XII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2007. március 16–17.

LOKÁLIS KOPÁS ÉS A SZÖVETSZERKEZET KAPCSOLATA KÜLÖNBÖZŐ SZERKEZETI ACÉLOK ESETÉN

Kovács Tünde¹ - Solecki Levente² - Barta István¹ - Borossay Béla¹

Abstract

It is known that the friction and wear properties of metals and alloys show a strong correlation with the chemical composition, hardness and microstructure. The aim of this publication work was to analyse the possible correlations between the microstructure and the wear properties of low alloyed, hypoeutectoid structural steels during dry friction.

Összefoglalás

Mint ismeretes, a fémötvözetek súrlódási és kopási tulajdonságai szoros összefüggést (korrelációt) mutatnak a kémiai összetétellel és keménységgel, ugyanakkor jelentős mértékben függnak az anyag mikroszerkezetétől is. A publikációban ismertetett kutatómunka célja szerkezeti acélok eltérő szövetszerkezete és a száraz-súrlódási folyamatokban mutatott kopásállóság közötti összefüggések feltárása, elemzése volt.

1. Bevezetés, célkitűzés

A szövetszerkezet kopásállóságra gyakorolt hatásának összehasonlító vizsgálatával foglalkoztunk néhány, eltérő módon hőkezelt szerkezeti acéllal folytatott kísérlet eredményeire támaszkodva. A kísérletekhez egy speciális, alapvetően lokális kopási folyamatok vizsgálatára hivatott új típusú berendezést konstruáltunk, amely a mikrokráteres kopásvizsgálatokhoz használatos ún. golyós tribométernek egy módosított, továbbfejlesztett változata. Az új berendezés kialakításából adódik, hogy lehetőséget nyújt a kopásmélység folyamatos (on line) mérésére, másrészt – mivel a golyó nem kényszerpályán mozog, hanem sztochasztikus jellegű bolyongást végez –, a golyófelületen a kopás egyenletesen oszlik meg, így a golyó megőrzi gömbalakját.

A szövetszerkezet hatásának minősítésére irányuló kopásvizsgálatokat kenőanyag alkalmazása nélkül végeztük három különböző összetételű és különböző szövetszerkezetű hipoeutektoidos szerkezeti acéllal (nevezetesen 16CrMo5, C45, 41CrS4 acélokkal). Az alkalmazott hőkezelés eredményeként különböző szövetszerkezetű (ferrit-perlites, bénites, martenzites, szferoiditos típusú) próbatesteket gyártottunk, a szövetszerkezetet keménységméréssel és mikroszkópos vizsgálatokkal minősítettük.

2. Vizsgálati eredmények ismertetése

A kopásvizsgálat primer mérési eredménye a kopási kráter mélységét reprezentáló adatsor az idő függvényében, következésképpen egy adatsor az (időpont, kopási krátermélység) adatpárok idő szerint rendezett véges halmaza. Összesen mintegy 200 adatsor felvételére és elemzésére került sor. Az

adatgyűjtést a kopási folyamat megindítása előtt mintegy 3-10 másodperccel kezdtük el, és általában 200-300 s elérésekor fejeztük be. Az egyedi kopás vizsgálatokkal kapott mérési adatok feldolgozását kereskedelmi szoftverekkel végeztük.

A kopási vizsgálati eredmények értékelését külön-külön elvégeztük 20 s és 180 s időtartamra vonatkozóan, és azonos anyagú és hőkezeltségű próbatestekre vonatkozó egyedi mérési eredményeket átlagoltuk. A 20 s és 180 s időtartamokra vonatkozó kopási tényezőket valamint a különböző módon hőkezelt próbatestekre vonatkozó keménység-mérési eredményeket a 1. táblázat tartalmazza.

1.táblázat. A próbatestek hőkezelési állapota, keménysége, kopási tényezője

16CrMo5 acél			
Állapot	HV	Kop.tény. ($\cdot 10^{-16}$) m²/N 20 s időtartam	Kop.tény. ($\cdot 10^{-16}$) m²/N 180 s időtartam
11 Izot. 700 C°, F+P	171	49,48	11,00
17 Izot. 640 C°, F+P	182	54,36	18,70
12 Izot. 580 C°, F+P	201	29,88	15,25
13 Izot. 410 C°, B	240	19,18	16,21
14 Edzés, víz M	425	16,28	13,11
16 Edz, meger 470 C°, SZF	348	29,41	16,00
18 Edz, meger 560 C°, SZF	275	52,55	27,54
15 Edz, meger 690 C°, SZF	240	77,30	32,40
C45 acél			
Állapot	HV	Kop.tény. 20 s ($\cdot 10^{-16}$) m²/N 20 s időtartam	Kop.tény. ($\cdot 10^{-16}$) m²/N 180 s időtartam
21 Izot. 700 C°, F+P	185	82,01	63,40
27 Izot. 620 C°, F+P	230	44,35	21,48
22 Izot. 530 C°, F+P	262	31,80	19,69
23 Izot. 410 C°, B	340	8,66	7,10
24 Edzés, víz M	720	8,33	1,96
26 Edz, meger 470 C°, SZF	362	40,32	15,66
28 Edz, meger 560 C°, SZF	270	44,65	19,97
25 Edz, meger 690 C°, SZF	239	49,39	28,57
41CrS4 acél			
Állapot	HV	Kop.tény. ($\cdot 10^{-16}$) m²/N 20 s időtartam	Kop.tény. ($\cdot 10^{-16}$) m²/N 180 s időtartam
31 Izot. 700 C°, F+P	223	60,08	24,33
37 Izot. 640 C°, F+P	250	40,79	12,92
32 Izot. 580 C°, F+P	286	30,35	9,77
33 Izot. 410 C°, B	366	9,33	7,17
34 Edzés, víz M	650	6,34	3,56
36 Edz, meger 470 C°, SZF	396	31,25	14,99
38 Edz, meger 560 C°, SZF	340	42,89	14,25
35 Edz, meger 690 C°, SZF	277	63,85	15,54

A 1. táblázat adataiból megállapítható, hogy a rövid időtartamra (20 s) meghatározott kopási tényező minden esetben meghaladja a teljes, átlagosan 180 s koptatási időtartamra érvényes tényező értékét. A vizsgálatokból kitűnt, hogy 20 s időtartamra vonatkozó mérések eredményei tekinthetők hitelesnek,

ugyanis a teljes 180 s időtartamú mérés során, elsődlegesen a kopási folyamat végső szakaszában már olyan instabilitás, zaj jelentkezik, amely torzítja a mérési eredményeket és megnehezíti értékelésüket. Ezért a további vizsgálatainkban csak 20 s időtartamra érvényes mérési eredmények értékelésére szorítkoztunk.

A táblázatban feltüntetett adatok, mérési eredmények áttekinthetőbbé és könnyebben értékelhetővé válnak, ha ezeket acéltípusokként külön-külön diagramok formájában ábrázoljuk. A 1-3. ábrákon - a három vizsgált acélra vonatkozóan - a 20 s-os kopási tényező és a hozzá tartozó keménység változását tüntettük fel az eltérő hőkezelési állapot függvényében.

1. ábra. Vizsgálati eredmények 16CrMo5 jelű acélra vonatkozóan

2. ábra. Vizsgálati eredmények C45 jelű acélra vonatkozóan

3. ábra. Vizsgálati eredmények 41CrS4 jelű acélra vonatkozóan

Amint az ábrákból megállapítható, a kopási tényező a keménységi értékkel ellentétesen változik, ami megfelel az acélok keménysége és kopásállósága közötti, ismert tapasztalati összefüggésnek. A szövetszerkezet hatásának megítéléséhez a kopási tényezőt a keménység függvényében célszerű ábrázolni a követte az alább vázolt gondolatmenetet:

a.) Induljunk ki az acél ausztenites állapotából és ebből az ausztenites állapotból hozzunk létre egyre keményebb és keményebb szövetszerkezetet izotermás hőkezelések (izotermás átalakulások) eredményként. Nyilvánvaló, hogy minél alacsonyabb az ausztenit izotermás átalakulási hőmérséklete, annál keményebb lesz a szövet. Sorrendben az 1-es, 7-es 2-es állapotok követik egymást, mindhárom esetben jellemzően ferrit-perlites a szövetszerkezet. Egészítsük ki ezt a kísérlet-sorozatot a bénites átalakulást eredményező izotermás hőkezeléssel. Ezt követően tovább folytatva a hőkezelési kísérleteket, eljutunk az edzéshez, mellyel a legkeményebb szövetszerkezet hozható létre. Bár a martenzit nem izotermás átalakulás eredménye, a lehűtési hőmérséklet csökkenő sorozata tekintetében illeszkedik az izotermás kísérletek koncepciójához.

b.) Ezek után induljunk el „visszafelé”, megfordítva az előbb alkalmazott stratégiák: legyen most a martenzites a kiinduló szövetszerkezet, és rendezzük sorba a növekvő izotermás hőmérsékleteken kezelt mintákat a keménység szerint. A keménység a növekvő megeresztési hőmérséklettel csökken, a jellemző szövetszerkezet a megeresztett martenzit, a szferoidit lesz.

Követte az a) és b) pontokban vázolt gondolatmenetet, és a kopási tényező változását a keménység függvényében ábrázolva, (4-6. ábrák) az összetartozó adatpárok a megadott koordináta-rendszerben grafikusán két, közös pontban találkozó görbeszakasszal reprezentálhatók. A 4-6. ábrák diagramjait elemezve az alábbi következtetésekre juthatunk: Ha a két görbe illeszkedne egymásra, akkor e tényből az a felismerés adódna, hogy a kopásállóság nem függ a szövetszerkezettől, hiszen ekkor az azonos keménységű minták azonos kopásállóságot mutatnak, függetlenül attól, hogy izotermás hűtéssel vagy izotermás hevítéssel jött-e létre a szövet. Ha azonban a két görbeszakasz nem fedi egymást, akkor a kopásállóságban tapasztalt eltérést döntően az eltérő szövetszerkezetnek kell tulajdonítani.

A 4-6. ábrákon négyzetekkel jelölt mérési eredmények az izotermás hűtéssel létrehozott szövet tulajdonságait reprezentálják, így a szövetszerkezet a csökkenő hőmérséklet szerint változva, ferrit-perlites, majd bénites, végső esetben pedig martenzites lesz. A háromszögekkel jelzett mérési eredmények a növekvő hőmérsékletű megeresztés eredményeként adódó szövetszerkezetekre utalnak. Valamennyi esetben a két görbeszakasz egyetlen közös pontban találkozik, amely a martenzites szövetszerkezetet képviseli.

4. ábra. A keménység és kopási tényező kapcsolata 16CrMo5 anyag különböző hőkezelési állapotaiban

5. ábra. A keménység és kopási tényező kapcsolata C45 anyag különböző hőkezelési állapotaiban

6. ábra. A keménység és kopási tényező kapcsolata 41CrS4 anyag különböző hőkezelési állapotaiban

Mindhárom acélra vonatkozóan megfigyelhető, hogy a két, közös pontban találkozó görbeszakasz nem fedti egymást, sőt közöttük szisztematikus eltérés állapítható meg: a megeresztéssel létrehozott szövetszerkezet – azonos keménység esetén - minden esetben nagyobb kopási tényezővel jellemezhető, mint az izotermás hűtés során létrejövő szövetszerkezet. Az ábrák diagramjai tehát azt bizonyítják, hogy a keménység mellett a szövetszerkezetnek is kiemelkedő szerepe van a kopásállóság szempontjából, vagyis nem mindegy, hogy a görbe melyik „ágán” jutunk el az adott keménységértékig. A szövetszerkezet viszont adott anyagminőség esetén a hőkezelés által determinált, vagyis az ábrák lényegi információtartalma az, hogy a kopásállóság szempontjából nemcsak a keménységnek, hanem az ahhoz a keménységhez vezető „útnak” (az alkalmazott hőkezelési technológiának) is döntő jelentősége van.

A 7. ábra három vizsgált acélra vonatkozóan a keménység - kopási tényező diagramokat közös koordináta rendszerben tünteti fel, ami megkönnyíti az összehasonlítást és értékelést. Megfigyelhető, hogy amíg a krómmal ötvözött két hipoeutektoidos acél görbepárja szinte „párhuzamosan” halad, addig az ötvözetlen C45 acél esetében a görbe „önmagába” tér vissza. E jelenséget kvantitatív módon értékelve megállapítható, hogy a krómmal ötvözött acélok esetében a szferoidites és a ferrit-perlites, illetve bénites szerkezetre jellemző kopási tényezők hányadosa közel állandó (2 és 3 közötti érték), addig az ötvözetlen C45 acélra nézve ez az arány a keménység függvényében változik, 220 HV közelében a két különböző hőkezelési eljárással létrehozott szerkezet keménysége és kopásállósága is közel azonos. Ebből arra következtethetünk, hogy a krómötvöztetés a keménység – kopásállóság összefüggés jellegét is megváltoztatja.

7. ábra. A három vizsgált acél keménység-kopási tényező diagramja közös koordináta rendszerben

A három acélra jellemző „hiszterézis” terület egymáshoz való viszonya is hordoz információkat. A 7. ábra meggyőzően szemlélteti a krómötvöztetésű, (lényegében csak a C-tartalomban eltérő) 16CrMo5 és 41CrS4 acélok által lefedett terület pozíciójában mutatkozó különbséget. A karbontartalom csökkenése a fenti diagramban a „hiszterézis” területet balra és fölfelé mozdította el. Az azonos karbontartalmú, (lényegében csak a krómtartalomban különböző) C45 és 41CrS4 acél „izotermás hűtési ága” jó közelítéssel egybe esik, a „megeresztési ágak” helyzete viszont egymástól erőteljesen különbözik.

Irodalom jegyzék

Bitay Enikő: Lézeresen kezelt felületek kopásállósága, Műszaki Tudományos Füzetek VI., FMTÜ 2001. EME, Kolozsvár

Kovács T.: Acélok szövetszerkezetének hatása a lokális kopásra, PhD értekezés 2007.

Kovács T., Dévényi L.: The effect of microstructure on the wear phenomena, Material Science Forum Vols. 537-538 (2007) p. 397-404 Trans. Tech. Publications Switzerland

Rutherford K.L., Hutchings I.M.: Theory and Application of a Micro-Scale Abrasive Wear Test, American Society for Testing and Materials, West Conshocken, 1997.

1 Kovács Tünde főiskolai adjunktus

1 Barta István hallgató

1 Borossay Béla kutató mérnök

BMF, Bánki Donát Gépész és

Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Budapest, H-1081 Népszínház u. 8,

tel: (+36-1) 666-5327

kovacs.tunde@bgk.bmf.hu

2 dr. Solecki Levente egyetemi adjunktus

Széchenyi István Egyetem

Győr, H-9026 Egyetem tér 1.

solecki@sze.hu