

Óbudai Egyetem

**Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki
Kar**

Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet



XXXIX. TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

P10-ES ÖNTÖTTVAS FÉKTUSKÓ KOPÁS ANALÍZISE

Szerző: Ács Dániel
gépészmérnök BSc, III. évf.

Konzulens: Dr. Czifra Árpád
egyetemi docens

Budapest, 2014.

Tartalomjegyzék

1.0 Bevezetés	4.
1.1 Tribológia	5.
1.2 Modell kísérletek	6.
1.3 Súrlódás és kopás jellemzők	7.
1.4 Érdesség vizsgálat	9.
1.5 Mikrokeménység	11.
1.6 Optikai mikroszkópok	13.
2.0 Miért épp a P10-es anyag?	15.
2.1 P10-es anyag kiváltásának lehetséges okai	16.
3.0 Anyagtani vizsgálatok.....	17.
3.1 Kopás analízis fény- és elektron mikroszkóppal	20.
3.2 Topográfia vizsgálat	25.
3.3 Eredeti felület	26.
3.4 Kopott részek vizsgálata.....	27.
3.5 Kopás első szakasza	28.
3.6 Erősen kopott szakasz	29.
3.7 Oxidáció	31.
3.8 Időbeni változások.....	33.
4.0 Következtetések.....	34.
Köszönetnyilvánítás	35.

Felhasznált Irodalom:

- [1] Dr.Czifra Árpád-Útmutató a tribológia tárgy mikrotopográfiai vizsgálatok laborgyakorlatához_elektronikus jegyzet_2011
- [2] Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar_Anyagtudomány I_elektronikus labor jegyzet
- [3.]Vörösmarti József-Válaszok a megváltozott vasútvállalati igényekre _Vasútgépészet 2011/4,p.37.-42.
- [4] K. Jäger: Neue Erkenntnisse bei der Bewertung von Schienenlärm. In: ETR. 52, Heft 7/8, 2003, S. 469–475.
- [5] Dr. Valasek István-Tribológiai Kézikönyv_Budapest, 1996
- [6]Nándor Békési, Károly Váradi-Contact Thermal Analysis and Wear Simulation of a Brake Block_ Advances in Tribology 2013/01, p. 1-7
- [7]Dr. Kisfaludy Antal – Réger Mihály – Tóth László: Szerkezeti anyagok I., ÓE BL 299 Budapest,2010.
- [8]Dr. Kisfaludy Antal – Réger Mihály – Tóth László: Szerkezeti anyagok II., ÓE BL 299 Budapest,2010.
- [9]Dr. Czifra Árpád-Gépelemek Tribológiája_előadás jegyzet_Budapest, 2014

Felhasznált Szabványok:

- EN ISO 4287 Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters (ISO 4287:1997)
- EN ISO 4288 Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile method - Rules and procedures for the assessment of surface texture (ISO 4288:1996)
- ISO/DIS 25178-2 Geometrical product specification (GPS) - Surface texture: Areal - Part 2. Terms, definitions and surface texture parameters

1.0 Bevezetés:

A vasúti járművek világában csakúgy, mint a közúti járművek körében rendkívül fontos a fékrendszerek biztonsága és egyben a fékezésben részt vevő alkatrészek minél hosszabb élettartama. A kettő közti arany középút megtalálása a mai napig nagy kihívást jelent a mérnököknek. A feladat tehát találni egy olyan anyagot, ami a jó mechanikai tulajdonságok mellett megfelelő kopásállósággal is rendelkezik.

Az évek során így került a választás a P10-es öntöttvasra, ami eleget tett a korábbi feltételeknek. Hibája, hogy a fékezés nagy hanghatással jár. Jelenleg több kompozit anyaggal is próbálják kiváltani a kutatók, de ezek vagy jobban koptak, mint a P10-es anyag, vagy attól jobban koptatták a kereket. A P10-es öntöttvas féktuskó az ismert anyagok közül jelenleg ideálisnak mondható, ezért esett a választásom ennek az anyagnak a vizsgálatára.

A koptató vizsgálatok négy féktesten történtek, amik a kapcsolási időtartamában tértek el egymástól, ezzel vizsgálva azt, hogy a folyamat előre haladtával hogyan változik a kopások intenzitása. A dolgozat a bekoptatást követő vizsgálatokat részletezi. A kopási formák azonosításához a Mahr Perthometer által készített topográfiák szolgáltak, aminek a segítségével nem csak vizuális képet kaphatunk az egyes kopásokról, de azokat paraméteresen is jellemezni tudjuk. Miután ezeket azonosítottam, szükség volt az okok felkutatására szolgáló további vizsgálatok elvégzésére is. A kopások okának megértéséhez mikrokeménységi vizsgálatokat készítettem, amik arra adnak választ, hogy a felszín közelében létrejött-e felületi védőréteg, vagy sem. Anyagszerkezeti elváltozások kutatása során fénymikroszkóp képek készültek maratott illetve maratlan állapotban és a felszín elektronmikroszkópos kémiai elemzése is megtörtént, amire a koptatás során bekövetkező magas hőmérséklet okozta változások végett volt szükség.

A dolgozat célja és létrejöttének oka, hogy részletesebb képet kaphassunk a P10-es anyag felületén létrejövő változásokról. Ezen eredmények komoly támogatást jelenthetnek a jövőben a fékanyagok korszerűsítése terén.

1.1 Tribológia

Tribológia az egymással kölcsönös mozgási viszonyban lévő felületeket kutató tudományág. Más néven a kopás, súrlódás és kenés tudománya. A dolgozat a tiszta Coulomb súrlódással foglalkozik, hisz a fékezés célja a mozgási energia csökkentése, minél rövidebb idő alatt. „A tribológiai vizsgálatoknak hat szintjét különböztetjük meg.

- I. Egyszerű alakú próbatesteken végzett modellkísérletek
- II. Próbatestek vizsgálata üzemi állapotot modellező igénybevétellel
- III. Eredeti alkatrész, vagy kisminta vizsgálata
- IV. Részegység laboratóriumi vizsgálata
- V. Kész berendezés laboratóriumi vizsgálata
- VI. Kész berendezés üzemi vizsgálata

A fejlesztők és kutatók feladata meghatározni, hogy mely vizsgálatokra van szükség.”^[1] Az alapkutatásokra használják az I és a II-es pontokat. A szintek növekedésével egyre közelebb kerülünk a valósághoz, viszont a folyamatokat egyre nehezebb kézben tartani, több tényező bekerülhet a vizsgálatokba és a költségek növekedéséhez is vezet.

Például a vasúti fékek kapcsán, egy kész üzemi vizsgálat esetén az út egyenetlensége okozta rezgések, valamint a szennyeződések is bekerülnek a rendszerbe és befolyással lesznek a koptatásra.

„A vizsgálati rendszereket nyitott és zárt tribológiai rendszerként csoportosíthatjuk. Nyitottnak nevezzük azokat a rendszereket, amelyeknél az érintkező felületek közül az egyik állandó.”^[1] Idetartozik például a forgó tárcsa és egy álló hasáb érintkezésének koptatása. „Zárt rendszereknek nevezzük azokat a tribológiai rendszereket, amelyeknél az érintkezés mindig ugyanazon a felületen történik meg, és azok együtt változnak. Ide tartoznak a fogaskerékpárok, dörzshajtások.”^[1]

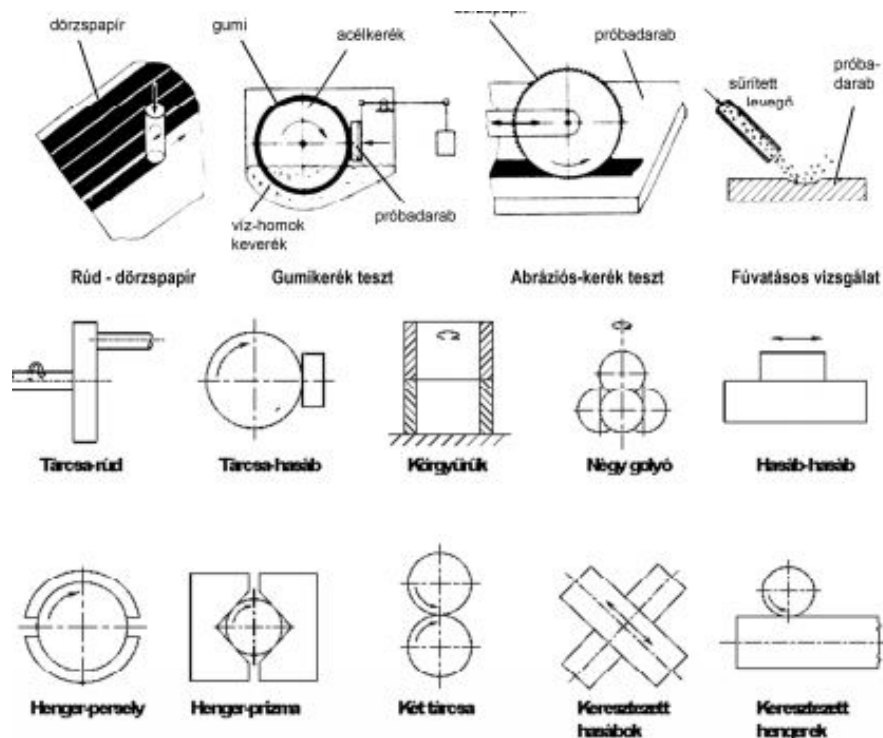
Az általam vizsgált vasúti féktestek a BME, Közlekedésmérnöki Karán épített kisminta berendezésből kerültek ki. Ez a III. szintű tribológiai vizsgálat kellően szabályozott körülményeket jelent, de a működési viszonyok már nagyon jól közelítik a valós üzemi körülményeket.

1.2 Modell kísérletek:

Modellkísérletek lényege egy olyan koptatási rendszer kiépítése, ami minél pontosabban reprodukálja az üzemi viszonyokat. Fontos a megfelelő tribológiai modell megválasztása, mert a rossz modellkísérletek eredményei tévútra vihetnek és hibás következtetésekhez vezethetnek. Ezért szükséges jól megválasztani a kutatás célját, amik a következők lehetnek:

- „Anyagok minősítése egy létező rendszerhez
- Anyagok minősítése egy új konstrukcióhoz
- Működő felületek megválasztási módjának kiválasztása
- Egy anyagkopási, súrlódási jellemzőinek, viselkedésének feltárása
- Kopási, súrlódási jelenségek vizsgálata”^[1]

Miután megtörtént a célkitűzés és az optimális tribológiai modellválasztás, következhet a tribológiai tesztberendezés típusának megválasztása. Ezek a koptató berendezések végezhetnek alternáló, vagy forgó mozgást. A kutatók feladata meghatározni, hogy épp melyik módszer közelíti meg a legjobban a valóságot. Az 1-es ábrán láthatóak a főbb tesztberendezések.



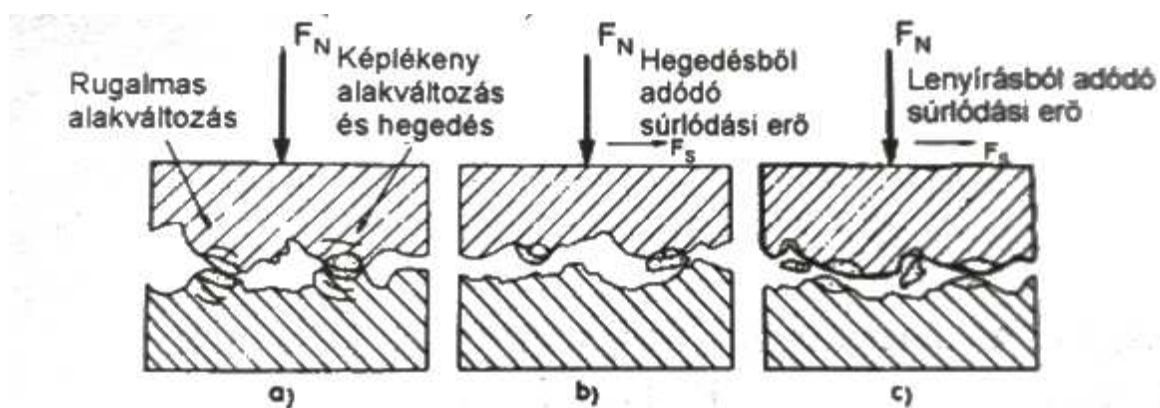
1.2.1. ábra Tribológiai tesztberendezések típusai[9]

1.3 Súrlódás és kopási jellemzők:

„A súrlódási folyamatnak mindig és minden körülmények között fellépő egymástól független két kísérő jelensége a:

- súrlódási ellenállás és a
- kopás

A két független kísérő jelenés között bizonyos igénybevételi tartományban, térben és időben korlátozott kölcsönhatás is van.”^[5]



1.3.1. ábra A súrlódás és kopás (a-alakváltozás, b-folyás és mikrohegedés, c-lenyíródás)^[5]

A későbbi értékelés megértésének könnyítése végett a csúszó súrlódás kialakulásának okaival fogok foglalkozni, hisz a féktest koptatása során ez a súrlódási ellenállás jelentkezik leginkább.

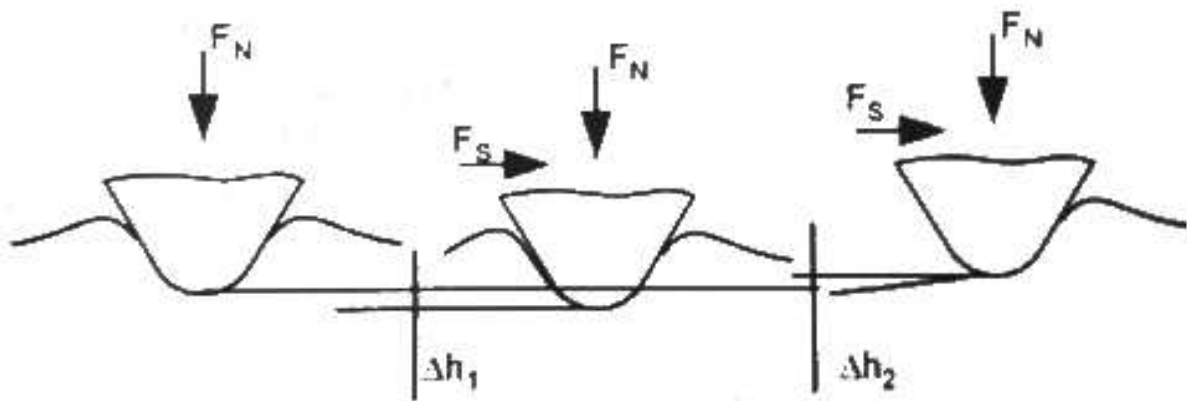
Ennek az ellenállásnak a fő oka, hogy a szilárd testek érdesség csúcsai a terhelés hatására belapulnak és a keményebb érdesség csúcsok a lágyabb ellenfelületbe benyomódnak; a csúszósúrlódás másik összetevője a kapcsolódó felületek adhéziója. „Az elmozdítási kényszerrel szemben ellenállást fejtenek ki. Ezt az ellenállást a súrlódó felülettel párhuzamos erővel, az „S” súrlódó erővel szokták kifejezni. (Az. 1.3.1.-es ábrán jól nyomon követhető ez a folyamat.)”^[5]

A tangenciális erő hatására csak igen kis, tized mikrométer nagyságrendű elmozdulások jönnek létre, a benyomódott érdesség csúcsokon a felületi nyomás átrendeződik, a csúcsok mélyebbre hatolnak, a felszíni anyagrétegek deformálódnak, megnövekszik az ellenállás az elmozdítási kényszerrel szemben. Amikor a tangenciális erőhatás eléri a csúszás megindításához szükséges értéket, anyagtorlaszt alakít ki a

benyomódott érdesség csúcsok előtt, ami megemeli a súrlódó testet, csökkenti a benyomódás mértékét és ez által a súrlódó erőt.

A mozgás alatt a benyomódott érdesség csúcsok barázdákat húznak, ellenállást fejtenek ki a mozgató erővel szemben. Az alakváltozások benyomódás mélységét és a tényleges érintkezési felület nagyságát is befolyásolják.

A barázda képzés mellett a mozgás kontinuitásának fenntartásával létesülő kapcsolatokat folyamatosan el kell nyírni, szakítani.”^[5]



1.3.2. ábra „Terhelés hatására benyomódott felületi érdességekre ható nyomás átrendeződése a tenciális erő hatására[5]

A súrlódás során lezajló tribológiai folyamat a felületeken maradandó változásokat okoz. Ezen változások vizsgálata segíthet megérteni a működés közben lezajlott folyamatokat. Annak érdekében, hogy pontos képet kapjunk, szükséges széleskörű vizsgálatot elvégezni, mely kiterjed a felület vizsgálatára és az anyagszerkezeti jellemzők feltárására egyaránt.

1.4 Érdesség vizsgálat:

„Az ember biológiai sajátosságaiból a felületek minőségét látás vagy tapintás útján képes vizsgálni.”^[1] Napjaink felületvizsgáló berendezéseinek a tervezésekor ezeknek a képességeknek a fejlesztésére, pontosítására fektették a hangsúlyt, így akár már atomi szintig tudjuk vizsgálni az egyes felületeket.

Az optikai érdesség mérők is megjelentek, ezek többnyire a fény hullámhosszának vizsgálatán alapszik, de ez a téma túlmutat a dolgozat keretein, ezért most csak megemlítem szintjén kívánok ezzel foglalkozni.

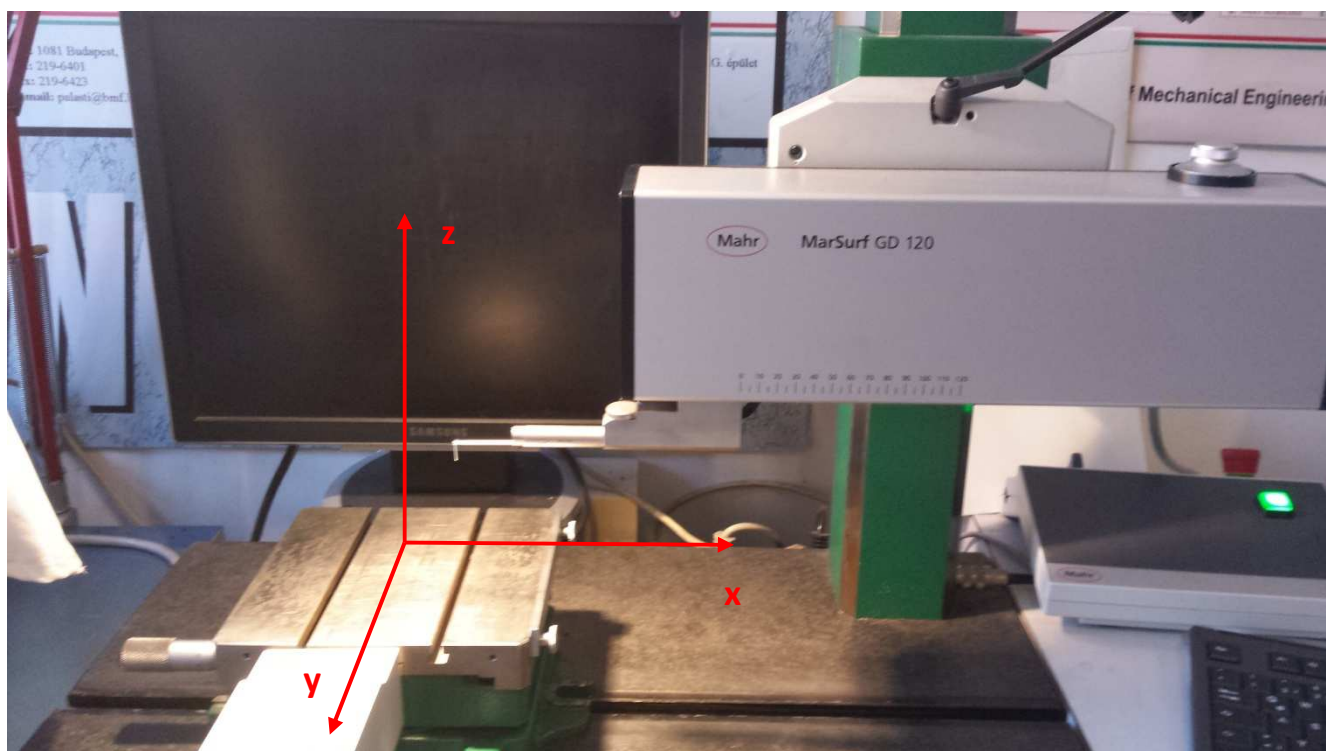
Napjainkban is előszeretettel használják a kutatók a metszettepintós mérőműszereket. Ezeknek az alapgondolatait Abbot és Firestone 1933-ban fektette le és az általuk megalkotott „talysurf” nevű készülék a ma létező tapintós érdességmérő műszerek őse. Ez a műszer egy tapintótűt vezetett végig a felületen, miközben regisztrálta a tű csúcsának elmozdulását az x-z tengelyen, ahol az „x” tengely a vontatás irányába eső, míg a „z” tengely a tű függőleges elmozdulásának irányába eső elmozdulásokat regisztrálja.

„A metszettepintós mérőkészülék négy fő részből tevődik össze: tapintó tű, mozgó asztalok,”^[1] amik lehetővé teszik akár a topográfia létrehozását az „y” tengelyen való elmozdulással, elektronikus vezérlés, számítógép vezérlés, az adatgyűjtéshez és a kiértékeléshez. Tovább vizsgálva a tapintót további két fő elemre bontható.

Egyik fontos része a gyémántkúpban végződő tű, mely lehet 90°-os, vagy 60°-os csúcshögh. Csúcshögh mellett a csúcshugarak szabványosítva 2, 5, vagy 10 µm nagyságúak lehetnek. Említésképp a 60°-os csúcshögh és 2 µm csúcshugarú tapintókat például az esztergalapok él lekerekedésének vizsgálatánál használunk. A másik fő egység egy jelátalakító (napjainkban szinte kivétel nélkül induktív elven működnek), ami a tű elmozdulásával arányos feszültséget hoz létre.

A puhább felületek (különböző műanyagok, gumi, alumínium) mérésére is alkalmazható, ugyanis a tapintóerő értéktartománya 0,5 – 20mN között változik.

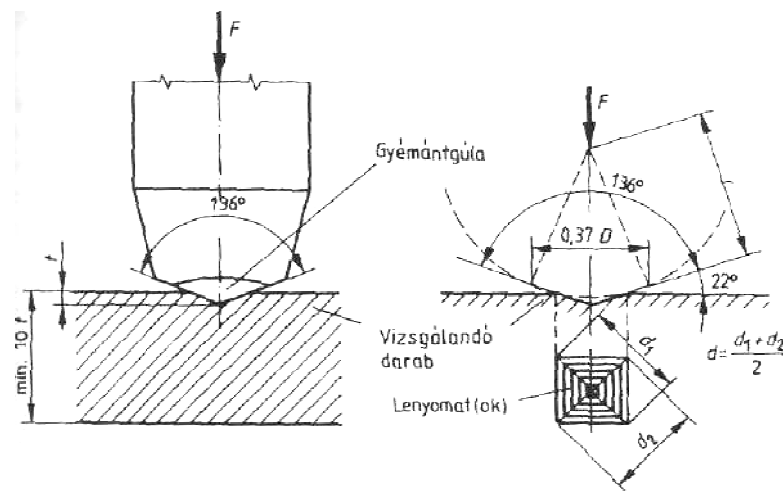
„A mozgórendszer esetén az X, Y, Z irányú elmozdulásokat egymástól független rendszerek valósítják meg. Az asztaloknak (vontatóknak) csak 1-1 szabadságfokuk van, előfeszített vezetékek vannak beépítve, ezáltal nagyobb pontosság érhető el. A mérőrendszer a komolyabb készülékek esetén rezgésszigetelt a mérőasztal révén (márványlap). A mérőrendszer vezérlése és az adatgyűjtés számítógéppel történik A/D jelátalakítókkal.”^[1]



1.4.1. ábra Mahr MarSurf GD 120 vontató és a műszerkoordináta rendszere

1.5 Vickers keménységmérés^[2]:

Vickers-módszernél (1.5. ábra) a szúrószerszám 136°-os csúcshögű négyzet alapú gyémántgúla, mellyel a létrehozott lenyomat felülete már arányosnak tekinthető a terhelés nagyságával tehát az szabadabban megválasztható. A felület előkészítésére igen nagy gondot kell fordítani, mert a keménységet sokszor aránylag kis terhelés mellett, csekély benyomódásból kell megállapítani. Amennyiben a megmunkálási barázdák a leolvasást zavarják, úgy a felületet tükrösíteni kell.



1.5.1. ábra Vickers keménységmérő lenyomata[2]

A vizsgálati terhelés vasötvözetek estén 30 kg, könnyűfémek estében 10 kg. Ezekről eltérő terhelés is alkalmazható. A terhelés szabványosan előírt időtartama vasötvözetekre és színesfémekre 10...15 s, könnyűfémeknél 30 s, igen lágy anyagokra 180 s is lehet. A vizsgálható darab vastagsága a lenyomat átlóinak legalább 1,5-szerese legyen. A hátlapon a vizsgálat után semmiféle alakváltozási nyomnak nem szabad lenni. A lenyomatot úgy kell elhelyezni, hogy annak középpontja a munkadarab szélétől vagy a két lenyomat közepe egymástól legalább 2,5-szerese legyen a lenyomat átlóinak. A sérült szúrószerszámot azonnal cserélni kell.

Lehetőség van mikroszkópon egyes fázisok, ún. mikrokeménységének mérésére grammos terhelésekkel, vékony rétegek, ill. munkadarabok helyi keménységének meghatározására 1 kg-nál kisebb (0,005...0,5 kg) terhelésekkel. A mikro keménység értékét szokás HVM jellel megkülönböztetni a makrokeménység-értékektől.

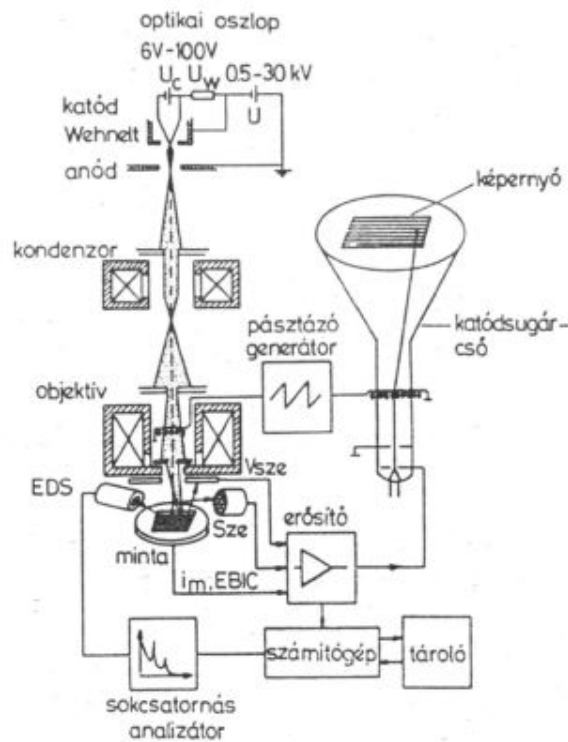
A mikrokeménység-mérést a metallográfiában, a szövetszerkezet tulajdonságainak meghatározása során, gyakran alkalmazzák. Az inhomogén szövetszerkezetű anyagok vizsgálata során cél lehet az átlagos keménység meghatározása. Ilyen esetben a terhelést úgy kell megválasztani, hogy a kapott lenyomat átlójának mérete a szöveteinek méreténél nagyobb legyen. Tehát ez esetben a lehető legnagyobb terhelést kell alkalmazni. Ha a vizsgálat célja egy-egy szövetelem (fázis) vagy szemcse (kristallit) keménységének megállapítása, akkor olyan terhelést kell beállítani, hogy a kapott lenyomat átlóhossza kisebb legyen, mint a kérdéses fázis mérete.

1.6 Optikai mikroszkópok^[1]:

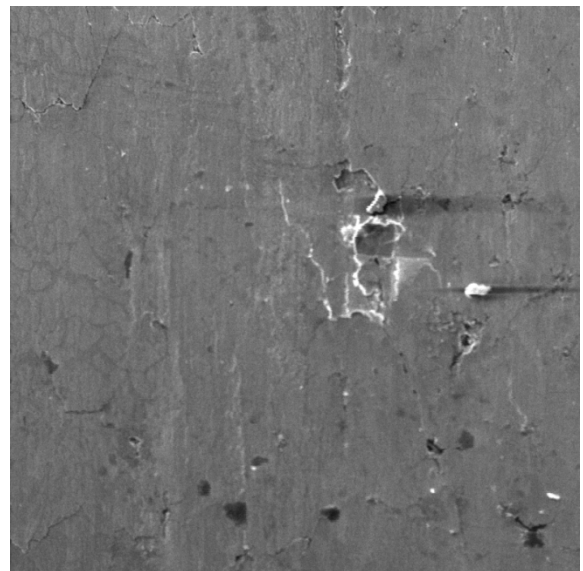
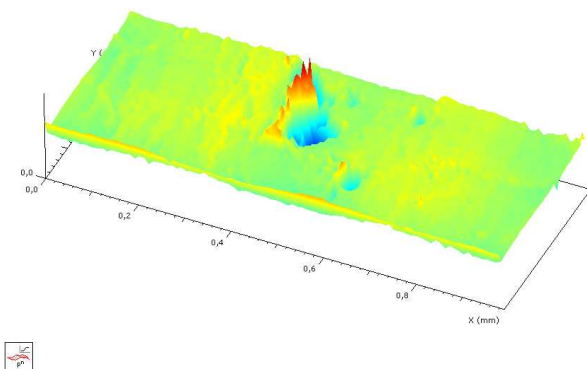
A pásztázó elektronmikroszkóp igen nagy felbontóképességű (1 nm) mikroszkóp. Működése azon alapszik, hogy egy jól fókuszált elektronnyalábbal végigpásztázzuk a vákuumban lévő minta felületét és a mintából származó jelekkel (szekunder elektronok, visszaszórt elektronok, röntgensugárzás) leképezzük a minta felszínét, oly módon, hogy a mikroszkóp elektronnyalábjával szinkronműködő katódsugárcső fényintenzitását a mintáról kapott jellel moduláljuk. A pásztázó elektronmikroszkóp vázlatos felépítése az következő oldali ábrán látható (1.6.ábra).

A pásztázó elektronmikroszkópok többsége elsősorban a szekunder elektronokból nyert információkat dolgozza fel. A szekunder elektronok gyengén kötött, külső héjon lévő elektronoktól erednek, amelyeket a nyaláb kiüt a helyükről. Ezek az elektronok kis energiával rendelkeznek, így csak kis mélységből (1 - 10 nm) érik el a felszínt. Összegyűjtve topografikus (felületi) információkat hordoznak. A SEM-ek egy része képes a visszaszórt (backscattered) elektronok detektálására. Ezen elektronok az eredeti nyalábból rugalmas és rugalmatlan nagyszögű szórását szenvedett elektronok. Ezek energiája nagyobb, mint a szekunder elektronoké. A felületen az elektronnyalábbal gerjesztett térfogat is nagyobb, mint szekunder elektronok esetén, így a visszaszórt kép felbontása rosszabb, mint szekunder elektron képé. Ugyanakkor, a visszaszórt elektronok hozama függ annak az atomnak a rendszámától, amiről visszaverődik, ezért a visszaszórt elektron kép ún. Z-kontrasztot mutat, képes az atomi csoportok (kristályhatárok) megjelenítésére.

A pásztázó elektronmikroszkópok felszerelhetők röntgen detektorral is. Röntgen sugárzás a SEM esetében az elektronnyaláb hatására a belső héjon létrejövő elektron vakancia betöltődése során keletkezik. A röntgen fotonok energiája jellemző arra az atomra, amelyből kiváltódott. A kapott spektrum tehát tükrözi a minta atomi összetételét.



1.6.1. ábra Elektron mikroszkóp elvi vázlata[1]



1.6.2./a ábra Keménységmérés topografikus kép

1.6.2./b ábra Keménységmérés SEM képe

A topográfiai és az elektronmikroszkóp képei jól kiegészítik egymást és ezáltal átfogóbb képet kaphatunk a lezajlott kopási folyamatokról. A kis felbontó képességű tapintós érdesség mérő műszer által szolgáltatott topográfia képesek vagyunk a pontos méretek lekérdezésére, addig a nagy felbontású mikroszkópos képek szolgáltatják a részletes képi információkat.

2.0 Miért épp a P10-es anyag:

A vasúti járművek világában csakúgy, mint a közúti járművek körében rendkívül fontos a fékrendszerek biztonsága és egyben a fékezésben részt vevő alkatrészek minél hosszabb élettartama. A kettő közti arany középút megtalálása a mai napig nagy kihívást jelent a mérnököknek. A feladat tehát találni egy olyan anyagot, ami a jó mechanikai tulajdonságok mellett megfelelő kopásállósággal is rendelkezik.

Az évek során így esett a választás a P10-es öntöttvasra, ami eleget tett a korábbi feltételeknek. Hibája, hogy a fékezés nagy hanghatással jár. Ezért a kutatók további kompozit anyagokkal kísérleteztek az utóbbi években, amiknek a tulajdonságai megközelítik a P10-es anyagnál tapasztalt értékeket, de a kopásállóság szempontjából jobbnak bizonyulnak.

„Az új építésű tehervonatokon már zajlik ezeknek a kompozit anyagok felhasználása. Az új technológia és anyagok alkalmazásának előnyei már tapasztalhatók, az elhaladó tehervonatok zajméréseinek eredményei kiválóak, de egy újabb megoldandó probléma jelentkezett”^[3], amit alábbi táblázat tartalmaz.

Kocsi típus	féktuskó		tuskó kopás [mm]				kerék kopás [mm]					
	minőség	típus	P10	[%]	kísérleti	[%]	P10	[%]	kísérleti	[%]		
Tapps	K	C810	57,0	100	22,7	40	1,0	100	3,60	360		
Laeks	LL	C952	30,8		5,5	20	0,8		1,70	213		
Laeks	LL	J777			15,6	50			2,20	275		
Laeers	LL	C952			33,7	6,4			20	1,1	1,30	118
Sgns	LL	C952	26,5		5,3	20	1,3		3,10	238		
Sgns	LL	J777			10,7	40			3,50	269		
Sgns	LL	IB116*			10,9	7,4			70	1,6	2,00	125
Zas	LL	C952	nincs még eredmény									
Zas	LL	IB116*										

2.0.1. táblázat Kopás intenzitása; 100.000 futott km utáni összehasonlítások a P10-es anyaggal [3]

A mért eredmények 100.000 km futásteljesítmény után hasonlították össze a kopás intenzitását a P10-es anyaggal különböző kocsi típusokon mérve. Pozitívumként szolgál, hogy a féktestek a használat során kevésbé koptak, mint a P10-es anyag, így hosszabb élettartamra lehet számítani. A probléma ott van, hogy a rendszeren belüli szerepek felcserélődtek a kompozit anyagoknál. Az igaz, hogy amíg a P10-es anyag teljesen elkopott, addig a kísérleti anyagoknak csak közel a 30%-a kopott le, de ez a túlzott javulás a kerekek élettartam csökkenését okozta. Kiugró értéként érdemes megvizsgálni a Tapps típusú kocsinál elért eredményeket. Míg a P10-es anyagnál a kerék 100.000 km után 1mm-t kopott, addig a kísérleti anyag a kerékből 3,6mm-es réteget választott le. Ez 360%-os koptatást jelent.

2.1 P10 kiváltásának lehetséges okai:

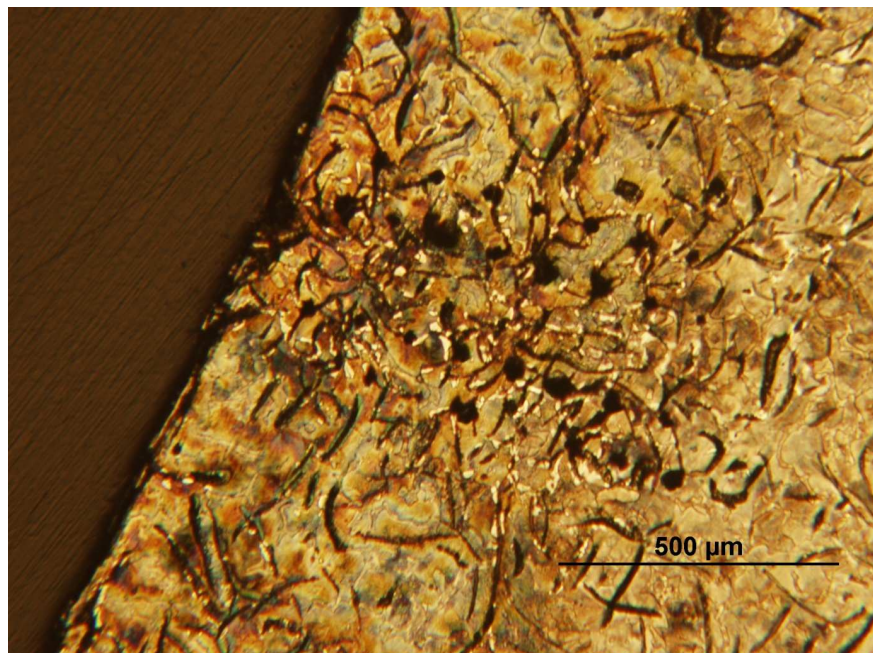
„Az Európai Bizottság jelentős határozata a zajcsökkentés érdekében a „TSI-Noise” előírása és hatályba léptetése”^[3]. Ezért úgy gondolom, hogy a féktest kiváltásának legfőbb oka a zajterhelés csökkentése. Ez elsősorban a tehervonatokra vonatkozik, mert a személyvonatok súlycsökkenése már lehetővé tette a villamos visszatáplálási féküzem lehetőségét.

További probléma léphet fel a kerék élettartamában is, itt most idézném „Eckhard Friebe” csoportvezető szavait: A szokásos szürke öntöttvas féktuskók teherkocsi kerekek futófelületei a fékezések miatt megsérülnek. Emiatt repedések keletkeznek és ezek előbb-utóbb bajt okoznak. Abban az esetben, ha az öntöttvas féktuskók helyett műanyag féktuskókat építenek be, akkor a kerekek nem károsodnak.”^[4] Itt azonban felvetődik egy probléma. Úgy vélem ebben az esetben változtatást igényel a konstrukció. Az ok pedig a súrlódási tényezőben keresendő. Más értéket ad a műanyag és acélkerék páros, és megint más értéket ad az öntöttvas acél párosítása.

3.0 Anyagtani vizsgálatok:

Hogy pontosabb képet kaphassunk a kopások okáról, anyagtani vizsgálatokat végeztem.

Kopás során, a felszínen gyakran létrejön az oxidáció hatására egy védőréteg, vagy épp a hőmérséklet hatására kilágyulhat az anyag. Ezeket a jelenségeket kutatva készítettem több mikrokeménységi vizsgálatot és kémiai elemzéseket. Célom volt, hogy meghatározzak egy elkülönülő keménységi réteget és elemezzem azt a tartományt, ahol a keménység eltér a darab többi részétől. A mérések elvégzése előtt a darab előkészítésére volt szükség. Az előkészület során kisebb darabokat vágtam ki a bekoptatott próbadarab erősen kopott részéből. Ha valahol létrejön szövetszerkezet változás, akkor az biztos, hogy az erősen kopott résznél jelentkezik először, mivel a hőmérséklet és a súrlódás a koptatás során itt volt a legmagasabb. A mikrokeménységi vizsgálatok 100g-os főterheléssel és 11 szekundumos terhelési idővel készültek. Az alábbi ábrán a kivágott próbadarab maratott állapotban látható a fénymikroszkópos képen. A képről tisztán kivehető a mérés során használt gyémánt gúla négyszög lenyomata és a mérési pontok elrendezése.



3.0.1. ábra Keménység mérésének elrendezése

Az egyes mérési pontok közt a távolságot 50 μ m-re határoztam meg, hogy minél pontosabban meg tudjam határozni a létrejövő réteg vastagságát. A felülettől számítva a legtávolabbi pontot 800 μ m távolságra határoztam meg. Ez bőven elegendőnek bizonyulhat a tapasztalati eredmények alapján, mert ha létre is jött a felszínen egyfajta szövetváltozás, az az első négy mélységi zónában jöhet létre.

A mérések során meglepő eredmények születtek. A vizsgálat elején kialakulni látszott a felkeményedés a felszínhez közeli régiókban, de aztán az eredmények igencsak nagy szórásnak indultak.

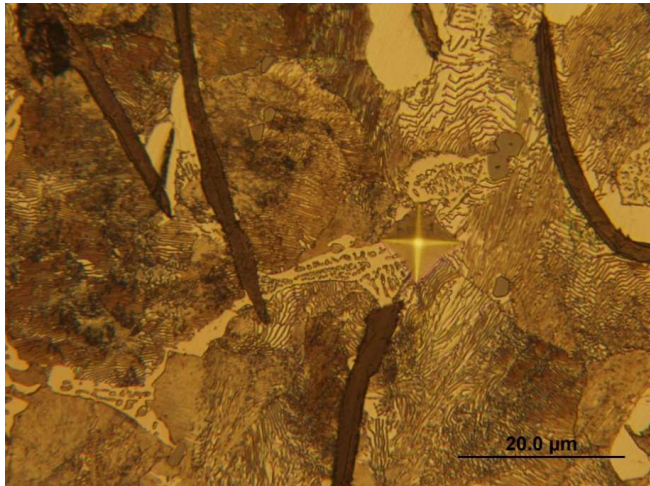
Mért eredmények:

1. mérés		2. mérés	
Mérési pontok	Mért érték (HV0,1)	Mérési pontok	Mért érték (HV0,1)
1	372,9	1	321,9
2	314	2	269,1
3	248,8	3	285,2
4	327,4	4	173,4
5	279,7	5	191,1
6	181,7	6	140
7	242,6	7	130,1
8	283	8	246,1
9	533,1	9	191,1
10	241,7	10	169,1
11	179,4	11	186,3
12	198,7	12	341,6
13	264,1	13	197,4
14	150,1	14	410,7
15	254,4	15	314
16	220,5	16	290,9

3.0.1. táblázat Mikrokeménység mérés eredményei

Ezek az eredmények bizonytalanná tették a korábbi feltételezéseimet, ezért a keménységi vizsgálatokat követően a darab maratott állapotának a fénymikroszkópon történő szemrevételezése következett. Így kaphattam meg a választ a mért eredmények eltéréseinek okára. A metszetet 200x-os nagyításban megvizsgálva nem látszott szövetszerkezeti elváltozás a felszínhez közeli zónákban. A mikroszkópos képek és a mikrokeménységi eredmények alapján nem jelenthető ki se felkeményedés, se kilágyulás(ld.: következő oldal). Ezért a kopási tulajdonságokra máshol kell keresni a választ. Viszont továbbra is fennáll a kérdés, hogy a keménységi értékek szórásának mi adhat okot? A mikroszkópos képek erre is

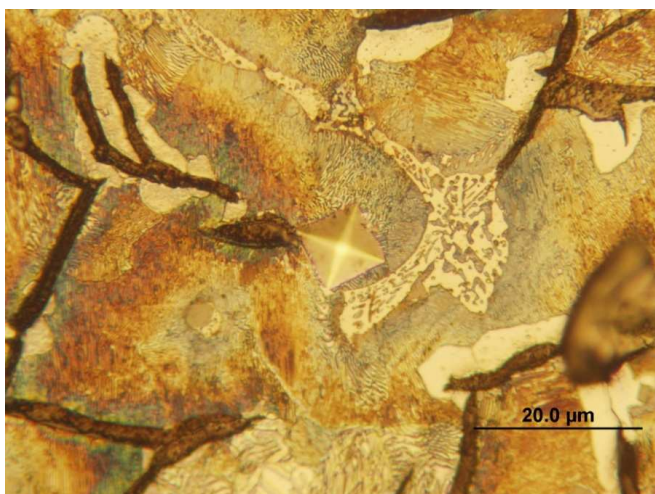
választ adnak. Jól látszik, hogy a mérés során az egyes szövetelemek keménységi értékeit kaptam meg és nem egy elkülönülő réteget.



Mérési pont: 9
Keménység: 533,1 HV
Szövet: Foszfidos eutektikum
Mérési sorozat: 1.



Mérési pont: 7
Keménység: 130,1 HV
Szövet: Grafit
Mérési sorozat: 2.

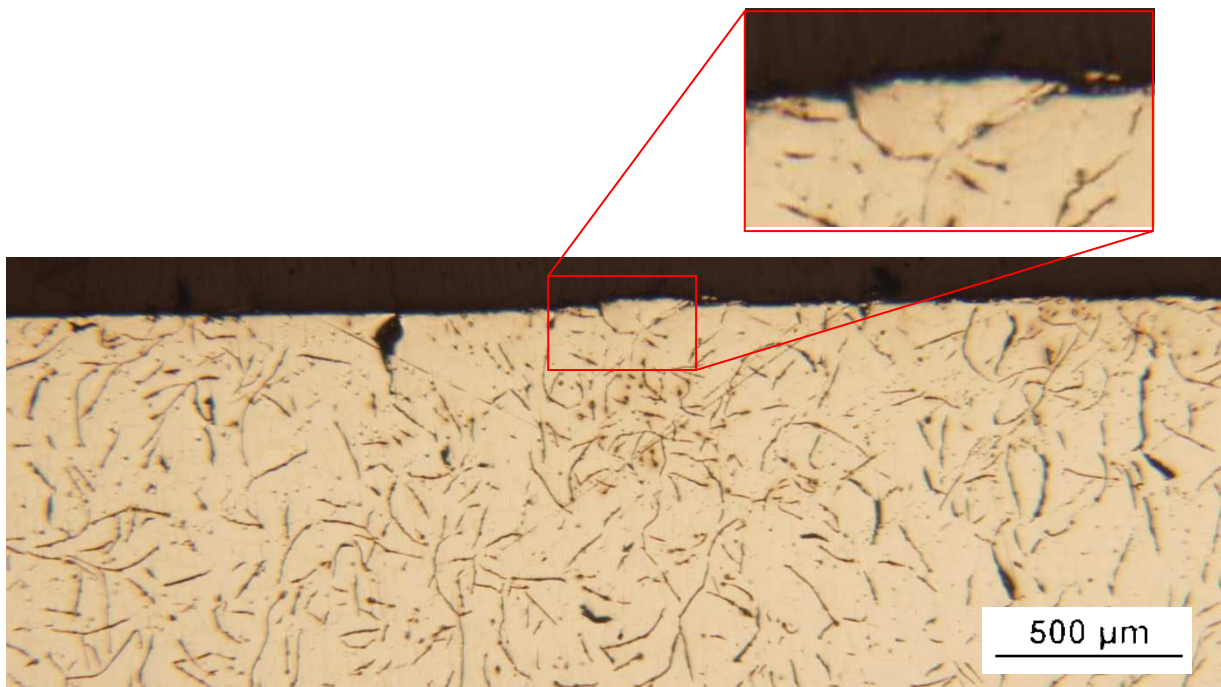


Mérési pont: 14
Keménység: 410,7 HV
Szövet: Perlit
Mérési sorozat: 2.

3.1 Kopás analízis fény- és elektron mikroszkóp segítségével

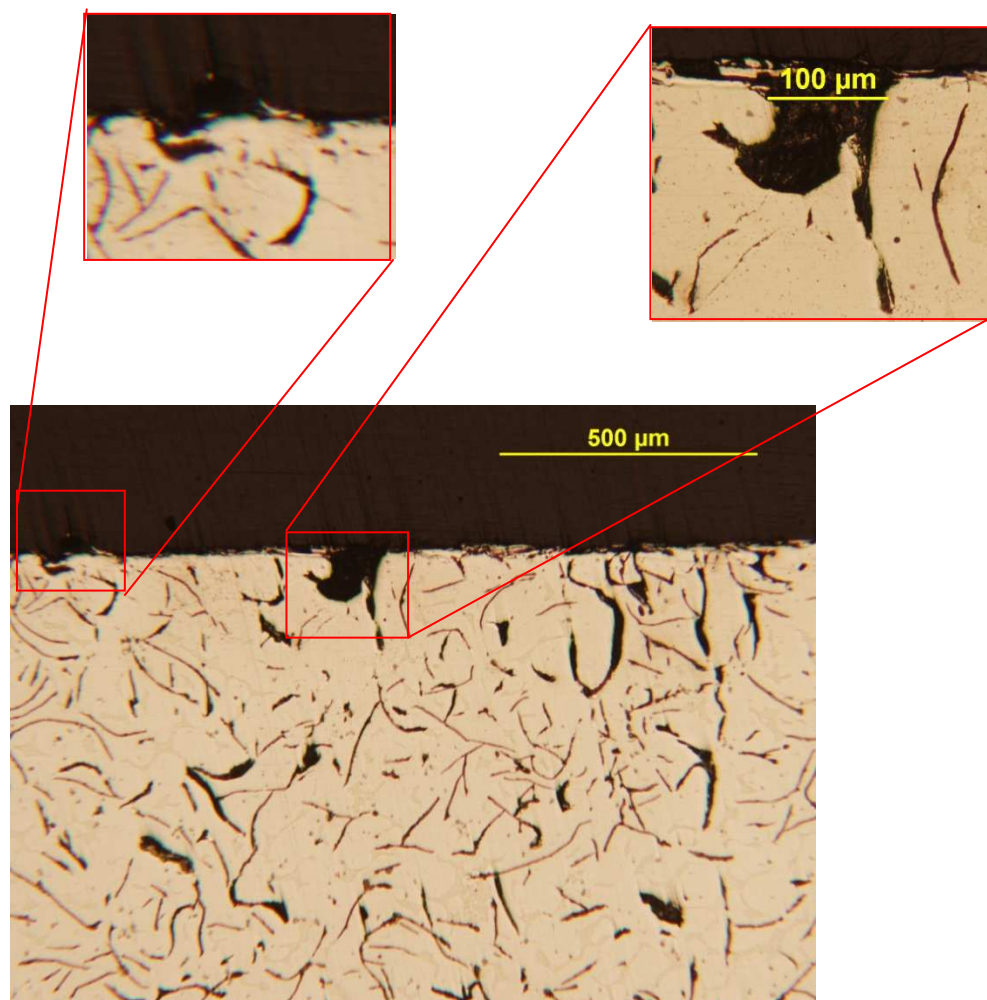
A keménység mérés választ ad a felkeményedés kérdésére, viszont arra nem, hogy a feltapadások illetve kiszakadások milyen okoknak tudhatók be. A vizsgálat célja, a felrakódások és kiszakadások okainak feltérképezése. Hogy a kiszakadások okaihoz közelebb kerüljünk, maratott és maratlan állapotban is vizsgáltam a metszeteket, hogy minél több információt kinyerhessek a képekből. Csiszolatkészítést követően a maratáshoz 3% Nital-t használtam. Első közelítésben a maratlan állapotot vizsgáltam.

Az első ábrán egy korábban kivált szemcse beékelődése, vagy épp kiszakadásának kezdete látható, ami a környezetében lévő feltételezett repedésekből vehető észre. Amennyiben ez a szemcse kiszakad, úgy a folyamat előrehaladtával feltapad vagy „felkenődik”. Hasonló jeleket tapasztaltam a vizsgált topográfiákon és az elektron mikroszkópos képeken is amik a későbbi fejezetekben szépen látszódnak, így ez az észrevételem feltehetően beigazolódni látszik. Kicsit tovább elemezve a metszeti képet látható a lemezes grafitkristályok alakja, és az egyenletes, helyenként rozettás eloszlása az anyagban.



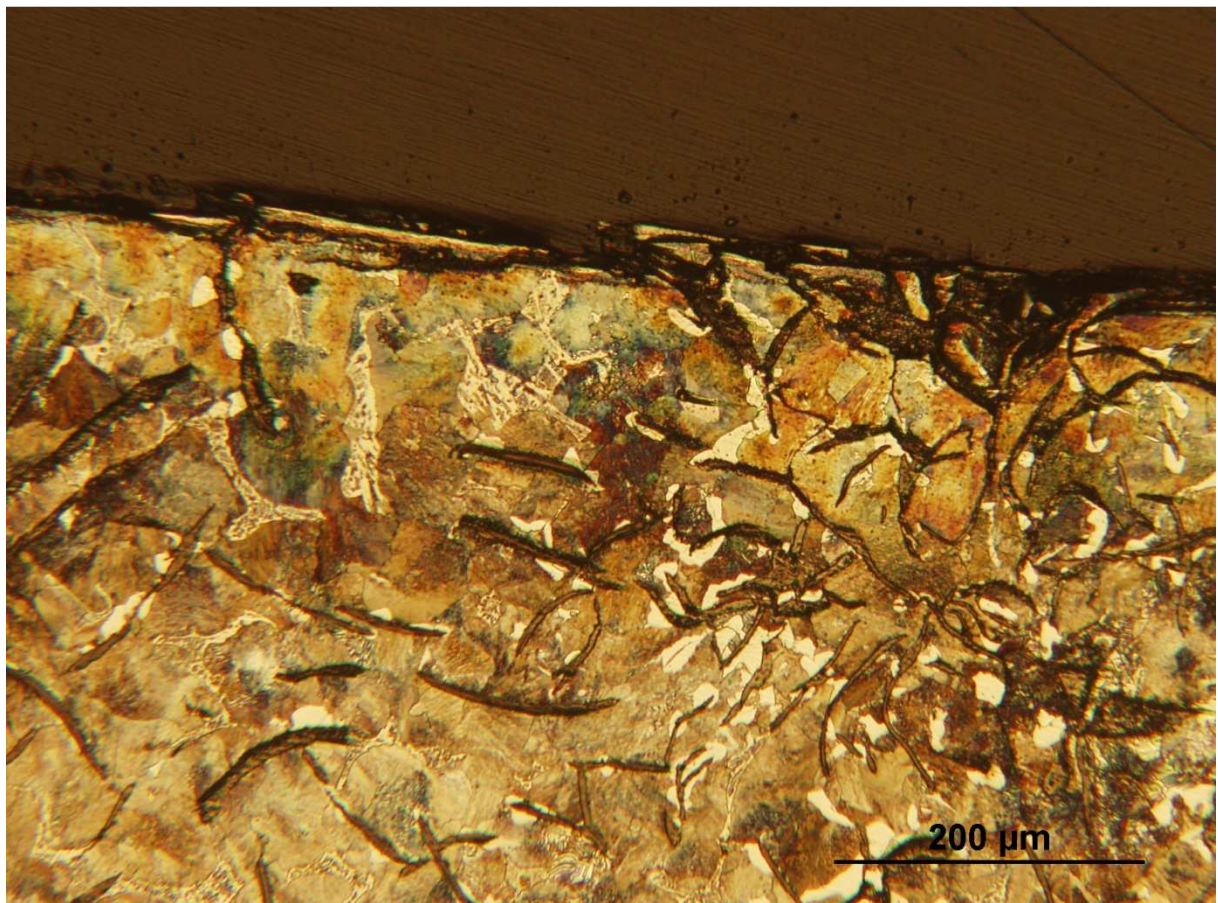
3.1.1. ábra Kipattanni készülő szemcse

A 3.1.2. ábrán egy közel $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ területű „kráter” keletkezhetett, vagy egy nagyobb grafit szemcse vehető észre. Több kiszakadást megvizsgálva azt vettem észre, hogy a kiszakadások zöme a grafit határok körül keletkezett. Erre adhat magyarázatot a grafit „kis” $\approx 140 \text{ HV}$ -s keménysége (amit a keménység mérés is igazol) és a kitűnő hasadó valamint transzlatálható képessége, és a lemezes szerkezete. Ezek a tulajdonságok elegendő okot adhatnak arra, hogy az intenzív kopás következtében elsőként ezeken a pontokon fog meg bomlani az anyag szerkezete, majd ezek a kivált szemcsék kopadékként tovább vándorolnak a rendszerben.



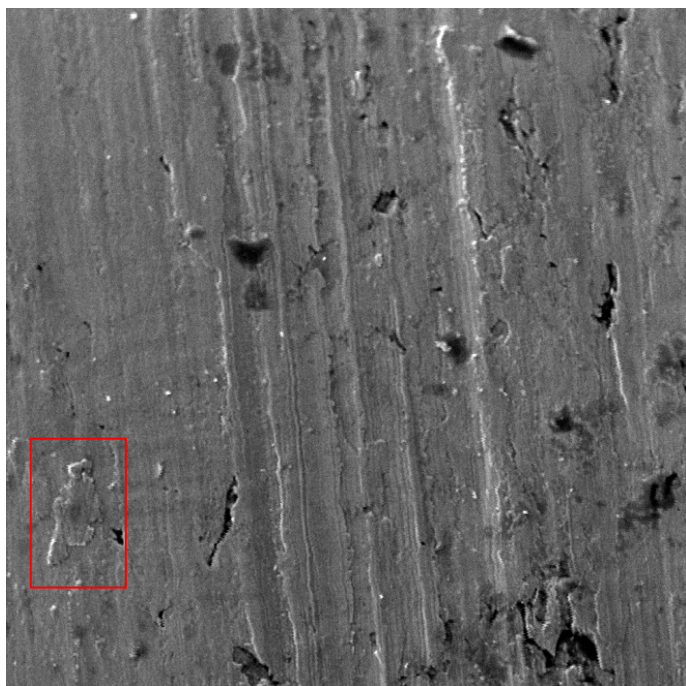
3.1.2. ábra Feltételezett szemcse kiszakadások

A szövetelemeket tovább vizsgáltam fénymikroszkópon is maratott állapotban, ahol a 3% Nital-al való maratást követő kép látható a 3.1.3. ábrán. A maratott képeken jól látszanak a felrakódások és a kisebb kiszakadások nyomai. A kiemelt helyen a felszín nagy mennyiségű grafitot tartalmaz, ami a csúszás irányába eső nyírás hatására feltöredezhethet és kiválhat az anyagból, majd feltapadhat. (Ezt a későbbi bemutatásra kerülő elektron mikroszkópos vizsgálatok is igazolják.)

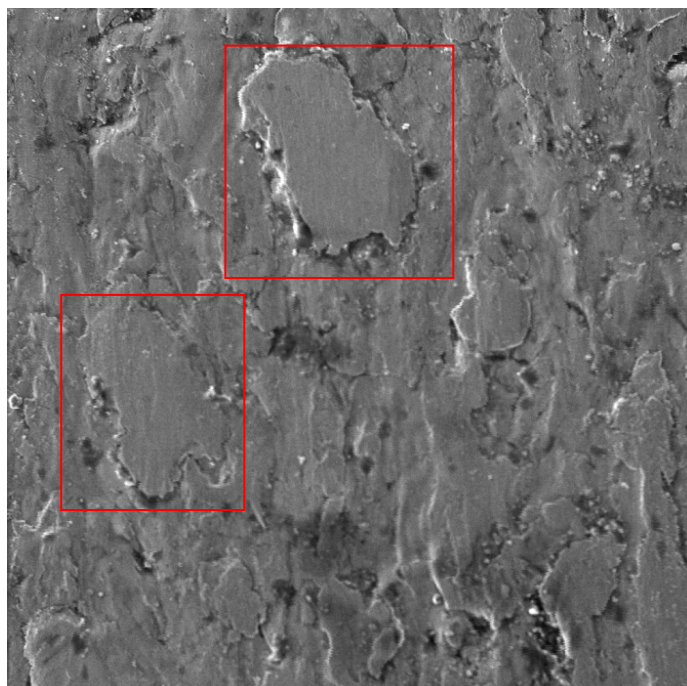


3.1.3. ábra Felrakódott anyagok a felületen (Fénymikroszkópos vizsgálat)

Az 11-12. ábrákon is jól látható a már korábban tapasztalt felrakódás. Feltételezhető tehát, hogy a topográfiáknál tapasztalt kiszakadások anyagtani szempontból azzal magyarázhatók, hogy a grafit határokkal körülvett grafit alacsony keménységi értéke mellett a lemezes szerkezet hatására könnyebben kiszakadhatott és ez által leválhatott a felületről. Ez a periodicitás szépen követhető a folyamatok előre haladásával. A 3.1.4-es és a 3.1.5-ös ábrákon ezt tapasztaltam az elektron mikroszkóp képeinek segítségével, ahol ezeknek a felrakódásoknak a méretnövekedése látható.

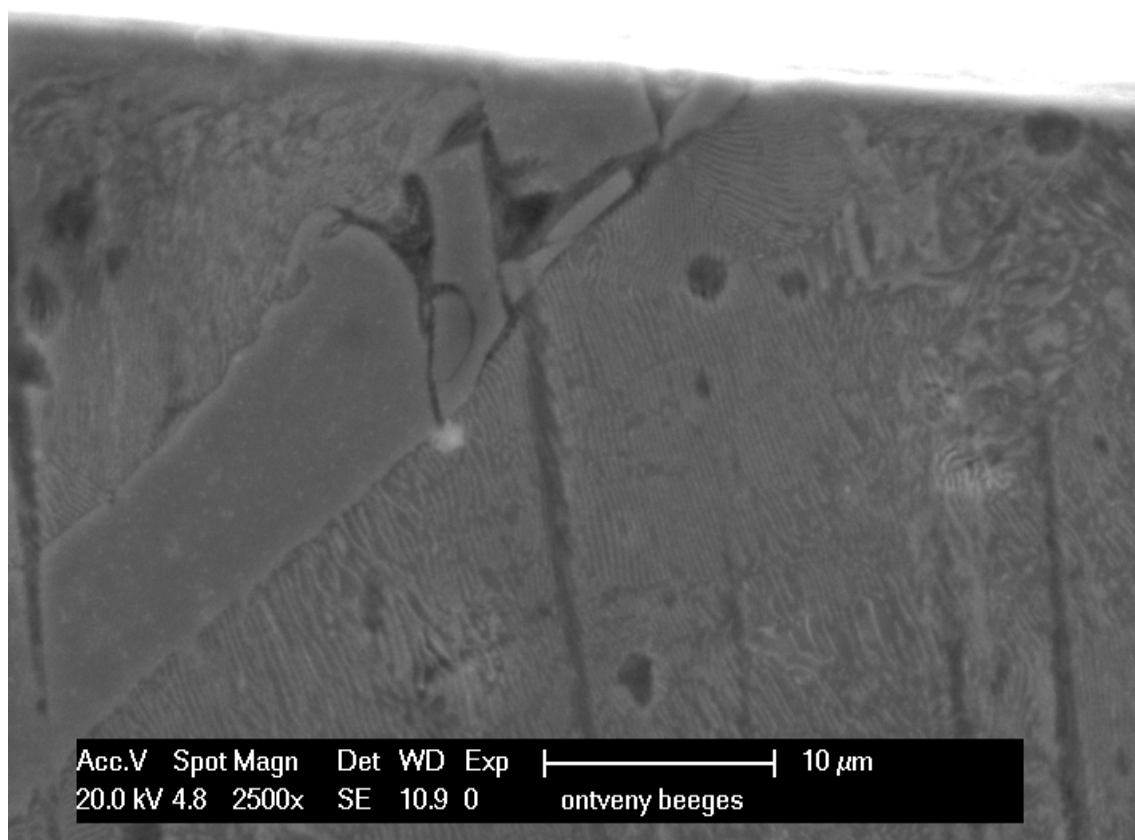


3.1.4. ábra 50s-os féktest felrakódások megjelenése (200x nagyítás)



3.1.5. ábra 150s-os féktest felrakódások növekedése (100x nagyítás)

A SEM mikroszkóp segítségével rendkívül sok információt tartalmazó képet kaptam a felszín közelében lévő grafitról. Korábban elemeztem és feltételezéseket tettem a grafit működés közbeni tulajdonságaira. A 3.1.6-os ábra is ezeket a feltételezéseket erősíti, ahol a széttöredezett grafit látható. Ennek oka lehet, hogy a csúszásból és a nyomásból eredő erő komponens pont abban az irányban támadta az felületet, ahogy a grafit lemezek helyezkedtek. Ezáltal feltételezhetően a nyomóerő és a nyíróerő együttes hatása tördelhette szét a grafitot.

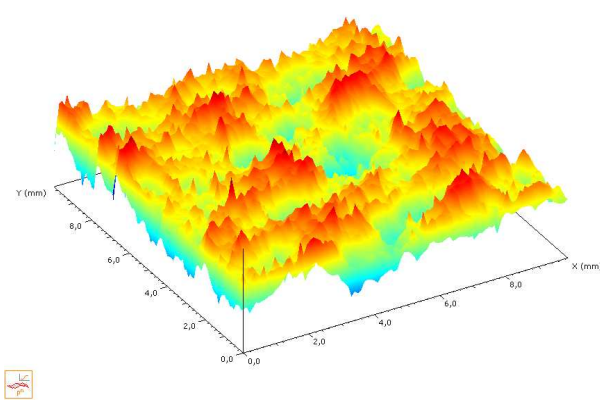


3.1.6. ábra Grafit összetöredezése a felszín közelében

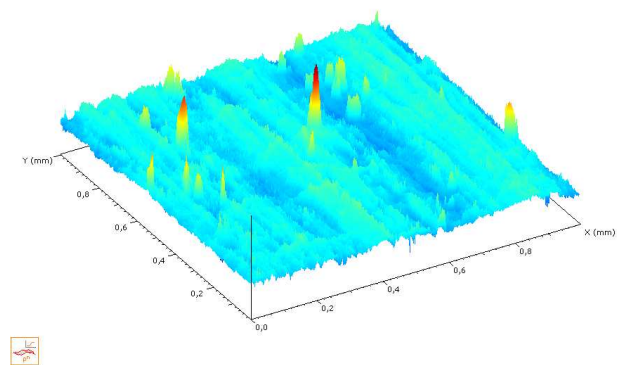
3.2 Topográfiai vizsgálata:

A méréseim elején célul tűztem ki, hogy az egyes felrakódásokhoz, vagy kiszakadásokhoz paramétert is rendeljek, és így a jellegzetes vonásokat számszerűsítsem. Fontos volt számomra, hogy a különböző mérőberendezéseken mért eredményeket jól összevethetővé tegyem.

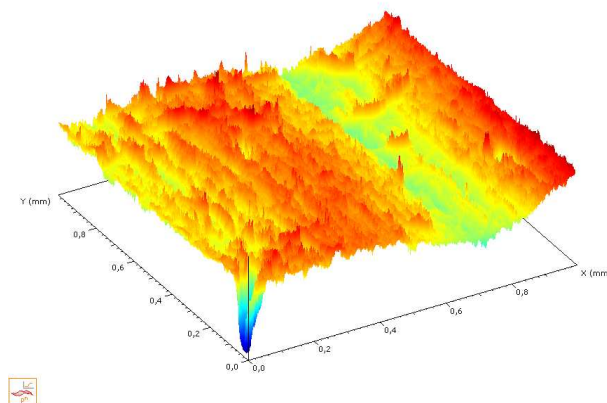
A koptatást követően a felületről $1 \times 1 \text{ mm}^2$ –es területű topográfiaiák készültek. A lépésközt mind „x” és „y” irányban $2 \text{ }\mu\text{m}$ -re választottam meg, hogy minél részletesebb képet kapjak a felületről. A vizsgálat során három jól elkülönülő kopásforma jelentkezett, amiket a későbbi fejezetekben fogok elemezni. Ezek láthatók a 3.2/a,b,c ábrán.



3.2/a. ábra Eredeti felület topografikus képe



3.2/b. ábra Kopás első szakaszának topografikus képe



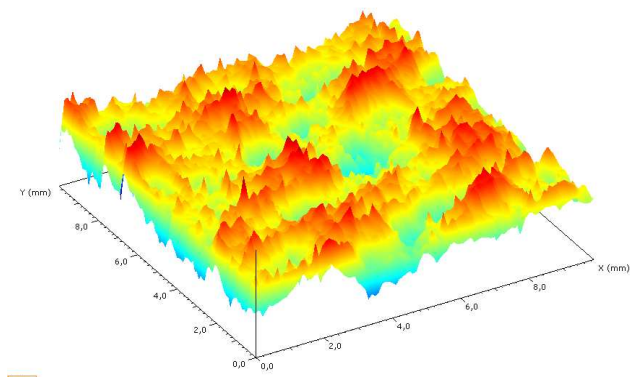
3.2/c. ábra Erősen felület topografikus képe

3.3 Eredeti felület

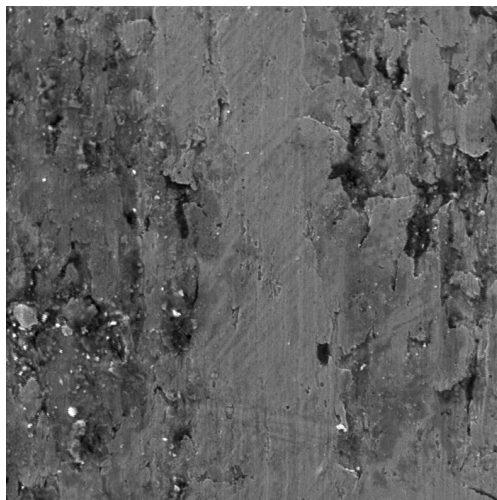
A koptatást követően, mint az a 3.3.1-es és a 3.3.2-es ábrákon is látszik, volt olyan rész a féktesten, ami nem érintkezett még a kerékkel, így még nem vett részt a kopási folyamatban. Ezt kihasználva tudtam készíteni pár képet az eredeti felületről is, és így ezt választottam referenciának, hogy pontosabban tudjam jellemezni a bekopás kezdeti szakaszát.

Az eredeti felületről készítettem topográfiát és SEM képet is. A képeken jól látszódnak a gyártástechnológia nyomai, és a koptatás előtti állapotok. Jól megfigyelhetők az érdesség csúcsok, és a kisebb anyagihiányok, amik lehetnek öntészeti hibák, vagy akár az alakadást követően válhattak ki az anyagból.

Az elektron mikroszkóppal készített képeken is jól megfigyelhetőek ezek a jellegzetességek, amiknek a méreteit a topografikus kép szolgáltatja.



3.3.1. ábra Eredeti felület topografikus képe



3.3.2. ábra Eredeti felület SEM

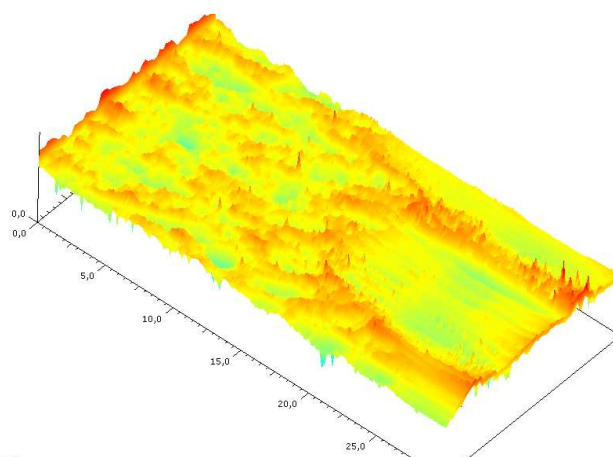
3.4 Kopott részek vizsgálata:

Az alábbi képen maguk a koptatott darabok láthatók. A darabok jól elkülöníthetőek a koptatásban eltöltött idők alapján. A kapcsolási idő növekedésével arányosan nőtt az érintkező felületek tényleges mérete. Ezért jöhet létre egy bekopási szakasz, ami a darabnak az a része, ami éppen érintkezik az ellenfelülettel, de a nyomóerő nem érte még el a fékező erő nagyságát. Ezt kihasználva tudtam a működés előtti felületeket mérni.



3.4.1. ábra Vasúti féktestek /200s,150s,100s,50s/

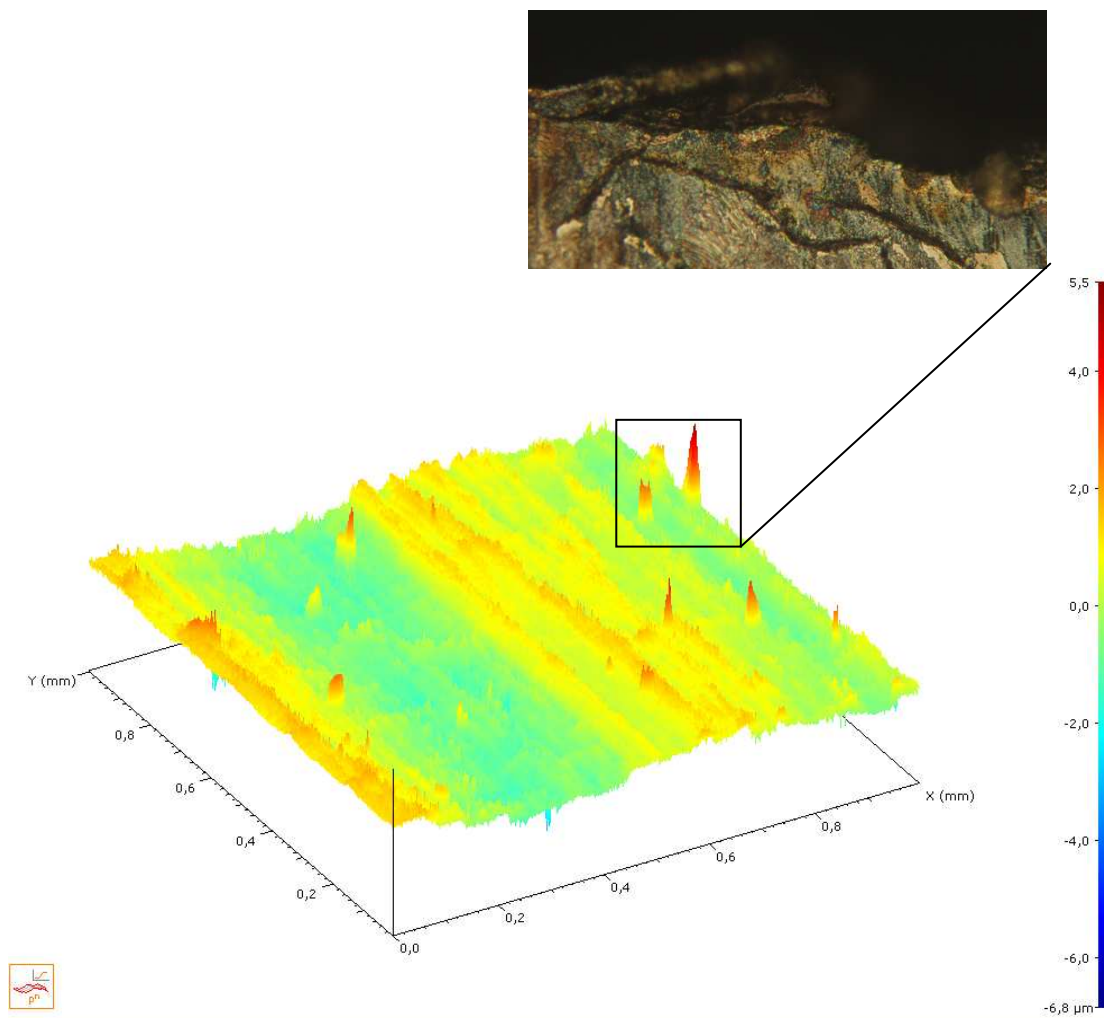
Az alábbi ábrán az eredeti és a bekopási szakaszban lévő zónák láthatók. Jól elkülöníthető ez a két tartomány, és a bekopási szakasznál jól látható, hogy a kerék korábbi érdesség csúcsokat letörte és a barázda képződés jelei is már feltűnnek a felületen.



3.4.2. ábra Átmenet topografikus képe

3.5 Kopás első szakasza

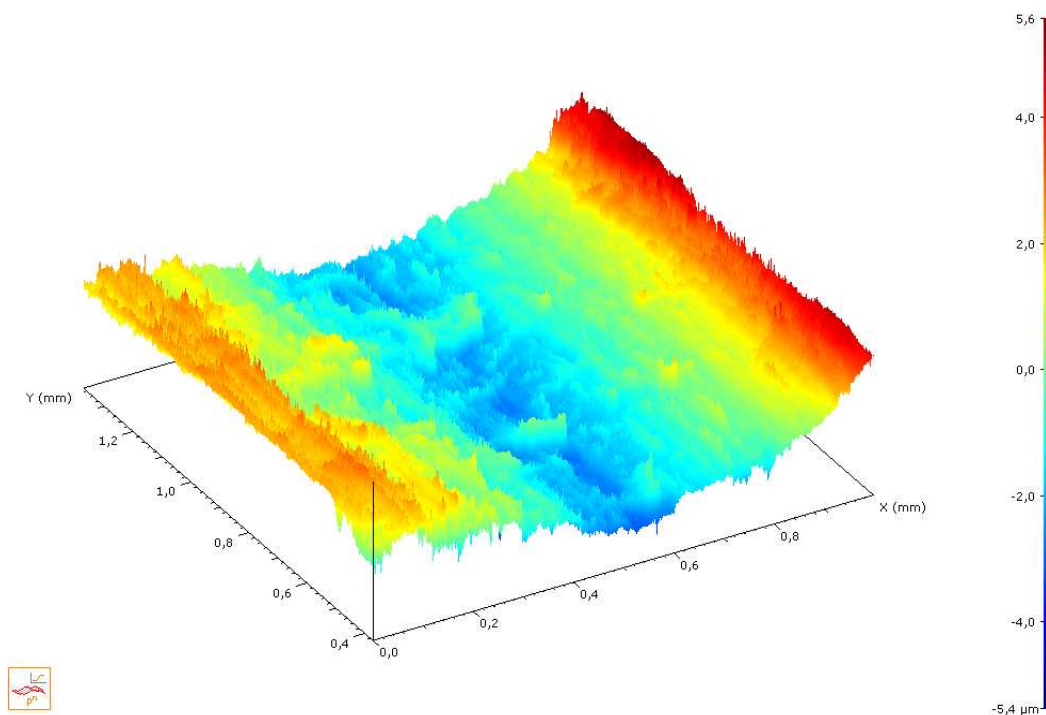
A kopás első szakaszában mért eredmények a várt értékeket hozták, és az érintkező felületek egymást alakítva összekoptak. A kevésbé kopott felületeken jellemzőek voltak ezek az 5 μm nagyságú csúcsok. A topografikus képek és a fénymikroszkópos képek közt kerestem a megjelenésének a magyarázatát. Feltételezésem szerint a kiszakadások úgy jöhetnek létre, hogy a mechanikai igénybevételek hatására a felületen az anyag először megemelkedik, majd a további súrlódás hatására, ha megtapad, akkor az adott részről könnyen ki is válhat. Ezek a csúcsok jelenthetik a megemelkedést követő pillanatot. Az elkenődés jelei már ennél a korai folyamatnál megjelennek, de még nem olyan nagy mértékben, mint az erősen kopott részeknél. A hullámvölgyekben az anyag elkenődött, de a felső tartományokban még nem indult meg ez a folyamat, ott még a karcosodás a jellemzőbb.



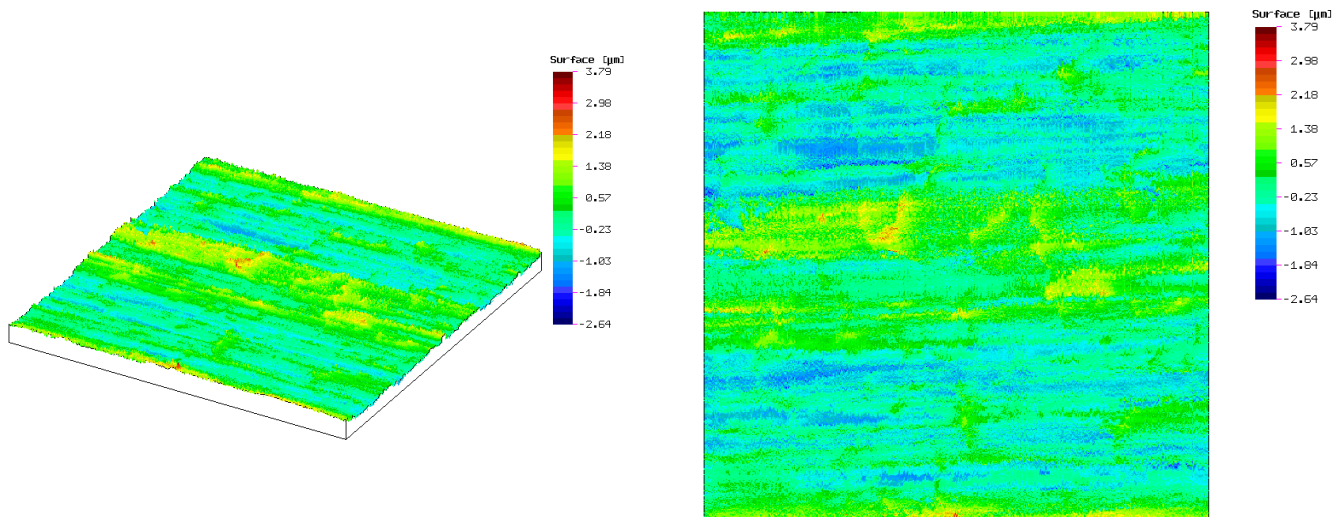
3.5.1. ábra Csúcsok megjelenése a kevésbé kopott részeken

3.6 Erősen kopott szakasz:

A folyamat során kiváló anyag újra feltapad a felületre, majd ha ismét eléri a nyíró feszültség az anyagra jellemző értéket, a feltapadt szemcse a grafit határok mentén újból kiszakad és egy újabb felületre tapad fel. Ennek a folyamatnak az ismétlődésével fokozatosan növekszik a kiszakadó anyag mérete, ami barázdákat képezhet a felületen.

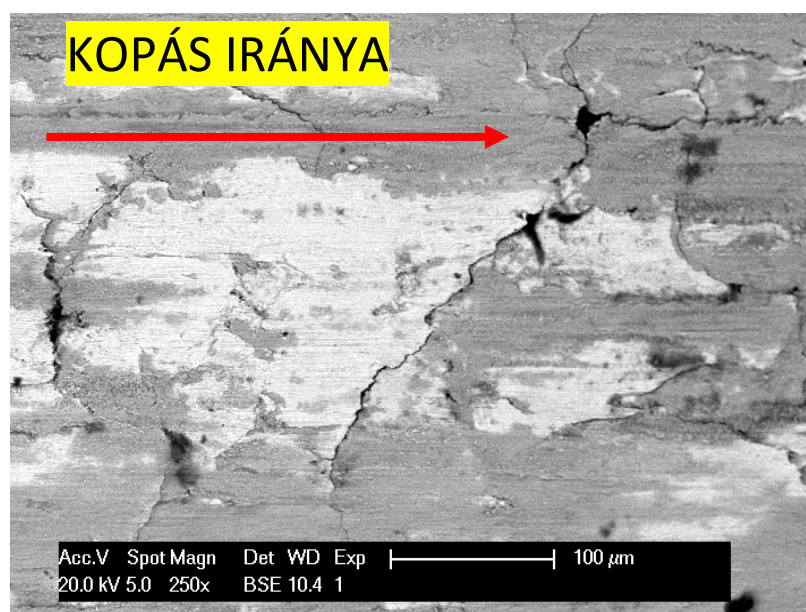


3.6.1.ábra Erősen kopott részeken megjelenő abrazív kopás



3.6.2.ábra A féktest elkenődött képe 200s kapcsolási idő után

A korábbi elektronmikroszkóp képein is jól látszódnak az elkenődések nyomai. A felületet tovább vizsgálva a közel 500 C°-os hőmérséklet hatására oxidálódhat a felső réteg. Az érintkezés során ez az oxidréteg felrepedhet és oxidpor, vagy oxidhártya alakjában leválhat a felületről. A leváló vasoxidnak közel kétszer akkora a keménysége, mint az alapfémé, ezért ha ez a rendszerben marad, komoly károsodáshoz vezethet. Ennek létrejöttének vizsgálatára készítettem kémiai elemzéseket a felületről. A mikroszkópos képeken az elkenődések mellett a felület berepedezése is feltűnik. Feltételezhetően ez szintén a grafit összetöredezésének lehet az oka.

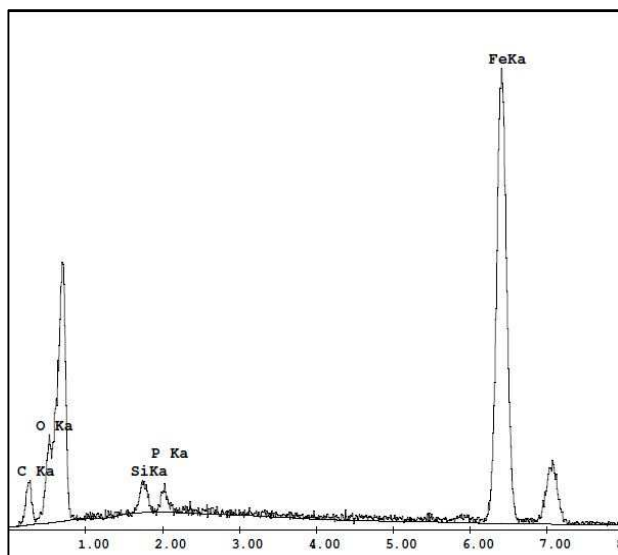


3.6.3.ábra Kopott felület „SEM” képe

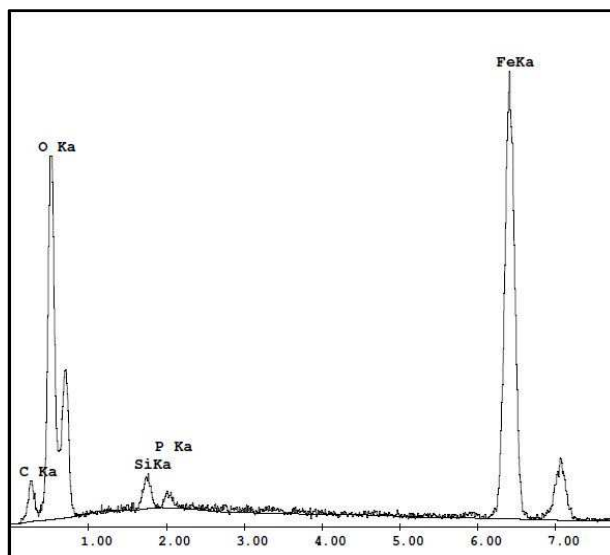
3.7 Oxidáció

„Az oxidációkopás a leggyakrabban előforduló korróziós kopás, amely a levegővel érintkező súrlódó szerkezetek elhasználódásában uralkodó vagy kísérő kopás formájában mindig jelen van. A kopás során, a felületen fém-oxid vegyületek képződnek. A fém-oxidok a fémmel szilárd oldatot képeznek, amelynek keménysége elérheti akár az 1400HV értékét is.”[5] Összehasonlításként a féktest alapszöveteként vizsgált foszfidos eutektikum bírt a legmagasabb keménység értékkel, ami nagyságrendileg körülbelül 500HV volt.” Később ezek a szilárd oldatok a felületek érintkezése során lassan oxidpor vagy oxidhártya alakjában távoznak a rendszerből. A kopás mértékét rendkívül befolyásolja a működési hőmérséklet, ugyanis már akár 20C° emelkedés esetén a kopás a kétszeresére is nőhet.”[4]

Ennek a kopási formának a megjelenését vizsgáltam az elektron mikroszkóp segítségével. A mikroszkóp előnyei mellett meg kell említeni azt is, hogy kimutatja az oxigén atomtól kisebb rendszámú elemek (karbon, C) jelenlétét, viszont ezeknek a mérésénél már nagy mérési bizonytalansággal dolgozik a rendszer. Ezen mérések eredményei láthatók a 3.7.1. és a 3.7.2.-es alábbi ábrákon.



3.7.1. ábra Eredeti felület kémiai vizsgálata



3.7.2. ábra Kopott (sötét) felület kémiai vizsgálata

A koptatásban eltöltött idő növekedésével a hőmérséklet is növekedett, és ennek hatására az oxigén tartalom megnövekedett, reakcióba lépve a vassal vasoxid réteget hozott létre a felületen.

EDAX ZAF Quantification (Standardless)				
Element Normalized				
SEC Table : Default				
Element	Wt %	At %		
C K	15.98	41.16		
O K	7.75	15.00		
SiK	1.89	2.08		
P K	1.23	1.23		
FeK	73.15	40.53		
Total	100.00	100.00		
Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
C K	16.96	0.91	4.07	18.58
O K	34.33	1.75	2.85	19.62
SiK	16.76	9.38	5.66	1.79
P K	11.66	9.61	7.59	1.21
FeK	323.62	2.81	0.89	114.97

3.7.1/a.ábra Eredeti felület kémiai analízálása

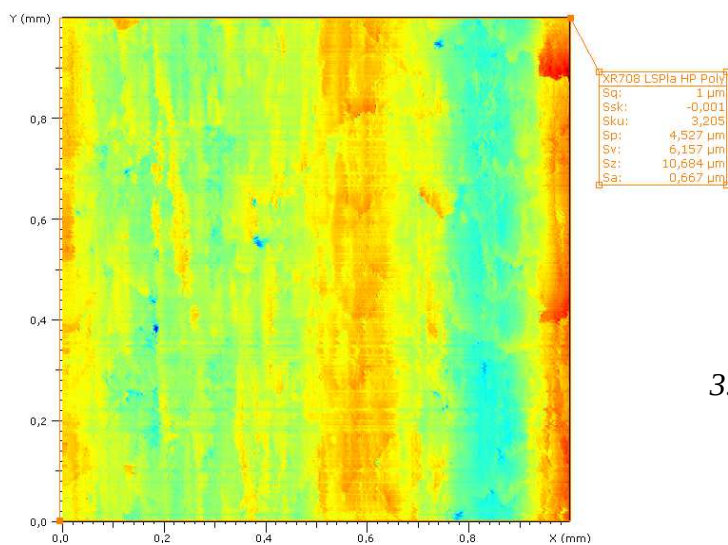
EDAX ZAF Quantification (Standardless)				
Element Normalized				
SEC Table : Default				
Element	Wt %	At %		
C K	12.21	27.02		
O K	25.43	42.27		
SiK	1.61	1.53		
P K	0.70	0.60		
FeK	60.05	28.59		
Total	100.00	100.00		
Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
C K	18.92	1.16	3.54	16.27
O K	176.45	2.24	1.11	78.75
SiK	20.25	11.46	4.72	1.77
P K	9.32	12.26	9.07	0.76
FeK	362.17	4.90	0.77	73.85

3.7.2/a.ábra Erősen koptott (24-es ábra sötét részek) felület kémiai analízálása

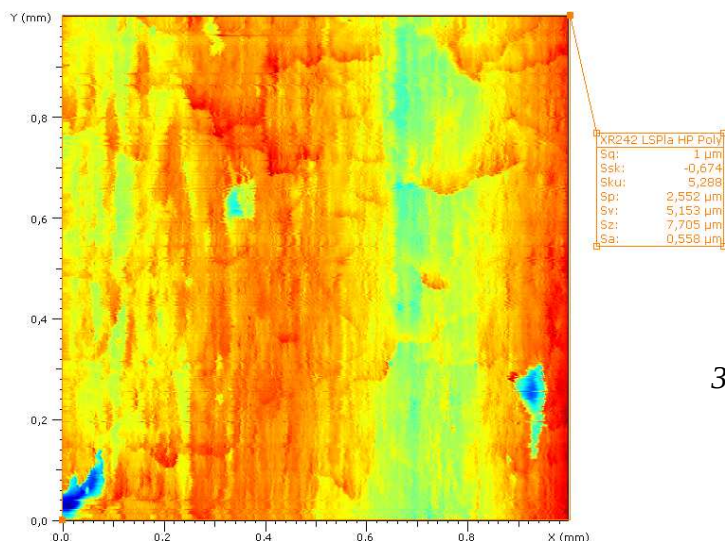
3.8 Időbeni változások:

Az egyes kopási formákat már azonosítottam a korábbi fejezetekben, most már csak az a kérdés, hogy a koptatásban eltöltött idő milyen hatással van a próbatestekre. Erre több vizsgálatot is végeztem, amikre a topográfiaiák adnak magyarázatot.

Az ábrákon az 50 (3.8.1. ábra) és a 150 (3.8.2. ábra) szekundumos próbadarabok láthatóak. A képeken jól látszik, hogy a folyamatok közt arányosság áll fent. Ahogy korábban megállapítottam, az érdesség csúcsok a kopás során letörnek és kopadékként vándorolnak tovább a rendszerben, vagy a további súrlódás miatt elkenődnek. A képek inkább a második feltevést bizonyítják, ami az Sz paraméter 3 μm -es csökkenésén is látszik. Tovább elemezve a felületeket jól láthatóak a korábbi anyaghiányok elnyúlása a kopás irányában. A kezdeti ponthibáknak mondható 0.02mm szélességű hibák a folyamat előrehaladtával elérhetik akár a 0.1mm-es méretet is. A korábbi tapasztalásokra visszavezette, feltételezhetően a feltapadások és az újbóli kiszakadások periodicitásának következménye lehet.



3.8.1.ábra 50 szekundumos féktest
topografikus képe



3.8.2.ábra 150 szekundumos féktest
topografikus képe

4.0 Következtetések:

Az eredményeket összefoglalóan a kopások oka a mechanikai hatásoknak és a grafitnak köszönhető. A mechanikai igénybevételek hatására először egy emelő hatás jön létre, amik feltételezhetően a kevésbé kopott részek topográfiai képein csúcsokként jelennek meg. Az elemelkedést követően a további igénybevételek miatt a kiváló szemcse környezetében a grafit széttöredezik és ez által a kivált anyag távozik a felületről. A kiválás után feltapadhat az ellenfelületre, vagy akár a darabra. Az elektronmikroszkópos képek erre engednek következtetni.

Ezen mérési eredmények alapján más grafit módosulatot használnék. Költségek szempontjából ugyan drágább lenne, mondjuk a gömbgrafitos öntöttvas alkalmazása, de több tulajdonsága miatt javasolnám. A kopási tulajdonságok feltételezhetően javulnának, és így már megérné egy költségkalkulációt végezni.

A gömbgrafitos öntöttvasnak a lemezes grafithoz képest nagy hátránya az alacsony rezgéscsillapító hatása. A vasúti féktest kopás ellenálló tulajdonsága fontosabb, mint a rezgéscsillapító tulajdonság. Valószínűleg a mechanikai tulajdonságok is javulnának, mert a szürkeöntvények mechanikai tulajdonságaik függenek az alapszövet minőségétől és a grafit alakjától, méretétől és eloszlásától. Ezek alapján a gömbgrafitos öntöttvas lehetséges, hogy jobbnak bizonyulna, mint a lemezes szürkeöntöttvas.

A mikrokeménység mérés és a fénymikroszkópos analizálás során nem tapasztaltam a felszín közelében szövetmódosulást, tehát a mérések során mért közel 500 C°-os hőmérséklet nem volt hatással a féktest anyagára.

Köszönetnyilvánítás:

Köszönöm Dr. Czifra Árpád konzulensemnek a dolgozat során nyújtott segítségét, szakmai hozzáértését, támogatását, amellyel tudásomat megalapozhattam és elmélyíthettem. A dolgozat során sok érdekességre is felhívta a figyelmem, valamint hogy a felmerülő gondolataimat megerősítette, vagy ennek ellenkezőjéről meggyőzött.

Továbbá köszönöm Dr. Fábián Enikő Réka Tanárnőnek a kiemelkedő segítségét, és a szabadidejéből rám szánt idejét.

„Nem a cél a fontos, hanem az út!”

Rgana Raas