



A kopási tulajdonságok vizsgálata duplex felületkezelésű 42CrMo4 acélon

Investigation of Wear Properties on Duplex Surface-treated 42CrMo4 Steel

Korsós Krisztián,¹ Kovács Dorina²

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék. Budapest, Magyarország, krisztian.korsos@edu.bme.hu

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék. Budapest, Magyarország, kovacs.dorina@gpk.bme.hu

Abstract

During the research, 42CrMo4 steel specimens were compared based on surface properties; after three types of duplex surface treatment, and in the untreated state. The treatments included combinations of surface polishing, chemical passivation, and direct current plasma nitriding. The coefficient of friction, wear resistance, and surface hardness properties were determined during the analysis. Scanning electron microscope and stereomicroscope were used to evaluate the results further. Based on the results, it has been proven that all samples with duplex surface treatment in a different way have unique, significantly different surface properties from the other samples, which raises the possibility of widely modifying the surface properties of materials used in industry through the targeted application of duplex surface treatments.

Keywords: duplex surface treatment, 42CrMo4, direct current plasma nitriding.

Összefoglalás

Kutatásunk során háromféle duplex felületkezelésen átesett, valamint kezeletlen, referenciaként szolgáló, 42CrMo4 acél próbatesteket hasonlítottunk össze felületi tulajdonságok alapján. A kezelések felületi polírozás, kémiai passzíválás, illetve hagyományos plazmanitridálás kombinációiból álltak össze. A vizsgálatok során felületi súrlódási együttható, kopásállóság és felületi keménység tulajdonságok mérése történt valamennyi próbatestre, illetve pásztázó elektron- és sztereomikroszkópos vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálati eredmények alapján bebizonyosodott, hogy valamennyi, eltérő módon duplex felületkezelt mintán egyedi, a többi próbatesttől jelentősen eltérő felületi tulajdonságok alakultak ki, melyek az iparban használt anyagok felületi tulajdonságainak széles körben való módosítási lehetőségét vetik fel a duplex felületkezelések célzott alkalmazásával.

Kulcsszavak: duplex felületkezelés, 42CrMo4 acél, plazmanitridálás.

1. Bevezetés

A műszaki ipar folyamatos fejlődése és a versenyipiaci igények folyamatos növekedése arra ösztönzi az ipari kutató szakembereket, hogy állandóan fejlesszék a meglévő technológiákat, valamint új technológiákat alakítsanak ki, melyek célja a jobb és nagyobb teljesítményű ipari alkatrészek és gépelemek előállítása.

Amennyiben a kérdéses alkatrész felületi igénybevételeknek van kitéve, legyen az mechanikai vagy korróziós, kézenfekvő és teljesítménynövelő műszaki megoldás a szerkezet felületének célzott módosítása, különösen olyan alkalmazási területeken, ahol az alkatrész felületét és térfogatát eltérő igénybevételek terhelik.

1.1. Irodalmi áttekintés

Plazmanitridálást számos helyen alkalmaznak acélok kopásállóságának javítására, a felületen keletkező, vas-nitrid tartalmú vegyületi réteg és az alatta található diffúziós zóna miatt [1, 2]. A felület passziválása [3, 4] már bevett módszer a rozsdamentes acélok körében, amellyel a környezeti korrózió okozta foltokat, kezdődő bemarkolókat akadályozza meg a felületen, azonban más acéltípusnál is alkalmazzák, ahogyan a következő kutatásokban kitérünk rá.

Molinari és társai [5] gáz-, valamint plazmanitridálással kezelt, 42CrAlMo7 acél próbatestek kopási tulajdonságait vizsgálták, különös tekintettel a diffúziós és vegyületi réteg eltérő kopási viselkedésére. Kutatásukban megállapították, hogy a diffúziós réteg esetén a súrlódási tulajdonságokra nagyobb hatást gyakorol a réteg mikroszerkezeti homogenitása, mintsem keménysége. A vegyületi réteg tekintetében megállapították, hogy a vékony, porozitásmentes, kétfázisú felületi rétegeknek jelentősen jobb a súrlódási tulajdonságaik a porózus, egyfázisú vegyületi rétegekkel szemben.

Landek és társai [4] 42CrMo4 anyagú nitridált, valamint nitridált és foszfátzott próbatestek súrlódási és korróziós tulajdonságainak vizsgálatát végezték el. Kutatásuk során megállapították többek között, hogy a plazmanitridáláson átesett próbatesten jelentős javulás figyelhető meg kopásállóság tekintetében, míg a plazmanitridáláson és foszfátzáson átesett próbatesteknek a nitridálthoz viszonyítottan kisebb a kopásállósága és a súrlódási együtthatója.

Flis [6] kutatásában AISI 321 és 431 típusú, plazmanitridált acélok korróziós vizsgálatát és passziválását kísérte meg. Kutatási eredményeként felmutatható, hogy sikeresen hozott létre nitridált próbatesteken mind a korróziós tulajdonságokat, mind feltehetőleg a kopási tulajdonságokat javító foszfát- és oxidrétegeket.

Kapucińska [7] 42CrMo4 összetételű nitridált, majd foszfátzott acél felületi morfológiáját és korróziós tulajdonságait vizsgálta. Kutatásában összefüggést talált a kialakított vegyületi réteg vastagsága és a foszfátzás során keletkező felületi foszfátkristályok morfológiája között, illetve megállapította a nitridált rétegen létrehozott foszfát-réteg jelentős korrózióállóság-növelő hatását.

2. Kísérleti módszertan

A következő fejezetben ismertetjük a kutatásban alkalmazott anyagot, a kivitelezett felületkezeléseket és a kísérleti módszereket.

2.1. Az alapanyag

A kutatáshoz választott anyag az 1.7225 számjelű acél, vagy az anyagminőségjelével a 42CrMo4 nemesíthető acél az autóiparban széles körben elterjedt, nagy szívósságú és kedvező árú anyag. Az anyagból jellemzően kifáradásnak és felületi kopásnak, súrlódásnak kitett autóipari alkatrészeket, tengelycsuklókat, hajtótengelyeket, fogaskerekeket és fogasléceteket készítenek.

Valamennyi felhasználás esetén közös, hogy a felületi tulajdonságok célzott módosítása nagymértékben növelheti az alkalmazási élettartamot.

A kutatásban alkalmazott acél vegyi összetétele az EN 10083-as szabvány alapján a következő összetevőket tartalmazza: 0,38–0,45% C, <0,4% Si, 0,6–0,9% Mn, <0,025% P, <0,035% S, 0,9–1,2% Cr és 0,15–0,3% Mn.

Az alapanyagot $\varnothing 20$ mm-es köracél formában, nemesített állapotban használtuk, vízűtéses vágógéppel daraboltuk; négy darab, 10 mm vastagú próbatestet állítottunk elő.

2.2. Az alkalmazott felületkezelések

A próbatestek előállítása során három, egymástól jelentősen eltérő felületmódosító kezelést végeztünk. A rendelkezésre álló három próbatestből kettőt 1 μ m szemcsenagyságú polírozópasztával políroztunk, kettőt 40 órán keresztül, 525 °C-on, 1:3 nitrogén-hidrogén összetételű atmoszférában nitridáltunk, valamint két próbatestet tisztítást és 5 percig történő 10%-os HCl-oldatos pácolást követően 75 °C-os foszforsavas közegben foszfátzottunk 30 percen keresztül. A próbatestek a rendelkezésre álló három kezelésből egyenként két különböző felületkezelésen esetek át, oly módon, hogy valamennyi lehetséges kombináció megvalósuljon. A polírozáson át nem esett próbatesteket, a referencia próbatestet is beleértve, a kezeléseket megelőzően, fokozatosan csökkenő szemcseméretű csiszolópapírral, P4000-es szemcseméretig való csiszolással készítettük elő. A kutatáshoz előállított próbatesteket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A kutatáshoz előállított próbatestek

Jelölés	1. kezelés	2. kezelés
R	–	–
PF	Polírozás	Foszfátzás
PN	Polírozás	Nitridálás
NF	Nitridálás	Foszfátzás

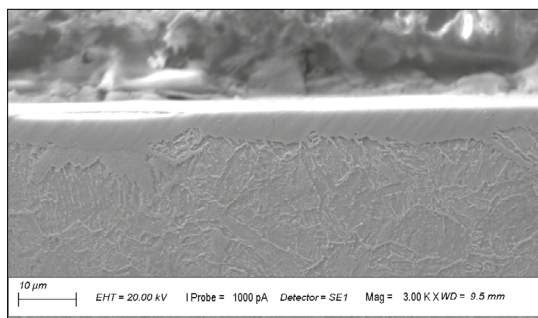
2.3. A vizsgálati módszerek

A próbatestek előállítását követően a mintákat 5 N terhelés mellett, 25 m kopási úton, 2 mm át-

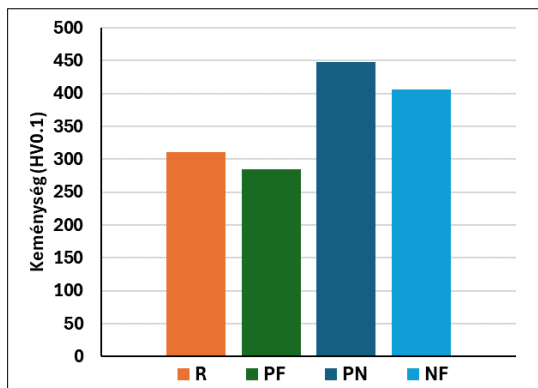
mérőjű keménységmólyóval, kenőanyag alkalmazása nélkül koptattuk Anton Paar TRB3 márkájú, pin-on-disc típusú tribométerrel. A koptatás teljes időtartama alatt a próbatesteket jellemző felületi sűrűdési együttható értékeket regisztráltuk, majd kiértékeljük. A koptatást követően a kopási nyomvonal Olympus SZX16 típusú sztereomikroszkóppal értékeltük ki. A minták keménységét Lynx típusú Rockwell keménységmérővel határoztuk meg. A felületi vizsgálatokat követően a felület és a kopási nyomvonal kémiai összetételét, valamint a keresztmetszetről készült képeket Zeiss EVO MA 10 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk.

3. Vizsgálati eredmények

A nitridálás során kialakult vegyületi réteg jól látható, fehér, egybefüggő réteggént jelenik meg a felületen (1. ábra). Jelen kutatásunkban a nitridálás vagy foszfátózás technológiájával előállított rétegek vastagságát, összetételét, szerkezetét nem vizsgáltuk, csupán a kezeléskombinációk okozta eltérést a kopási tulajdonságokban.



1. ábra. A PN jelölésű mintán megfigyelhető vegyületi réteg



2. ábra. A mintákat jellemző keménységi értékek

3.1. Keménységmérés

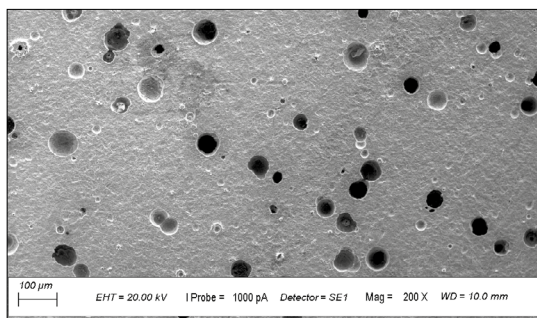
Megállapítottuk, hogy a referenciamintához mérten nagymértékű keménységnövekedés figyelhető meg a PN jelzésű próbatesten. A foszfor-savban történő foszfátózást követően keménységcsökkenés figyelhető mind a PF, mind az NF jelzésű mintán az R és PN mintához viszonyítva. Ezeket a keménységmérési eredményeket a 2. ábra szemlélteti.

A foszfátózás utáni keménységcsökkenés elsősorban a kezelést követően kialakult porózus felületnek (3. ábra) tudható be, míg a nitridálás esetén tapasztalt keménységnövekedés a kialakult vegyületi és diffúziós rétegnek köszönhető.

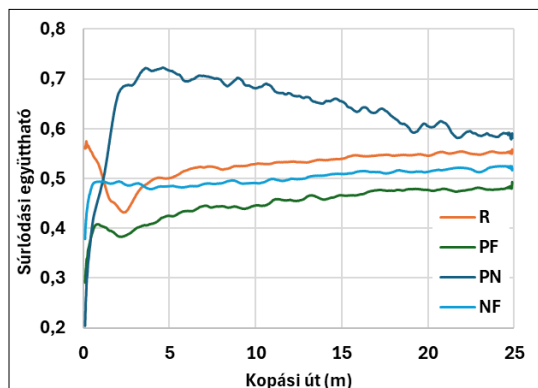
3.2. Tribológiai vizsgálat

A tribológiai vizsgálatok eredményét a 4. ábra szemlélteti.

A koptatás során regisztrált sűrűdési együttható értékeknek a megtett kopási útvonal függvényében való ábrázolását követően megállapítható az eltérő sűrűdési rendszerek tribológiai viselkedése a mérési tartomány, valamint a mérési paraméterek mellett.



3. ábra. A PF mintán kialakult pórusokat tartalmazó felület



4. ábra. A tribológiai vizsgálatok eredményei

Az R jelzésű referenciamintát jellemzi a legnagyobb, statikus súrlódási együttható, melynek értéke 0,56. A súrlódási rendszer kezdeti bejáratási időszaka, mely során a felületi érdességének simulása és a kontakfelületek kialakulása zajlik. 5 méter súrlódási útvonalat követően a felületi súrlódási együttható 0,54 értéken állandósulni látszik.

A PF jelölésű, polírozáson és foszfátózáson átészt minta esetén tapasztalható a legkisebb statikus súrlódási együttható 0,29 értéken. A kopási vizsgálat során a PF minta súrlódási együtthatójának fokozatos növekedése figyelhető meg, majd az R mintához hasonlóan ugyancsak 5 méteres súrlódási útvonal megtételét követően állandósul 0,47 értéken.

A PN jelölésű polírozáson és plazmanitridáláson átészt minta esetében a mért statikus súrlódási együttható 0,20 értéket vesz fel, ugyanakkor közel 0 és 5 méteres súrlódási távolságon belül nagymértékű növekedés figyelhető meg az értékében. Az 5 és 22 méteres tartományon fokozatos csökkenés figyelhető meg a minta súrlódási együtthatójában. A kezdeti hirtelen értéknövekedés és -csökkenés együttesen jellemzi a minta bejáratási időszakát, amely alatt az 5-től 22 méterig tartó fokozatos csökkenés a nitridált felületen lévő kemény felületi érdességcsúcsok simulását, lekopását jelzi. A minta 22 méteren eléri állandósult kopási együtthatóját 0,59 értéken.

AZ NF jelölésű nitridáláson és foszfátózáson átészt minta esetén kezdeti 0,38 értékű statikus súrlódási együttható értéken követően gyorsan, mindössze 1 méter megtétele után állandósul a minta súrlódási együtthatója 0,50 átlagos értéken.

Megállapítható, hogy a plazmanitridálás kisebb statikus súrlódási együtthatót követően nagymértékben növeli a felületi súrlódási együtthatót a bejáratási időszakban, majd állandósult súrlódási viszonyok mellett is növelt értéket eredményez a referenciamintához viszonyítva. A foszfátózás elvégzése alapvetően csökkenti mind a statikus, mind az állandósult súrlódási együtthatót, a referenciamintához mérten. A nitridálás és foszfátózás együttes alkalmazása csökkent hosszúságú bejáratási időtartamot, a referencia- és a plazmanitridáláson átészt mintához viszonyított csökkent állandósult súrlódási együtthatót eredményez. A felületből kiszakadt szemcsék helyén a pórusokat betöltték, ami az 5. ábrán látható.

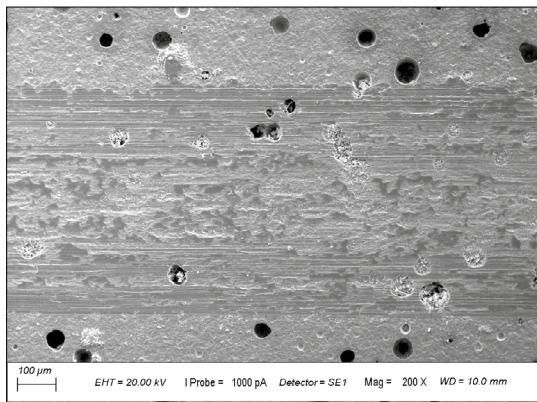
3.4. Kopásállósági vizsgálatok

A kopási nyomvonalak szélességének és hosszának, valamint a koptató golyó átmérőjének ismeretében meghatározásra kerültek a kopási térfogatok. A mérési eredményeket a 6. ábra szemlélteti.

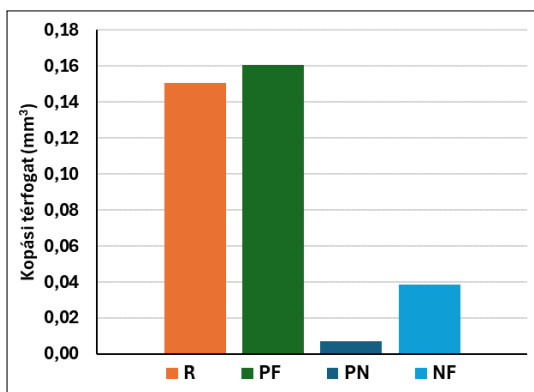
Az eredményekkel kapcsolatban megállapítható, hogy a kopásállóság korrelációt mutat a felületi keménységi értékekkel. A PN jelzésű minta rendelkezik a legkisebb kopási térfogattal, míg keménységcsökkenésével arányos szintű növekedés figyelhető meg az NF minta esetén. Ugyancsak kismértékű növekedés figyelhető meg a foszfátózáson átészt mintán a referenciamintához viszonyítva.

5. Következtetések

A mérési eredmények során megállapítható, hogy a foszfátózás mint másodlagos felületkezelés képes csökkenteni az alapfelület súrlódási



5. ábra. A passzívált minták kopási nyomvonalában megtalálható, kopási termékekkel töltött pórusok



6. ábra. A kopásállósági vizsgálatok eredményei

együtthatóját, ugyanakkor ezzel egy időben csökkent annak kopásállóságát. Megfigyelhető, hogy a nitridált minták passzíválását követően a sűrűlási együttható értékében a javulás jelentősen nagyobb, mint a keménységi értékben látható csökkenés. A foszfátózással létrehozott felületi rétegek mindkét esetben kiemelkedő sűrűlási együtthatót mutattak.

Ugyanakkor a foszfátózást követően romlás figyelhető meg mind a keménységi, mind a kopásállósági tulajdonságok tekintetében. A kutatás eredményeként megállapítható, hogy a plazmanitridálással, majd foszforsavas közegben végzett felületkezeléssel előállított duplex réteg mint sűrűlási együttható jelentős javulást mutat a referencia- és csak plazmanitridáláson átesett mintákhoz viszonyítva, szintén ugyancsak javulás figyelhető meg a duplex felületkezelésen átesett minta kopásállóságában a referencia- és csak foszfátózáson átesett mintákhoz viszonyítva.

Köszönetnyilvánítás

Ezt a munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatta az OTKA-PD_21 142307 támogatási szerződés keretében.

Jelen, a Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program (DKÖP) által támogatott projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem közös támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatallal kötött támogatási szerződés alapján valósult meg.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Szilágyiné B. A.: *Active Screen Plasma Nitriding - State of the Art*. Production Processes and Systems, 7. (2014) 103–114.
- [2] Ni J., Ma H., Wei W., An X., Yu M., Hu J.: *Novel Effect of Post-Oxidation on the Comprehensive Performance of Plasma Nitriding Layer*. Coatings, 14/1. (2024) 86.
<https://doi.org/10.3390/coatings14010086>
- [3] Kusmic D., Thanh D., Hruby V.: *Corrosion and Wear Resistance of Plasma Nitrided and Duplex Treated 42CrMo4 Steel*. Manufacturing Technology, 18. (2018) 259–265.
<https://doi.org/10.21062/ujep/88.2018/a/1213-2489/MT/18/2/259>
- [4] Landek D., Kurtela M., Stojanović I., Jačan J., Jakovljević S.: *Corrosion and Micro-Abrasion Properties of an AISI 316L Austenitic Stainless Steel after Low-Temperature Plasma Nitriding*. Coatings, 13/11. (2023) 1854.
<https://doi.org/10.3390/coatings13111854>
- [5] Molinari A., Straffellini G., Pellizzari M., Pirovano M.: *Wear behaviour of diffusion and compound layers in nitrided steels*. Surface Engineering, 489–496. (1998) 6–14.
<https://doi.org/10.1179/sur.1998.14.6.489>
- [6] Flis J.: *Corrosion and passivation of plasma nitrided stainless steels*. Surface Engineering, 26. (2010) 103–113.
- [7] Kapuścińska A., Kwiatkowski L., Wach P., Mazurek A., Diduszek R.: *Anticorrosion Properties and Morphology of Phosphate Coating Formed on Nitrided Surface of 42CrMo4 Steel*. Archives of Metallurgy and Materials, (2020) 65.
<https://doi.org/10.24425/amm.2020.131749>