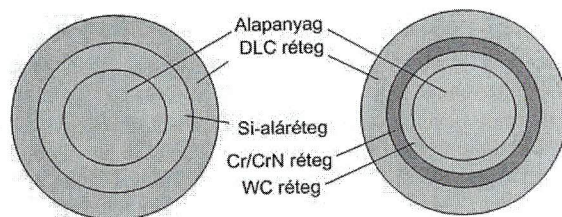
A SiCH/DLC-hez hasonlóan ennek a bevonatnak a készítése is reaktív ionmaratással kezdődött, azonban a bevonatolandó darabokba kisebb feszültségű nagyfrekvenciájú áramot vezettünk, továbbá egy mikrohullámú ágyú extra energiát szolgáltatott a rendszernek.

Ezt követően megkezdődött az egyes rétegek felvitele a felületre. Argon segítségével Cr ionok választódtak le az ún. targetról, a bevonat alapanyagául szolgáló lemezről. A bevonatolás során a targetbe csapódó Ar^+ ionok fémionokat választottak le belőle, amik aztán a plazmában keringve a munkadarabra csapódnak, bevonatot képezve annak felületén. A vékony króm réteg létrehozása után megkezdődött a nitrogén beáramoltatása a kamrába, miközben továbbra is krómot választottunk le a targetról. A folyamat célja lapközepes köbös kristályrácsú CrN létrehozása a felületen.

Ezt követően megkezdődött a WC leválasztása egy másik targetról, majd annak rétegszerű ráépülése az előző lépésben keletkezett CrN rétegre.

A legfelső, a DLC réteg létrehozásához itt is acetilént vezettünk a kamrába, ami a mikrohullám hatására plazma állapotba került és C^+ és H^+ gyökökre bomlott.

Az így készült bevonatok felépítését a 2. ábra illusztrálja.



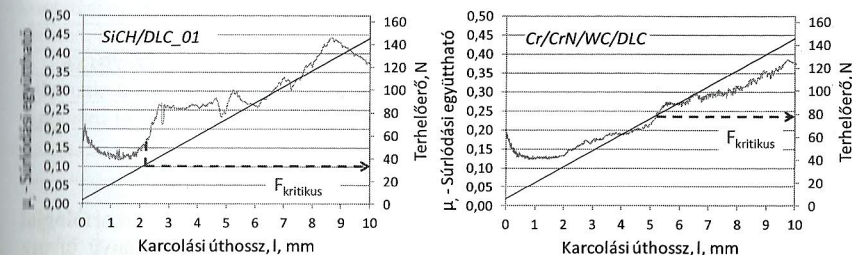
2. ábra.
SiCH/DLC (balra) és Cr/CrN/WC/DLC (jobbra) bevonatok felépítése

Az elvégzett vizsgálatok és eredmények

A bevonatok minősítésére karc- és kopásvizsgálatokat, gömbsüveg koptatásos vizsgálatot (Calotest), illetve az ún. Mercedes tesztet végeztem.

A karcvizsgálatot a Miskolci Egyetem Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet felületvizsgáló laboratóriumában található SP15 típusú karcvizsgáló berendezésen végeztem el. Az előkísérletek során 2 N induló- és 150 N végnyomóerőt alkalmaztam. A nyomóerő gradiense 15 N/mm volt, az asztalmazgatás sebessége pedig 5 mm/min. Az így keletkezett karcnyom hossza 10 mm volt.

A vizsgált bevonattípusok egy-egy jellemző karcdiagramját a 3. ábra mutatja.

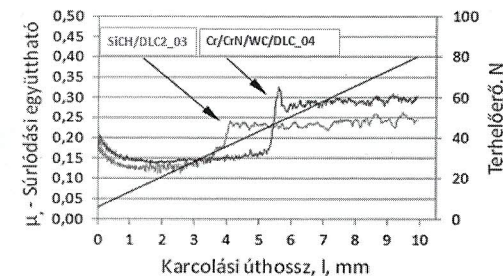


3. ábra.

SiCH/DLC (balra) és Cr/CrN/WC/DLC bevonat (jobbra) jellemző karcdiagramjai az előkísérletek során

Az előkísérletek során alkalmazott vizsgálati paraméterek esetén a kritikus erő értéke nem volt egyértelműen megállapítható, így a paraméterek módosítására volt szükség. A módosított vizsgálati paramétereket az alábbiak szerint határoztam meg: induló nyomóerő: 2 N, végnyomóerő: 90 N, nyomóerő gradiense: 9 N/mm, az asztal sebessége: 5 mm/min, a karcnyom hossza: 10 mm.

A módosított paraméterekkel kapott diagramok már egyértelműen kiértékelhetők voltak (4. ábra). A bevonatolt próbatesteken mért eredmények könnyen összehasonlíthatók a súrlódási együttható-karcási úthossz diagramokat elemzésével.



4. ábra.

SiCH/DLC és Cr/CrN/WC/DLC bevonat karcdiagramjainak összehasonlítása

Ha a vonatkozó diagramokat összevetjük, akkor megállapítható, hogy bizonyos szempontból hasonlóan viselkedett a két bevonat, azonban jelentős eltérések is megfigyelhetők. A továbbiakban ezeket a hasonlóságokat, valamint különbségeket mutatom be. A mérés kezdeti szakaszán, kb. az 1-4 mm karcási úthossz tartományban

mindkét próbatétel esetén közel azonos a súrlódási együttható értéke: $\mu \approx 0,15$. Az ingadozásokból arra következtethetünk, hogy már ebben a szakaszban is kemény szemcsék válnak le a minta felületéről, növelve ezzel a kopási törmelék mennyiségét és ennek következtében a súrlódási együttható értékét.

A kritikus terhelőerő (F_{krit}) a súrlódási együttható (μ) ugrásszerű növekedéséhez tartozó érték. Ez az érték a SiCH/DLC próbatételek esetén 3 mm karcoldási úthossz után, míg a Cr/CrN/WC/DLC próbatételeken 5 mm-nél volt megfigyelhető. A vizsgálatok során mért értékeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat:

A karcvizsgálat során meghatározott kritikus erő (F_{krit} , N) értékei

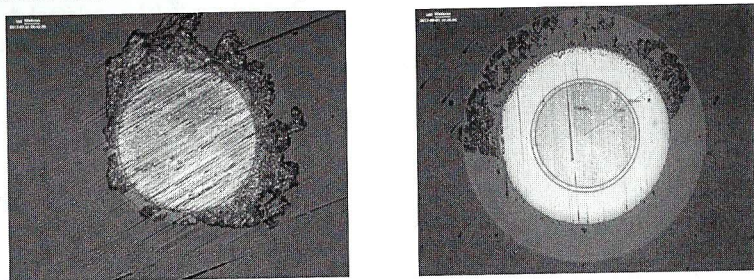
Próbatest sorszáma	F_{krit} , N	
	SiCH/DLC	Cr/CrN/WC/DLC
1.	34	49
2.	35	48
3.	36	48
Átlag	35,0	48,3

A karcvizsgálatot követően lehetőségem volt a karcnyomok morfológiai felvételeinek elemzésére, amelyek egy Axio Observer D1m Zeiss gyártmányú inverz mikroszkóppal készültek 100-szoros nagyításban. A felvételeket összevettem a karcoldási úthossz-súrlódási együttható diagramokkal és igazoltam az előbb ismertetett eredményeket. A két különböző technológiával készült bevonat esetén különböző kritikus erőknél vált le a bevonat, mivel a karcnyom morfológiája mindkét esetben más terhelőerőknél változott meg.

A bevonatolt darabokon Calotest vizsgálatot is végeztem, amelynek során 30 mm átmérőjű acél golyót használtam koptató szerszámként. Tekintettel a bevonatok eltérő mechanikai tulajdonságaira, a SiCH/DLC bevonatos darabokat 3, 3,5, illetve 4 percig koptattam, míg a multiréteges bevonat esetén 4 perces koptatás után sem szakadt át a DLC réteg, így annak koptatási idejét 10 percre növeltem. Ezután optikai mikroszkóp segítségével lemértem a kapott körök átmérőit, amelyekből kiszámítottam a rétegvastagságot.

A három SiCH/DLC bevonatos próbatétel esetén a számított rétegvastagság 2,200; 2,255; illetve 2,128 μm volt. A Cr/CrN/WC/DLC bevonatnál ezek az értékek 4,100; 4,482; illetve 4,162 μm -re adódtak.

Az 5. ábra mutatja a SiCH/DLC, illetve a Cr/CrN/WC/DLC bevonatos próbatételek Calotest után készített mikroszkópi felvételét.



5. ábra.

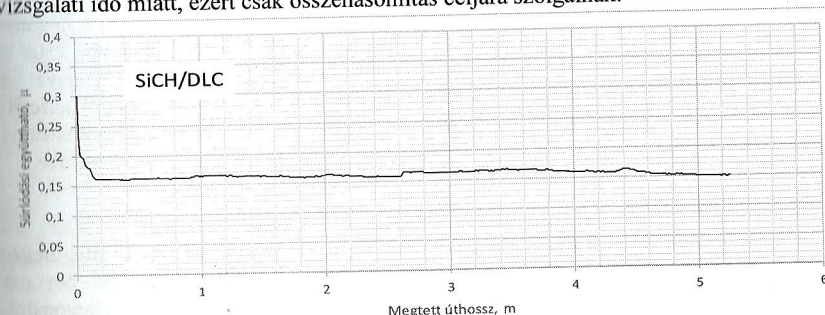
SiCH/DLC (balra) és Cr/CrN/WC/DLC bevonat (jobbra) rétegvastagságának meghatározása

A SiCH/DLC bevonatos próbatételek esetén a bevonat vastagsága átlagosan 2,194 μm , míg a DCZ rétegek esetén 4,248 μm volt. A Cr/CrN/WC/DLC bevonat nagyobb vastagsága, illetve az alátétréteget képező többsoros keramik multiréteg-szerkezet miatt masszívabb alátámasztást biztosít a legfelső DLC rétegnek. Ezzel magyarázható a multiréteges Cr/CrN/WC/DLC bevonat kedvezőbb viselkedése karcoldás, illetve Calotest vizsgálatok során.

A próbatételeken alternáló ball-on-disc típusú kopásvizsgálatot végeztem. A használt ellentest Al_2O_3 anyagú, 6 mm átmérőjű golyó volt.

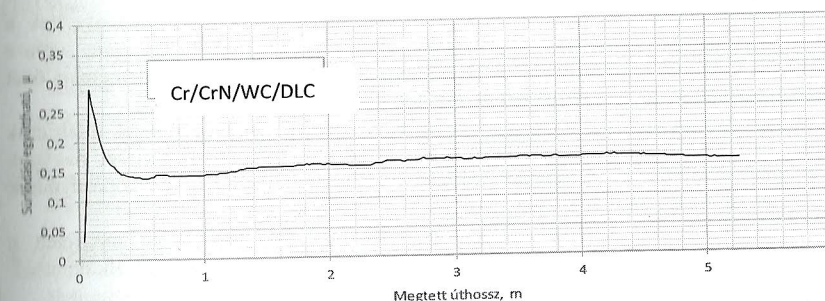
A vizsgálat paraméterei a következők voltak: terhelő erő (F): 14 N, a koptatási kör sugara (r): 5,02 mm, a golyó elmozdulásának frekvenciája: 2 Hz. A vizsgálat során 500 koptatási ciklus futott le. A golyó alternáló (reverzáló) mozgást végzett egy 60°-os körív mentén, a csúszási úthossz 5,26 m volt.

Az így kapott súrlódási együttható – csúszási úthossz diagramok (6. és 7. ábra) nem jellemzik hűen a próbatételek valós kopási viselkedését a kis terhelőerő, és a rövid vizsgálati idő miatt, ezért csak összehasonlítás céljára szolgálnak.



6. ábra.

Súrlódási együttható-csúszási úthossz diagram SiCH/DLC bevonatos próbatestre



7. ábra.

Súrlódási együttható-csúszási úthossz diagram Cr/CrN/WC/DLC bevonatos próbatestre

A különféle súrlódási együtthatók mért értékei a 2. táblázatban láthatók. A mért adatok alapján nincs jelentős különbség a két bevonat kopási viselkedése között.

Itt kell megemlíteni, hogy a bevonatolt rendszerek számos tényező befolyásolja. Ezek egy része a felületelőkészítéssel összefüggő, a bevonat alatti szubsztrát mikrogeometriáját meghatározó tényezők [9, 10]. Ezek vizsgálata a kutatás későbbi szakaszában indokolt lehet.

2. táblázat:

A kopásvizsgálat során mért súrlódási együtthatók értékei

A súrlódási együttható típusa	Bevonat típusa_mérés sorszáma				
	SiCH/ DLC _m1	SiCH/ DLC _m2	Cr/CrN/ WC/DLC _m1	Cr/CrN/ WC/DLC _m2	Cr/CrN/ WC/DLC _m3
A teljes vizsgálati szakaszra vonatkoztatott átlagos súrlódási együttható, μ_a -	0,161	0,159	0,159	0,159	0,159
Az állandósult szakaszra (utolsó 20%) vonatkoztatott súrlódási együttható, μ_s -	0,154	0,163	0,164	0,163	0,163

A próbatesteken elvégeztem még egy ún. Mercedes-tesztet, ami alapján a bevonat tapadását minősíthetjük. A tesztet Rockwell C típusú gyémánt kúppal végeztem, 1500 N névleges terheléssel. Ezt követően a lenyomatokat mikroszkóp segítségével a VDI 3198. sz. szabványban rögzített mintaképekkel hasonlítottam össze [11]. A létrejött lenyomatokon a sérülések elhanyagolhatóan kicsik voltak, és az etalonképekkel összevetve minden lenyomat a tapadás szempontjából megfelelő minősítést kaphat.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám során hidegalakító szerszámacél felületére felvitt szilícium-alátétréteges DLC bevonat, valamint Cr, CrN, WC és DLC rétegekből álló multiréteges bevonat különféle igénybevételekkel szembeni ellenállását vizsgáltam. A bevonatok jellemzésére karcvizsgálatot, Calotest vizsgálatot, ball-on-disc típusú kopásvizsgálatot és Mercedes tesztet végeztem el. A karcvizsgálatokat morfológiai elemzéssel is kiegészítettem.

A Calotest vizsgálatok során mért bevonatvastagságok értékei megegyeznek a hasonló bevonatokra vonatkozó szakirodalmi adatokkal, de későbbi munkám során a mért adatok megbízhatóságának ellenőrzése érdekében szeretném megismételni őket mindkét bevonaton azonos vizsgálati paraméterekkel.

A ball-on-disc típusú vizsgálatok a korlátozott mérés technikai feltételek miatt csak módszertani előkísérletnek tekinthetők, ezért tervezem ezek megismétlését nagyobb terhelőerőt alkalmazva, hosszabb koptatási úthosszon, illetve a kopásnyomok profilometriai vizsgálataival kiegészítve.

A Mercedes-teszt alapján minden bevonat tapadási viselkedése megfelelt a vonatkozó szabványnak, így ipari alkalmazásra a vizsgált bevonatok alkalmasnak tekinthetők.

A karcvizsgálatokat során a kritikus terhelőerő meghatározásakor megállapítottam, hogy a Cr/CrN/WC/DLC bevonatok 20%-kal nagyobb terhelés hatására válnak le, mint a SiCH/DLC-bevonatok.

A karcvizsgálat során mért állandósult súrlódási együttható értékei a multiréteges bevonat esetén nagyobbak voltak ($\mu=0,3$), mint a SiCH/DLC esetén ($\mu=0,25$).

A kísérleti munka tapasztalatainak összegzéseként elmondható, hogy a vizsgált bevonatolt hidegalakító szerszámacélok ipari alkalmazásra megfelelőek. A vizsgálatok eredményei alapján tribológiai szempontból a legtöbb esetben a multiréteges Cr/CrN/WC/DLC bevonatrendszer jobban teljesített a monoréteges Si alátétréteges bevonattal készült próbadarabokhoz képest.

IRODALOMJEGYZEK

- [1] Xudong S., Jinyu L., Shuaituo Z., Jun Y., Junying H. (2018): *Microstructure, mechanical and tribological characterisation of CrN/DLC/Cr-DLC multilayer coating with improved adhesive wear resistance. Applied Surface Science*, pp. 1-9
- [2] Ligeti, G.(2007): *Coatings that Leave Tools Cold Coating at 200 °C*; Oerlikon Balzers Austria GmbH; 12th International Conference on Tools University of Miskolc, pp. 241-245.
- [3] Tisza M., Kocsisné dr. Baán M., Szilágyiné Bíró A. (2013): *Duplex felületmódosító eljárások – kiemelten plazmanitridálás és PVD eljárás kombinációja - autópárai alkatrészek kopásállóságának növelése érdekében*; TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 Járműipari anyagfejlesztések projekt; Miskolci Egyetem, pp. 31-34.
- [4] Bertóti I., Marosi Gy., Tóth A.: *Műszaki felülettudomány és orvosbiológiai alkalmazásai*, B+V Lap- és könyvkiadó Kft., ISBN: 963 9536024
- [5] <http://www.ionbond.com/technology/pacvd/> Megtekintve: 2017. 10.12
- [6] K 110 anyagadatlap, forrás: Böhler, letöltés ideje: 2018. 03. 28.
- [7] Cserjésné Sutyák Á., Frigyk G., Kocsisné dr. Baán M., Kuzsella L., Marosné Berkes M., Szabó E., Szilágyiné Bíró A. (szerk.) (2015) *Nitridálás – korszerű eljárások és vizsgálati módszerek*, Miskolc: Miskolci Egyetem, pp.296. (ISBN:978-963-358-080-6)
- [8] http://www.hefusa.net/pvd_coating/DLC-coatings.html Megtekintve: 2018. 03. 30.
- [9] Vass Z., Marosné Berkes M., Felhő Cs., Maros Zs.,: *Összefüggés karbonitridált 34CrMo4 acélok kopási és mikrogeometriai jellemzői között*, In: Kékesi Tamás (szerk.) 28th microCAD Nemzetközi Multidiszciplináris Tudományos Konferencia Miskolc, Magyarország, 2014.04.10-2014.04.11. Miskolc: Miskolci Egyetem, 2014. Paper B11. (ISBN:978-963-358-051-6)
- [10] Maros Zs., Felhő Cs., Vass Z., Maros MB.: *Application of 2D-3D surface geometrical features in tribological analysis of ceramics and ceramic layers*, MATERIALS SCIENCE FORUM 812: pp. 435-440. (2015) Materials Science, Testing and Informatics VII Selected, peer reviewed papers from the 9th Hungarian Conference on Materials. Balatonkenese, Magyarország: 2013.10.13 -2013.10.15. (ISBN 978-3-03835-389-8)
- [11] http://www.vdi.eu/uploads/tx_vdirili/pdf/2532685.pdf Beschichten von Werkzeugen der Karmassivumformung CVD- und PVD-Verfahren; VDI 3198

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Marosné dr. Berkes Mária egyetemi docensnek a kutatómunka szakmai irányításért és a cikk lektorálásáért, Szilágyiné dr. Bíró Andreának a karcvizsgálatok, Németh Alexandrának a kopásvizsgálatok mérés technikai és kiértékelési feladatainak elvégzése során nyújtott segítségért, továbbá azoknak az ipari szakembereknek, akik a vizsgálati próbatesteket biztosították számomra és szakmai gyakorlatom során munkámat segítették.

A kutató munka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából.