

Részletes zárójelentés

A kísérleti program fő irányvai az alábbiak voltak:

1. Többfunkciós kísérleti berendezés kifejlesztése, amely a hozzá kapcsolódó adatrögzítő és kiértékelő elektronikákkal jelentősen segítené a hazai tribológiai kutatásokat.
2. Tribológiai vizsgálatok végzése, ahol a működési viselkedés mélyebb feltárása érdekében a felületi érdesség/mikrogeometria/topográfia hatását, kapcsolatát, összefüggéseit vizsgáljuk és elemezzük.
3. A mikrotopográfia statisztikai feldolgozása új tribológiai jellemzők feltárása érdekében.

1. Többfunkciós kísérleti berendezés kifejlesztése a hazai tribológiai kutatásokhoz

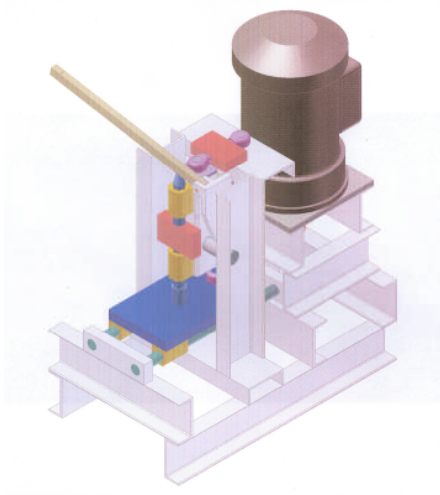
1.1. A tervezés szakaszai

A BMF Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kara és a BME Gépészmérnöki Karának Gépszerkezettani Intézete között meglévő, több évtizedre visszanyúló kapcsolat és kutatási együttműködés adott lehetőséget arra, hogy a tribológiai vizsgálatokat és elemzéseket segítő konkrét műszerfejlesztésbe kezdjünk. Az együttműködő kutatók ismerete és tapasztalata adta, hogy a megépítendő berendezés optimális konstrukciója kialakuljon, a BMF BGK gyártási kapacitása pedig lehetővé tette, hogy az elképzelések kézzel fogható valósággá is váljanak.

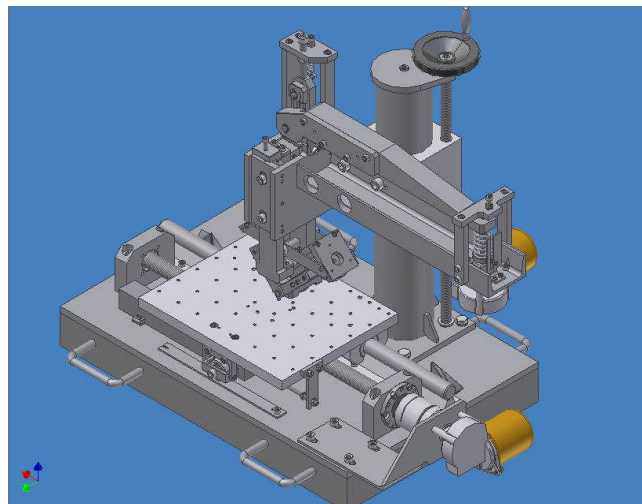
A BME Gépszerkezettani Intézetében nagy tapasztalattal rendelkező tribológus kutató kollégák (Dr. Kozma Mihály és Dr. Váradi Károly) elvi útmutatása és koncepciója az 1. változatban Bollók Péter tanársegéd elő-terveiben testesültek meg (1.1. ábra).

A kísérleti berendezés 1. konstrukcióján a szakértői csapat további finomító véleményei és Pálincás Tibor tanszéki mérnök műszerépítési tapasztalatai és javaslatai alapján az elő-tervekhez képest jelentősen változtattunk (1.2. ábra). Elkészültek a berendezés összeállítási és a műhelyi kivitelezésre alkalmas részletrajzai.

Az alkatrészek, részegységek, elektronikai egységek legyártása 2004 őszén az oktatási feladatok ellátása mellett a BMF Bánki Kar műhelyeiben kezdődtek meg, melynek során még további módosítások következtek be.



*1.1. ábra
A berendezés előterve*

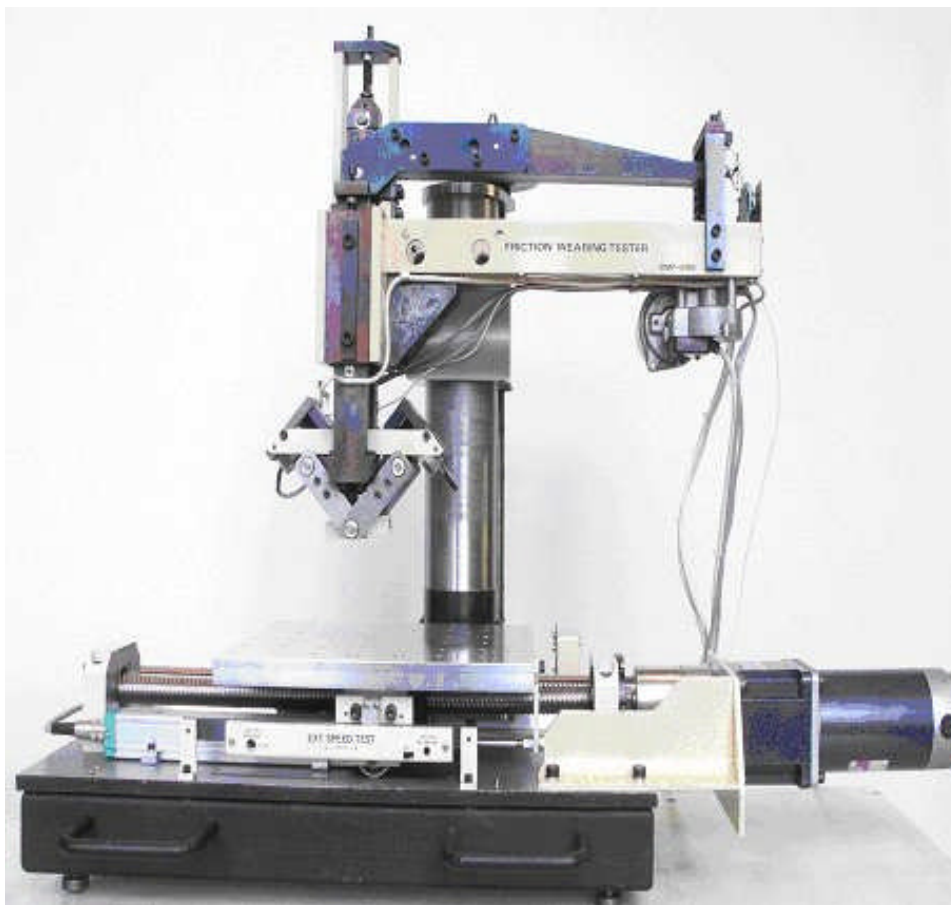


*1.2. ábra
A kivitelezésre adott konstrukció*

1.2 A súrlódásvizsgáló berendezés felépítése

A súrlódásos kopásvizsgáló készülék feladata, hogy a felső befogóban rögzített, pogácsa, golyós vagy speciális jellegű, ill. a mérőberendezés munkasztalára szerelt, szalag jellegű próbatest vizsgálni kívánt felületét legfeljebb 2000 N-os erővel szorítsa egymáshoz, a beállított terhelőerőt a vizsgálat ideje alatt stabil értéken tartsa, miközben az asztal alternáló mozgást végez 25 és 50 mm/s közé eső, egyenletes sebességgel, legfeljebb 180 mm-es úthosszon. Mind a terhelőerő, mind a kívánt vizsgálati sebesség, mind a teljes vizsgálati úthossz a vezérlőprogram számára a mérés előtt megadható. A műszer négy részből áll:

- mechanikai egység a mérő- és státuszérzékelőkkel (1.3. ábra),
- külső illesztőegység a saját, a mérőjelátalakítók, ill. a hajtások tápegységével,
- P4 alapú PC az illesztőkártyával (DAQ: NI PCI-6221M),
- vezérlő/mérésadatgyűjtő szoftver.



1.3. ábra. A súrlódásvizsgáló fotója. Alul látható a készülékalap a golyósorsóval mozgatható tárgyasztallal, jobbra a hajtóművel egybeépített vontatómotor. Középen látszik az oszlop a terhelőegységgel, balra a kétkomponenses erőmérőfej a próbatestbefogóval

1.3 A súrlódásvizsgáló vezérlése

A mérőberendezés vezérlési rendszerének csúcán a PC áll, amelynek operációs rendszere alatt fut az egyedi fejlesztésű vezérlő-mérésadatgyűjtő program. A következő lépcsőt a PC-ben elhelyezett PCI-buszos DAQ képezi. A kártya digitális szekciójának portfelületén történik a motorokat aktiváló parancsjelek kiküldése, ill. az érzékelők státuszjeleinek fogadása. Az analóg kimenetről vezetjük el a sebesség-alapjelet, az analóg bemenetek pedig a mérőérzékelők egységesített jeleit fogadják.

A vezérlési rendszer alsó lépcsőjén áll a külső vezérlőegység. Ez modulrendszerű: a táprész, ill. az egyes feladatokat ellátó elektronikai modulok 1–1 dugaszolható kártyára vannak felépítve. Az egység (2. ábra) különálló műszerdobozban kapott helyet.

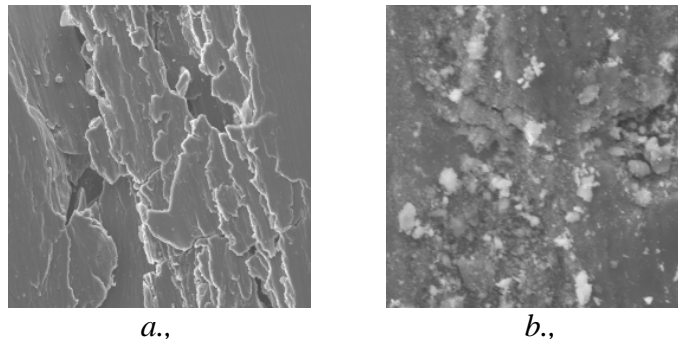


1.4. ábra. A külső vezérlőegység előlapja a mechanikai rendszer felőli illesztések csatlakozóival és a legfontosabb üzemállapotokat indikáló LED-ekkel

1.4 A megvalósítható vizsgálatok leírása

Az előzőekben ismertetett kialakításból adódik, hogy a berendezés a jelenlegi felszereltség mellett, a próbatest rögzítések átszerelhetőségét is figyelembe véve, számos különböző modell-vizsgálati feladat megoldására használható. A kapcsolódó geometria kialakításának függvényében lehet pl. sík-sík, sík-golyó, sík-henger, henger-henger geometriát vizsgálni. A geometriákat - azok viszonylagos egyszerűsége miatt - a legkülönbébb megmunkálási technikákkal lehet létrehozni. Így lehetőség van az azonos geometria mellett, pl. a különböző gyártástechnológiáknak az adott kapcsolat teherbírására gyakorolt hatásának vizsgálatára, felületi topográfia befolyásának értékelésére, az anyagváltozatok viselkedésének elemzésére [5].

A berendezés viszonylag nagy terhelésen üzemeltethető tartósan, ezáltal előidézhetőek a legkülönbébb felületi károsodási formák (lásd pl. 1.5. ábra). Így meghatározhatók az egyes nagy terhelésű súrlódó kapcsolatok károsodásának okai (pl.: felületi kifáradás, berágódás, nagymértékű képlékeny alakváltozás...), vagy a felületi károsodást jellemző kritikus paraméterek (pl.: terhelés, sebesség) [6, 7].



1.5. ábra. Felületek károsodása különböző nagy terhelésű (nem kent) súrlódó kapcsolatoknál (a, Alumínium: $F=50N$, $v=0,062m/s$; b, Acél: $F=50N$, $0,062m/s$)

Az alternáló asztalra rögzített „olaj”-tároló segítségével a fentebb vázolt vizsgálatok kent esetben is elvégezhetőek, így vizsgálható a különféle kenőanyagok hatása is.

Reményeink szerint a „FRICTION WEARING TESTER” segítségével különféle megmunkálási technikák által létrehozott felületi topográfiák időbeli változásának összehasonlító elemzésére kerülhet sor eltérő paraméterű tribológiai kapcsolatokban, illetve vizsgálhatók a különböző finomságúra készített felületek viselkedése a kopási folyamatban. Mindezt a kutatási célok megvalósítását segítő Perthometer-Concept műszer 2D-s, illetve 3D-s mérési lehetőségei, valamint a saját fejlesztésű „topográfia-kiértékelő programcsomag” [8] biztosítják.

Eredmény

Kísérleti berendezést fejlesztettünk ki a kapcsolódó alkatrészfelületek tribológiai viselkedésének vizsgálatára, elemzésére, a tribológiai jellemzők mérésére. A többfunkciós kísérleti berendezés a hozzá kapcsolódó adatrögzítő és kiértékelő elektronikákkal jelentős segítséget ad a hazai tribológiai kutatásoknak. Olyan tribológiai vizsgálatok elvégzését biztosítja, ahol a működési viselkedés mélyebb feltárása érdekében számos paraméter változását rögzíthetjük, követhetjük a kopási-felületváltozási folyamatot, elemezhetjük a változások hatását, kapcsolatát, összefüggéseit, információt szerezhetünk a működő felületek topográfiájának megtervezéséhez, a gyártási technológia megválasztásához, a működés közben lejátszódó tribológiai folyamatok, jelenségek tudatos ellenőrzéséhez és befolyásolásához.

Kapcsolódó publikációk: [10], [11], [21], 1 kapcsolódó TDK dolgozat készítése folyamatban

A fenti tervezési és kivitelezési munkálatok némi csúszást okoztak a kísérleti program megvalósításában. Ennek oka az egyéni leterhelések megnövekedése, a konstrukciós-tervezési, valamint anyag- és részegység-beszerzési feladatok megvalósításának előre nem látott akadályai. Az egyedi műszerfejlesztés szinte sohasem lezárt. Mindig akad további javítani, fejleszteni való...

Itt hangsúlyozni kell azt, hogy a fejlesztő és kivitelező team jelen OTKA anyagi kereteit messze meghaladó munkát végzett és végez. (Egy közel hasonló, kereskedelmi forgalomban kapható berendezés beszerzési értéke 20 mFt felett van!) Olyan járatlan hazai területen tör utat, amelyben sajnos hibalehetőség is rejlik, de biztosak vagyunk benne, hogy a most összeállt rendszer számos tribológiai témájú kutatásnak, vizsgálatnak lesz hatékony segítője az elkövetkező években.

2. Tribológiai vizsgálatok végzése a működési viselkedés mélyebb feltárására

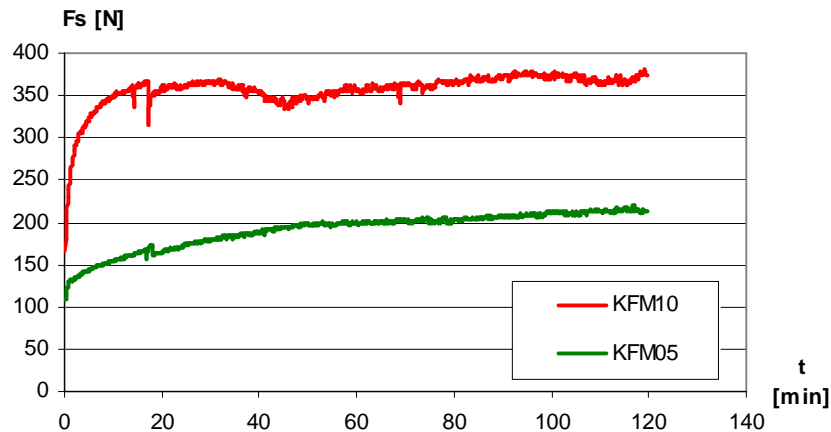
A tudomány és technika mai állása mellett is a kopással kapcsolatos vizsgálatok elsősorban kísérleteken, koptató teszteken alapulnak. Számos szerző hangsúlyozza, hogy a kapcsolódó felületeken végbemenő folyamatok összehasonlíthatókká válnak a felületi érdesség és hullámosság vizsgálata révén. A megépült koptató berendezés révén lehetőségünk nyílt kísérletek elvégzésére, a felületi mikrotopográfia és a működés kapcsolatának vizsgálatára.

2.1. Koptatókísérletek; a felületi mikrotopográfia változásai a kopás során

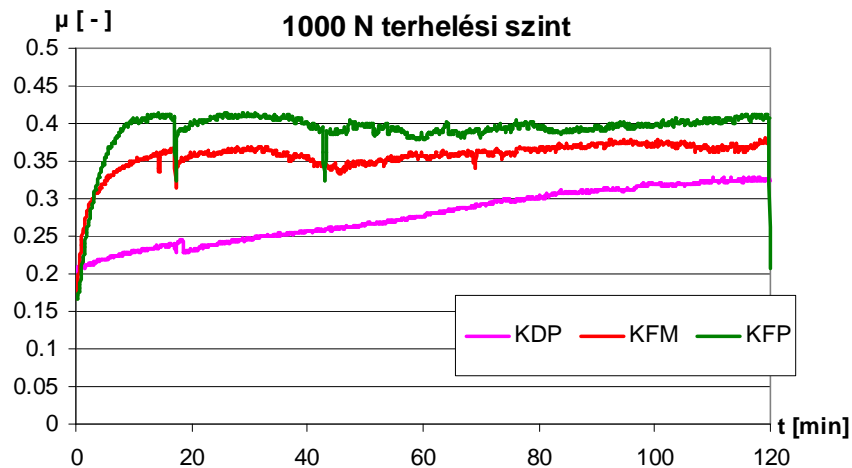
Vizsgálataink során arra kerestünk választ, hogy a kiinduló felületek megmunkálása (orientáció, felületi minőség) miként befolyásolja a tribológiai (súrlódási, kopási) folyamatokat, illetve a működés során milyen átalakulásokon megy keresztül a felület.

Két megmunkálási minőség, két orientációs irány, két terhelési szint mellett történtek a vizsgálatok (összesen 54 db mérés), valamint minden esetben a súrlódási tényező és 18 topográfia paraméter kiértékelése. A kísérlet során rögzítettük a súrlódó erőt (pl: 2.1. ábra),

melyből súrlódási tényezőt tudunk meghatározni (2.2. ábra). A próbatest hőmérsékletének változása ugyancsak felvételre került.

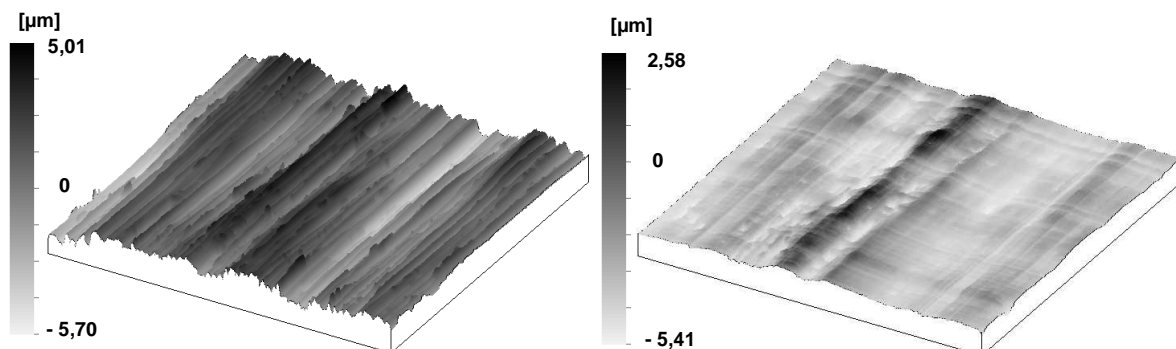


2.1. ábra. A súrlódási erő alakulása a kopási folyamat során („merőleges” finomköszörült felület 1000 N – KFM10 és 500 N – KFM05 terhelésen)

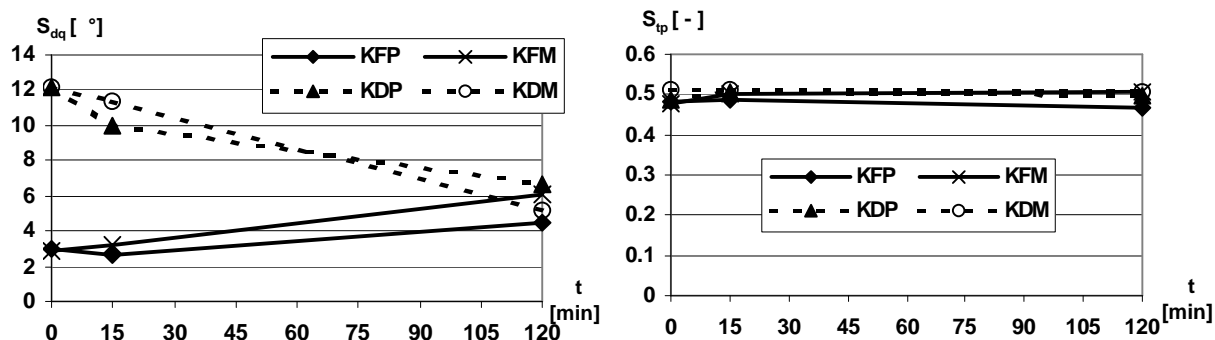


2.2. ábra. A súrlódási tényező alakulása azonos anyag-pár eltérő felületi megmunkálásnál (K – köszörült, D – durva, F – finom, M – merőleges, P - párhuzamos)

Az elvégzett 3D-s topográfiai mérések révén lehetőségünk nyílt vizuálisan, és a nagyszámú érdességi paraméter használatával számszerűleg is nyomon követni a felületen bekövetkező változásokat. Egy-egy eredményt szemléltet a 2.3. és 2.4. ábra.



2.3. ábra. Azonos felületrészletről készült mikrotopográfia a kopási folyamat elején (balra) és egy köztes állapotban (jobbra)



2.4. ábra. Eltérő topográfiájú felületek két jellegzetes paraméterének változása azonos működési körülmények között

A kísérletek tapasztalatai az alábbiakban foglalhatók össze:

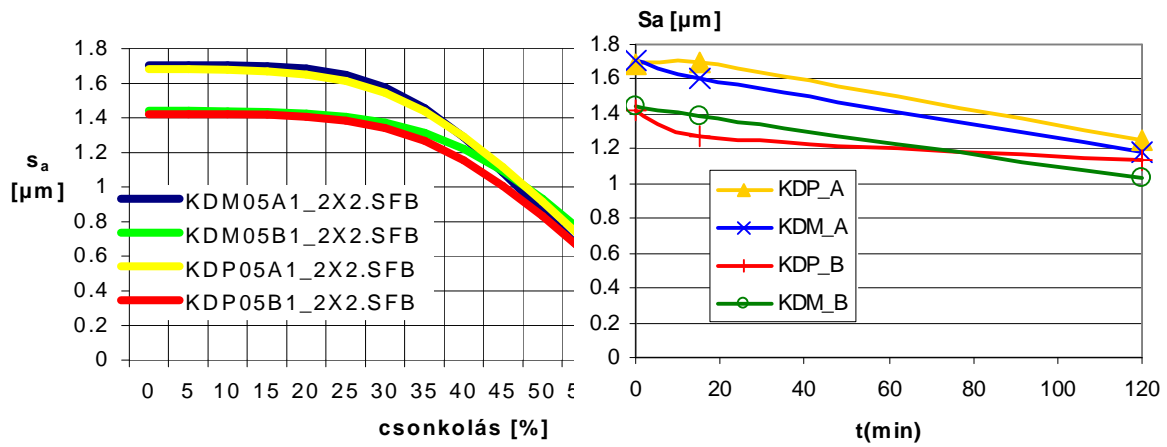
- Az elvégzett vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a kísérletekben rögzített működési körülmények között a kopott topográfiák jellegét a működés körülményei határozták meg elsődlegesen. Az eltérő topográfiájú kiinduló felületek a bekopási szakasz végére mind a topográfia érdességeinek méretét, mind alakját tekintve jól egyeztek, azaz a topográfiák tekintetében is kialakult a tribológiai egyensúly.
- Az elvégzett vizsgálatok alapján kijelenthetjük, hogy a felületi mikrotopográfia alakulásában jelentős hatása van a terhelés nagyságának, és bizonyos esetekben hatást gyakorol a szárazsúrlódás során kialakuló topográfiákra az eredeti megmunkálási irány is.
- A mikrotopográfiát leíró számos paraméter együttes vizsgálata adhat csak választ a felületen bekövetkező változások jellemzésére, mert egyes paraméterek állandók maradnak a topográfia változása során. Fontos feladat a 3D-s érdességi (topográfiai) paraméterek viselkedésének tanulmányozása, mert csak ezen paraméterek pontos ismeretével lehetünk képesek a mikrotopográfia és a tribológiai viselkedés összefüggéseinek feltárására.
- A kiinduló felületi érdesség jelentős hatással van a bekopási időtartam hosszára, - ezen belül elsődleges hatása az érdesség nagyságnak van, de a folyamat hosszát befolyásolja a felület orientációja is. A bejáródás utáni, állandósult működés során – az eltérő bejáródási viselkedés következtében – különbség mutatkozik a súrlódási tényező értékében az eltérő kiinduló topográfiák tekintetében. Itt is elsődleges hatása az érdesség nagyságnak van, de kimutatható a különbség az eltérő orientációk esetén is.

2.2. Mikrotopográfiai alapú kopási szimuláció

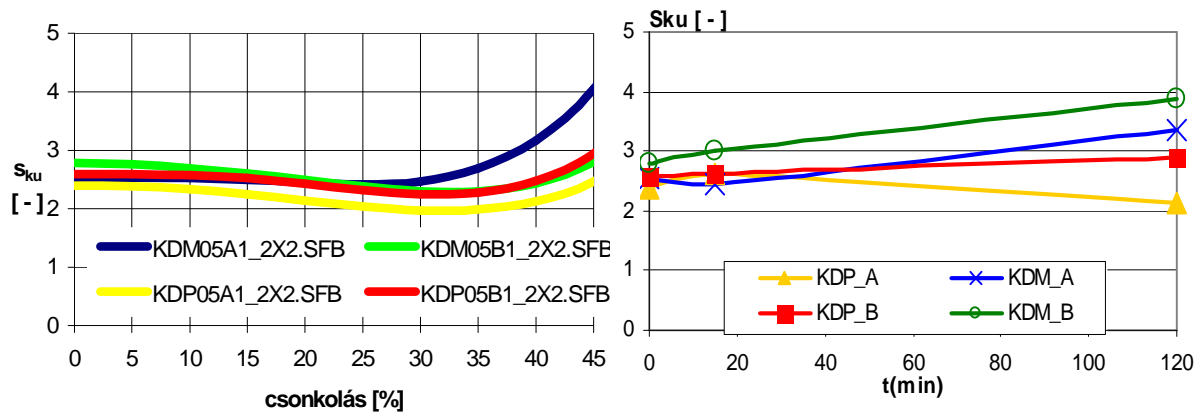
A kutatás egy másik irányvonala a kopási folyamat mikrotopográfiai alapú szimulációja volt, annak érdekében, hogy prognosztizálva a kopási folyamatot megtervezhessük a legyártandó felületet.

A műszaki gyakorlatban igen jelentős szerepet játszó ún. „enyhe kopás” (mild wear) megjelenését tekintve úgy fogható fel, hogy az eredeti mikrotopográfia lassú lekopásával párhuzamosan jelenik meg a működés körülményeitől definiált új topográfia. Számos nemzetközi szerző foglalkozik a csonkolásos elvű kopás-szimulációval, mely az előbb említett folyamat egyik részét, nevezetesen az eredeti mintázat eltűnését hivatott modellezni.

Vizsgálataink során a mért kiinduló topográfiák valós koptatásának eredményeit vetettük össze a szimulációs eredménnyel. Az összehasonlítás alapját a 3D-s topográfiai paraméterek jelentették. Néhány jellegzetes paraméter alakulását mutatja a 2.5. és 2.6. ábra.



2.5. ábra. Az átlagos érdesség változása a szimuláció (balra) és a valós kopás (jobbra) során



2.5. ábra. A „Kurtosis” változása a szimuláció (balra) és a valós kopás (jobbra) során

A kísérletek tapasztalatai az alábbiakban foglalhatók össze:

- Az elvégzett szimuláció és a tényleges kopási folyamat összehasonlítása alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy az amplitúdó paraméterek jellemzik leginkább az eredeti mikrotopográfia lekopását.
- A térközi és a hibrid paraméterek ($S_{\Delta s}$, $S_{\Delta q}$) az új felület kialakulását illetően hordoznak döntő fontosságú információkat.
- Az elvégzett vizsgálatok arra engednek következtetni, hogy a kopás során a felület folyadékmeztartó képessége csökken.

2.3. Forgácsolási folyamat során kialakuló felület-kapcsolatok vizsgálata

A fenti kísérleti vizsgálatok mellett több irányú munka folyt a megmunkálási eljárások, illetve technológiai paraméterek elemzésére a tribológiai szempontból is kézben tartható felületi jellemzők előállításához. Ezen munkákban egy-egy adott forgácsolási folyamat során végbemenő kopásjelenségek és kölcsönös egymásra hatásuk (MUNKADARAB - SZERSZÁM) vizsgálatára került sor a valóságos felületi textúra kialakulása szempontjából.

A forgácsolásban egyre inkább előtérbe kerülő korszerű szerszámokhoz kapcsolódó, illetve az eddig kevésbé vizsgált területen, a műanyagok forgácsolásakor fellépő jelenségeket igyekeztünk feltárni. Vizsgálataink alapján az alábbi megállapítások fogalmazódtak meg:

- A legkorszerűbb konstrukciójú és finomszemcsés keményfém anyagú, CVD bevonattal ellátott esztergálapkákkal (ISO geometria, illetve wiper élkiképzés) forgácsolt felület az érdességi profilt alapvetően megváltoztatja, mind a magassági, mind a hosszirányú paraméterekben számos különbség fedezhető fel,
- A szerszám forgácsolóképeségének kopással bekövetkező degradációja esetén olyan változások mutathatók ki a 2D-s értékeléseknél, amelyek a kialakult felület jellegének gyökeres megváltozását okozzák. A mérések azt mutatták, hogy a forgácsolási körülmények megváltozását főként az érdességi profil formai jellemzői írják le plasztikusan. A forgácsolóképeség degradációja másként következik be a vizsgált szerszámgeometriák esetén. A wiper élkiképzésű bevonatos keményfémlapkák elhasználódását – meglepően – pozitív hatások kísérik, amelyek a felület kifáradásával, jobb teherviselő képességével és jobb kenőanyag-tároló képességével kapcsolatosak.
- Műanyagok forgácsolásához ajánlott esztergalapkákkal a kutatás során feltérképeztük négy anyagminőség (PET, PEEK, POM-C, PA6) kedvező forgácsolási paramétereit, valamint meghatároztuk az optimális forgácsolósebesség és előtolás értékeket, az ezekhez kapcsolódó felületérdességi jellemzőket. A jellemzők változását 9 érdességi, 5 hullámossági és 6 szűretlen paraméter segítségével követtük nyomon.
- Megállapítottuk, hogy a különböző műanyagok esztergálásakor a felület mikrogeometriája - ugyanazon beállítások esetén is - lényegesen eltérhet az anyagminőségtől függően.. A felületi mikrogeometria vizsgálata során kapott eredmények azt mutatják, hogy a mért R_z érdességi értékek a vizsgált tartományban az elméleti érdesség folyamatosan növekvő görbéjét csak a nagyobb előtolásoknál követte. A legjobb egyezés a $f=0,16-0,315$ mm-es tartományban mutatkozott a PEEK kivételével mindegyik műanyag esetén. Az egyenetlenség magasság kis előtolásoknál ($f=0,05-0,12$ mm) jelentős eltérést mutatnak az elméleti értékekhez képest (19-521%). Azt tapasztaltuk, hogy a forgácsolósebesség a $v_c=200-400$ m/min tartományban – eltérően az acélok forgácsolásánál tapasztaltaktól – elhanyagolható befolyással van az érdességi jellemzők nagyságára.
- A fentiekből következően műanyagok simító forgácsolása során tehát – főként a kis előtolások tartományában - fokozottan figyelni kell a tapasztalt jelenségekre, s a felületminőség pontos tervezésénél, a technológiai paraméterek megválasztásánál ezt feltétlenül figyelembe kell venni.

Vizsgálataink eredményeiből kapcsolati modellt képeztünk a szerszámkopás, a forgácsolás zavaró jelenségei, valamint a felület jellemzőinek változása között.

A vizsgálatok eredményeként megalkotott degradációs modellek a szerszám kopásával összefüggő jelenségcsoportot kezeli, és azt megbízható függvényekkel írja le. A modellek egyaránt érvényesek az álló- és forgószerszámok degradációjával kapcsolatos jeleségek leírására: a szerszám kopásméreteinek időbeli függésére, a kopással összefüggő forgácsolóerő összetevők változásának kezelésére, az élállapot megbízható előrejelzésére és a felületi érdesség kitüntetett paramétereinek prognosztizálására is.

- Etalon acélminőség (C60) ISO kialakítású és wiper élalakú lapkával történt esztergálása közben on-line mérésekkel követtük a szerszám elhasználódási folyamatát. A tervszerűen végrehajtott kísérleti eredményeinek számítógépes feldolgozásából
 - a kopás mértéke (VB) és a passzív erőkomponens mért értéke között a

$$F_p(VB) = k_{p1.1} \cdot b \cdot h^{(1-q_p)} \cdot (1+VB)^{u_p} \quad [\text{N}]$$

modellt állapítottuk meg, ahol

$k_{p1.1}$ és q_p – a kísérletek során meghatározott anyagjellemző $[\text{N}/\text{mm}^2]$ és a szerszámanyag-munkadarab anyagpárosítást jellemző kitevőérték,
 b és h – a forgácsolási kísérlet elméleti forgácsolási méretei, mm
 VB – a szerszám hátfelületének mért kopása, mm
 u_p – a szerszámelhasználódás mértékének $(1+VB)$ a közölt modellre érvényes kitevője.

- A kopás mértéke (VB) és a felületi érdesség R_z jellemzője között az alábbi modell érvényes:

$$R_z(VB) = R_{zVB=0} \cdot (1+VB)^{u_{Rz}} \quad [\mu\text{m}]$$

ahol:

$R_{zVB=0}$ – éles ($VB=0$ mm) szerszámmal az adott körülmények beállításakor (forgácsolósebesség, előtolás, hűtőközeg) elérhető érdesség, μm ,
 u_{Rz} – a szerszámelhasználódás mértékének $(1+VB)$ a közölt modellre érvényes kitevője.

- A vizsgált műanyagok forgácsolása közben mért magasságirányú érdességjellemzők (R_z és R_a), valamint a beállított forgácsolási adatok között az alábbi kapcsolati modellt találtuk:

$$R_z = (C_1 + C_2 \cdot r_n + C_3 \cdot \text{HRR}) \cdot R_a \quad [\mu\text{m}]$$

ahol

C_1 , C_2 , C_3 – a forgácsolási körülményeket tartalmazó konstansok (függ a szerszámanyag-munkadarab anyagpárosítástól, a beállított esztergálási adatoktól),
 r_n – a forgácsolólapka méréssel megállapított éllekerekedése, μm ,
 HRR – a forgácsoló műanyag méréssel megállapított Shore-keménysége.

Eredmény

A kifejlesztett súrlódásos kopásvizsgáló berendezésen elvégzett **koptató-vizsgálatok** révén lehetőségünk nyílt a felületi mikrotopográfia és a működés kapcsolatának feltárására. Az első eredmények alapján kijelenthetjük, hogy kidolgozott módszer hatékony segítséget nyújthat a felülettervezéshez, a tribológiai folyamatok modellezéséhez és a súrlódási, kopási jelenségek mélyebb megismeréséhez. Ezzel tudományos téren csatlakoztunk ahhoz a nemzetközi kutatási irányvonalhoz, mely komoly gazdasági hasznot remél a **működéshez optimált felületi struktúra** tervezésétől.

Vizsgáltuk a gyártási folyamatban kapcsolódó felület-párok (M_d - Szerszám) egymásra hatását, a szerszámkopás és a munkadarabon kialakuló felületi topográfia változásait, amelyből kapcsolati modellt állítottunk fel.

Összességében elmondható, hogy az elmúlt néhány évben megteremtettük mind **tárgyi**, mind **módszertani feltételét** egy **kopásanalizáló, felülettervező** szakértői rendszernek, mely rendszer – kellő tapasztalat megszerzése után – bázisát képezheti a működéshez optimált felületi struktúra tervezésének.

Kapcsolódó publikációk: [1], [2], [3], [4], [12], [17], [18], [20], [23], [28], [32], [33]

Jelenleg 2 hazai és 1 nemzetközi publikáció megjelenése van folyamatban, a megelőző években témához kapcsolódóan 5 TDK dolgozat készült, illetve az ez évi Tudományos Diákköri Konferenciára 3 TDK dolgozat elkészítése van folyamatban.

3. A mikrotopográfia statisztikai feldolgozása új tribológiai jellemzők feltárása érdekében

3.1. A mikrotopográfia érdességcsúcsainak statisztikus vizsgálata

Napjaink technika fejlődésének eredményeként a korábban kevesebb hangsúlyt kapott szakterületeken is jelentős tudományos eredmények születnek és egyre aprólékosabb, pontosabb vizsgálati és kiértékelési módszerek látnak napvilágot. A felületi mikrotopográfia vizsgálatának és statisztikus feldolgozásának egyik kulcskérdését jelenti az érdességcsúcsok vizsgálata. Az érdességcsúcsok definiálására és vizsgálatára számos módszer terjedt el (8 pont módszer, kontúr feltérképezés, érdességcsúcs alapterület). Minden technikának megvannak a maga előnyei, hátrányai, korlátai. Az általunk kidolgozott szeletelő módszeren alapuló mikrotopográfiai analízis jellemzői:

- a szeletelő síkok alkalmazásával egy olyan érdességi csúcs és karc definíció, mely nem a lokális szélsőértékekhez köti a csúcsokat és karcokat,
- a sűrűségfüggvények használatával a mikrotopográfia olyan jellemzése, mely nem csupán egy átlagos jellemzőt ad, hanem komplexebb módon jellemzi a felületet,
- a mikrotopográfiában bekövetkező változások nyomon követése, mely a lezajló folyamatok elemzését, megértését támogatja.

Az algoritmus közvetlenül a mérési pontokból definiálja az érdességcsúcsokat. A kiértékeléshez eloszlásfüggvényeket használunk. Ily módon vizsgáljuk az érdességcsúcsok orientációját, az érdességcsúcsok orientációs irányú és rá merőleges csúcssugarát, és az orientációs irányú és az arra merőleges csúcsszöget. Az érdességcsúcsok eloszlása és alakja – melyet a csúcssugar és a csúcsszög, illetve az orientációs szög jellemez – fontos tényezője a felületek kapcsolódásának, ezért alkalmas a tribológiai folyamatok jellemzésére.

3.2 A mikrotopográfia karcainak vizsgálata

Abrazív kopási és megmunkálási folyamatok esetén a felületi mikrotopográfia jellegét döntően a kialakult karcok szabják meg. Szeletelő módszeren alapuló algoritmusunk továbbfejlesztésével lehetőségünk nyílt a mikrotopográfia karcainak elemzésére is. Köszörült felület esetén meghatároztuk a karcok orientációját, mélységét és szélességét és ezeket eloszlásfüggvényekkel jellemeztük.

3.3 A kidolgozott módszer alkalmazása, eredményei

A kidolgozott algoritmus sűrűséggörbék segítségével – az érdesség-mérés eddig ismert gyakorlatától eltérően – a felületek részletes vizsgálatát biztosítja. Nem csupán átlagos jellemzőket ad a felületről, hanem képes azt részleteiben jellemezni.

Az érdességcsúcsok jellemzőinek vizsgálata során az érdesség-csúcsokkal kapcsolatban megállapítottuk, hogy azok csúcsszöge – az általunk vizsgálat esetekben – tompaszög, mégpedig jellemzően 150° -nál nagyobb értékű szög.

Az érdességcsúcsok csúcssugarai igen széles érték-tartományban helyezkednek el, értékük a felület jellegétől függően csupán nagyságrendileg határozható be. A csúcssugar értéke az általunk vizsgálat esetekben néhány $10\ \mu\text{m}$ -tól több $1000\ \mu\text{m}$ -ig terjedt.

Az érdességcsúcsok vizsgálata során megállapítottuk – megerősítve a szakirodalom ilyen irányú forrásait –, hogy az érdességcsúcsok alakja lényegesen eltér a modellezésben számos helyen alkalmazott félgömbtől. Csúszósúrlódás során a felületek érdességcsúcsai a csúszás irányában elnyújtottak.

Az általunk megfigyelt abrazív kopási folyamatok esetén a felületi karcképződésben jelentős szerepet játszik a kopadék. Enyhe kopás esetén („mild wear”) ez a hatás olyan

domináns lehet, hogy a felületen keletkező jelentősebb karcok forrásának a felületek között megjelenő kopadékokat tekinthetjük.

3.4 Az eredmények gyakorlati hasznosítása

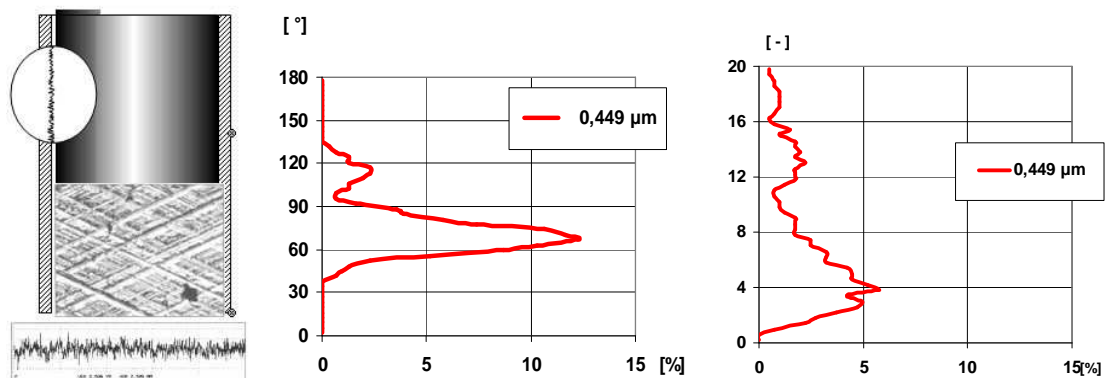
A kidolgozott algoritmus teszteléséhez tényleges alkatrészek, illetve laboratóriumi próbatesteket vizsgálatát végeztük el. Ezen vizsgálatok 3 csoportba sorolhatók.

Egyrészt laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk acél és bronz csúszópár kopási viselkedését a BMF-BGK mikrotopográfiai laborjában elvégzett saját kopási kísérletsorozatban. Itt ellenőrzött körülmények között részletesen nyomon lehetett követni a bronz-felület egy kiemelt szeletének változását, miközben a “működési körülmények” közel állandóak voltak, és az ellenfelület sem szenvedett jelentős változást.

A kísérletek második csoportja félüzemi berendezésen történt a Karlsruhei Egyetem Terméktervezési Intézetében (Institute of Product Development) található tengelykapcsoló modell-berendezésen, kerámia-acél súrlódópáron. Az itt elvégzett kísérletek lehetőséget teremtettek arra, hogy a felületek viselkedését szabályozott működési körülmények között vizsgáljuk és így tanulmányozhassuk az adott működési körülmények közt kialakuló mikrotopográfiát.

A kísérletek és mérések 3. csoportja valós gépszerkezet üzemi körülmények közötti vizsgálata volt. AUDI gépkocsik vezérműtengelyének és hozzá kapcsolódó alkatrészeinek felületi mikrotopográfiáját vizsgáltuk 20.000 km-t és 115.000 km-t futott 1.9 l-es dízelmotorok esetén. Ezen vizsgálatok megteremtették annak lehetőségét, hogy képet kapjunk a felületi mikrotopográfia elemzésének gyakorlati alkalmazhatóságáról. A kapott eredmények kizárólag egy-egy „pillanatképet” rögzítenek, ezáltal kevesebb lehetőséget adtak a folyamatok tanulmányozására.

További ipari alkalmazásként Opel motorok hengerfej megmunkálásának felületi mintázatát vizsgáltuk annak érdekében, hogy ellenőrizni tudjuk a gyártástechnológia során előírt orientációs szögeket (3.1. ábra). A kidolgozott módszer – az eddigi szubjektív, ember által végzett vizsgálatokkal szemben – objektív eredményekkel szolgált, igen hatékony eszköznek bizonyult az adott probléma megoldására.



3.1. ábra. A honolt felület orientációja és a tengelyek aránya

A kutatás területén a jelenleg EU-s támogatás keretében folyó nemzetközi Kristal projekten belül készültek mikrotopográfiai elemzések fékhenger dugattyúk esetén. Az mikrotopográfia elemzések közvetlenül támogatják a tribológia viselkedés feltárására irányuló kutatást, illetve a felület igen részletes jellemzése révén támogatják a felülettervezési folyamatokat.

Eredmény

A felületi **mikrotopográfia statisztikus vizsgálatából** nyert eredmények alkalmasak a felületek **érintkezési körülményeinek elemzésére**, valamint karcképződési vizsgálatok támogatására, lehetőséget teremtve a működési és tönkremeneteli folyamatok eddiginél részletesebb vizsgálatára.

A különböző kopási folyamatok, mechanizmusok különböző felületi mikrotopográfiát eredményeznek, ezért a kidolgozott algoritmus **kopásdiganosztikai vizsgálatok eszközüvé** válhat.

A kifejlesztett **3D-s felületi érdességmérő és feldolgozó eljárásokat** – mint egyik első nemzetközi alkalmazás – felhasználtuk egy EU 6-os Integrated Projekt kapcsolódó feladataihoz. A **KRISTAL projekt** (**Knowledge-based Radical Innovation Surfacing for Tribology and Advanced Lubrication**) keretében, a BME-n dolgozó kutatócsoport (Prof. Dr. Váradi Károly vezetésével) a gumyszerű anyagok (pl. EPDM) és érdes felületek (pl. bevonattal rendelkező fémes struktúrák) közötti mikro-makro szintű súrlódási viszonyainak és törvényszerűségeinek feltárásával és ezek numerikus szimulációjával foglalkozik. Lényeges megoldandó részproblémák: az érdes felületek jellemzése (felületi érdesség-mérések AFM, Laser, Whitelight technológiával), és 3D topográfia analízis, self-affin felületek használatával... a hiszterézis, adhézió, kenés szerepének tisztázása a súrlódási folyamatban és kopási szimuláció. A felületi érdességmérések és a feldolgozott paraméterek alapját szolgálták hőtani vizsgálatoknak és hiszterézis számításnak.

Kapcsolódó publikációk: [5], [6], [7], [8], [9], [13], [14], [15], [16], [19], [22], [24], [25], [26], [27], [29], [30], [31]

Az elmúlt időszakban készített **KRISTAL projekt** kutatási jelentések:

- 1) Czifra Árpád: *Surface microtopography analysis of TRW plungers*
- 2) Czifra Árpád: *Analysis of microtopography of primary plunger with various characterization techniques*

A mikrotopográfia statisztikus vizsgálatáról a Gép szakfolyóiratban jelent meg cikk:

Czifra, Á.; Váradi, K.; Palásti K., B.: *A felületi mikrotopográfia karcainak vizsgálatára szeletelő módszerrel*, Gép 2004/10-11 p. 40-43., Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2004. november 11-12.

E cikkért a szerzők a Gépipari Tudományos Egyesület 2005. évi közgyűlésén „**Műszaki Irodalmi Díj 2004**” kitüntetésben részesültek.

A kutatási téma további lehetséges irányai

Az előzőekben bemutatott eredmények lehetőséget biztosítanak arra, hogy az alábbi irányokban előrelépjünk:

- Különböző anyagú és terhelési jellemzőjű működő felületek időtartománybeli kísérleti vizsgálata.
- A rendelkezésünkre álló tribológiai, technológiai és mérés technikai ismeretek alapján a komplex felületminőség tervezése és létrehozása.
- A konkrét működési feltételek ismeretében az optimális felületi topológia, illetve anyagpárosítás kritériumainak megfogalmazása tribológiai szempontból.
- Az optimális megmunkálási eljárás, illetve technológiai paraméterek meghatározása a tribológiai szempontból optimális felületi topológiai jellemzők előállításához.

A fenti kérdések a tribológia, a felületi topológia, és a gyártási feltételek közös érintkezési felületét jelentik. A kérdések megválaszolása mind műszaki, mind gazdasági szempontból kívánatos és mint a tribológiának, a felületi topológia jellemzésének és a

gyártástechnológiának hármas határterülete jelenik meg - ezáltal nyújtva további információkat a minőségbiztosítás nagyobb hatékonyságához, az optimális működési feltételek jobb és jobb megközelítéséhez.

Megvédett kapcsolódó doktori dolgozat:

Czifra Árpád okleveles gépészmérnök, főiskolai adjunktus

A felületi mikrotopográfia változása fém-fém és fém-kerámia alkatrészek csúszósúrlódása során

BME GÉK

sikeresen megvédve 2007. tavaszán

Témavezető: Dr. Váradi Károly

Társ-témavezető: Palásti Kovács Béla

Kidolgozás alatt lévő kapcsolódó doktori témák, ill. lezárt kutatási téma:

Farkas Gabriella okleveles gépészmérnök

Műszaki felületek mikrotopográfiai jellemzői

SZIE GÉK

Témavezető: Dr. Kalácska Gábor

Társ-témavezető: Palásti Kovács Béla

Dr. Horváth Sándor okleveles gépészmérnök

A felületi hullámosság 2D-s és 3D-s vizsgálata, a paraméterek információtartalma

ZMNE BJKMK

Témavezető: Dr. Sipos Jenő

Társ-témavezető: Palásti Kovács Béla

Kétoldalú kormányközi TÉT együttműködés:

Szerződés szám: OMF-00766/2005.

Projektazonosító: SK-10/2004.

Új típusú finomszemcsés keményfém szerszámok teljesítőképességének szabványosított vizsgálatakor készült megmunkált felületek jellegének kutatása

TU-Kassa – BMF-BGK

Magyar-témafelelős: Palásti Kovács Béla

Költségterv 2003-2006

Az elfogadott költségterv szerint dolgoztunk és használtuk fel a kereteket. A személyi juttatások rész összegéből (2,04 mFt) 900 eFt volt az „egyéb megbízás”, ami az elkészült súrlódásos kopásvizsgáló berendezés reális tervezési és kivitelezési munkálatainak költségével messze nem áll arányban.

A BMF Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar további saját hozzájárulásával, a közreműködő kollégák önzetlen munkájával a feladatokat teljesítettük. A súrlódásos kopásvizsgáló berendezés, a „FRICTION WEARING TESTER” fejlesztésében, kivitelezésében résztvevő kollégák maximális elismerést érdemelnek.

Budapest, 2007. október 3.

.....

Palásti Kovács Béla dr. sk
témavezető

Irodalomjegyzék - T043151-Közlemények

- [1] Czifra Á; Palásti-K B; Néder Z; Váradi K: *Analysis of mikrotopography in wear process*, Géptervezők és Termékfejlesztők XIX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2003. november 13-14., 2003
- [2] Czifra Á; Palásti-K B; Néder Z; Váradi K: *A mikrotopográfia elemzése a kopási folyamat során*, GÉP, 2003/10-11: pp. 11-18, 2003
- [3] Palásti KB; Czifra Á; Váradi K: *A mikrotopográfia változása a kopási folyamat során*, XI. OGÉT Conference 2003 (Nemzetközi Gépész Találkozó) Kolozsvár 2003. május 8-11. pp. 174-178, 2003
- [4] Palásti KB; Váradi K; Bercsey T; Néder Z; Czifra Á: *Surface mikrotopography _nt he wear process*, 9th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, Halmstad – Sweden, 2003
- [5] Czifra Á; Váradi K; Palásti-K B: *Surface mikrotopography analysis by a slicing method*, Gépészet 2004, 4th conference on mechanical engineering, Budapest, Hungary, 27-28 May 2004. pp. 676-680, 2004
- [6] Czifra Á; Váradi K; Palásti-K B: *Characterisation of worn surfaces with a slicing method*, 8th International Conference on Tribology, Veszprém, Hungary, 3-4 June 2004. pp. 150-155, 2004
- [7] Czifra Á; Váradi K; Palásti-K B: *Analysis of worn surfaces by a slicing method*, Third International Tribology Conference, ITC 2004, Zielona Góra, August 28 – 31, 2004. Internaciona Journal of Applied Mechanics and Engineering, 2004/9. pp. 193–198, 2004
- [8] Czifra Á; Váradi K; Palásti-K B: *A felületi mikrotopográfia karcainak vizsgálata szeletelő módszerrel*, Géptervezők és Termékfejlesztők XIX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2004. november 11-12. Gép 2004/10-11. pp. 40-43, 2004
- [9] Farkas G; Czifra Á; Palásti-K B: *Műszaki felületek mikrogeometriai vizsgálatában alkalmazott 2D-s és 3D-s paraméterek összevetése, információtartalmuk elemzése*, Budapesti Műszaki Főiskola-BGK Jubileumi Gépészet Szimpózium, Budapest, 2004. november 12., 2004
- [10] Forányi F; Kozma M; Bartha L: *Friction and wear of polyamide 6 containing new lubricants*, Proceedings of the Fourth Conference on Mechanical Engineering, Budapest, May 27-28. 2004. pp. 514-518, 2004
- [11] Forányi F; Kozma M; Bartha L: *Influence of molybdenum-Contained Additives ont he Friction and Wear Properties of Polyamide*, 8th International Conference on Tribology, Veszprém, Hungary, 3-4 June 2004. pp. 232-236, 2004
- [12] Palásti-K B; Néder Z; Czifra Á; Váradi K: *Mikrotopography Changes in Wear Process*, Acta Polytechnica Hungarica, N.1. May 2004. pp. 108-119, 2004
- [13] Váradi K; Palásti-K B; Czifra Á; Néder Z; Kovács K: *3D Characterisation of engineering surfaces*, Budapest Tech International Jubilee Conference, Budapest, Hungary, September 4, 2004. pp. 107-118, 2004
- [14] Czifra, Á, Váradi, K., Palásti K., B.: *„felületi mikrotopográfia vizsgálata szeletelő módszerrel kerámia-acél csúszópár esetén*., Gép 2005/11-12 p. 13-16., 2005
- [15] Farkas, G., Czifra, Á.; Palásti K., B. Horváth, S.: *„Műszaki felületek mikrogeometriai vizsgálatában alkalmazott 2D-s és 3D-s paraméterek összevetése, információtartalmuk elemzése*., Gép, 2005/2-3, pp. 51-59., 2005
- [16] Farkas, G., Horváth, S.: *Műszaki felületek mikrotopográfiai vizsgálata*., Fiala Műszakiak Tudományos Ülésszaka 2005, Kolozsvár, ISBN 973-8231-442 pp. 251-254, 2005
- [17] Horváth, S., Czifra, Á.: *„The importance of waviness in study of mikrotopography of cutting surface*., DMC 2005 The 5th International Scientific Conference, Development of Metal Cutting, Kassa, 2005
- [18] Lestyán, Z., Váradi, K., Albers, A.: *„FE Contact and thermal simulation of an alumina-steel dry sliding friction pair*., Conference CONTACT SURFACE 2005, 4th-7th of Sept. 2005 Bologna, Italy, 2005, pp.35-44, 2005
- [19] Palásti, K. B. – Farkas, G.: *„Relationship beatween the cutting surface-mikrotopography and it's evaluation*., DMC 2005 The 5th International Scientific Conference, Development of Metal Cutting, Kassa, 12-13 Sept. 2005. p.:H 15-19., 2005
- [20] Szittyá Tamás: *Vezérműtengely környezetének tribológiai elemzése*., Diplomamunka BME, 2004., 2005

- [21] Bollók P; Palásti-Kovács B; Pálinkás T: „*Friction wearing tester*” for testing rubbing surfaces, Gépészet 2006, 5th conference on mechanical engineering, Budapest, Hungary, 25-26. May 2006, 2006
- [22] Czifra, Á., Váradi, K., Palásti K., B.: *Evaluation of surface microtopography 'scratches' with slicing method*, Gépészet 2006, 5th conference on mechanical engineering, Budapest, Hungary, 25-26. May 2006, 2006
- [23] Farkas G; Palásti-Kovács B: *Forgácsolt műszaki műanyagok felületi simasága*, Gépgyártás, XLVI évfolyam, 2006. 5. szám, p. 6-10, 2006
- [24] Horváth, S., Czifra, Á.: *A felülettervezés jelentősége és problémái a MH technikai eszközeinek gyártása és felújítása során, különös tekintettel a felületi hullámosságra*, Gép 2006/5 p.18-23, 2006
- [25] Horváth, S., Czifra, Á.: *Műszaki felületek tervezése; a felületi hullámosság jelentősége*, OGÉT XIV. Nemzetközi Gépész Találkozó, Marosvásárhely, 2006, pp. 170-174, 2006
- [26] Horváth, S., Czifra, Á.: *The importance of surface waviness; Problems with 3-D measuring and evaluation techniques*, Gépészet 2006, 5th conference on mechanical engineering, Budapest, Hungary, 25-26. May 2006, 2006
- [27] Palásti-Kovács B; Farkas G: *Contribution to the Evaluation of Machined Surface Microgeometry*. Production Process in Mechanical Engineering, Research Reports: 113-120, Cracow-Košice, 2006
- [28] Sipos S, Biró Sz, Tomoga I: *A termelékenység és a minőség egyidejű növelése wiper lapkákkal*, Gépgyártás, XLVI. 2006/4. p. 17-24., 2006
- [29] Czifra, Á., Horváth, S.: *Asperity analysis of worn surfaces*, ECOTRIB 2007, European Conference on Tribology, Ljubljana, Slovenia, 12.-15. June 2007 p. 307-319, 2007
- [30] Fekete, G., Czifra, Á.: *Influence of filtering in surface roughness characterization*, ECOTRIB 2007, European Conference on Tribology, Ljubljana, Slovenia, 12.-15. June 2007 p.209-306, 2007
- [31] Fekete, G., Horváth, S., Czifra, Á.: *Microgeometry tests of "contradictory" surfaces with various evaluation techniques*, Acta Polytechnica Hungarica Vol. 4, No. 2, 2007, p. 87-97, 2007
- [32] Orosz L, Biró Sz, Horváth R: *Turning of Hardened Steel with Ceramic Tool*, MicroCAD 2007, Miskolc (www.banki.hu/ggyt/K+F), 2007
- [33] Sipos S, Biró Sz, Horváth R: *Cutting of Hardened Steel with new Developed Tools*, Ceepus- Cracow, April 2007 (www.banki.hu/ggyt/K+F), 2007