

Gyengeáramú csatlakozók aranyozott érintkezőire alkalmazható kenőanyag (SPRAY) vizsgálata

DR. KOVÁCS GIZELLA
Posta Kísérleti Intézet

Az utóbbi években, amióta a híradástechnikai berendezések döntő többsége nyomtatott áramköri kártyák, vagy dugaszolható „fiókok” sokaságát tartalmazza, fontos kérdéssé lépett elő ezek csatlakozó szerelvényeinek, dugaszszájainak megbízhatósága. A beépített alkatrészek, főként az elektronikus berendezések mikroelektronikai alkatrészei ugyanis egyre nagyobb megbízhatóságúak, míg a dugaszszájokban található villamos érintkezők megbízhatósága nem növekedett. Sőt, az utóbbi években már az összes hiba 30–40%-át jelentik a nyugvó, aranyozott kontaktusokon fellépő érintkezési hibák üzemelő átviteltechnikai (postai) berendezéseknél.

Ha megismerjük a hibajelenségek kialakulásának folyamatát és okait, kereshetünk megfelelő megoldást e folyamatok lassítására, késleltetésére — ilyen lehet a vegyszeres preventív karbantartás, például egy megfelelő nedvesítőszert alkalmazása is.

A kontaktushibák kialakulásának mechanizmusa

Az aranyozott érintkezők konkrét tulajdonságai, az alkalmazott konstrukciós megoldások, az alapfém és a bevonatrendszer minősége, szerkezeti felépítése, kialakításának módja, az alkalmazott műanyag szigetelők minősége egyrészt a szerelvények gyártói, másrészt a gyártás időpontja (éve) szerint igen különbözőek. Ezeknél a villamos érintkezőknél általában 1,0 N értéket meghaladó névleges érintkezési erőket adnak meg (rendszerint 1,5–2,0 N között), és a rendeltetésszerű használat során megengedhetőnek tart a legtöbb gyártó 100 dugaszolást. Mivel a bevonat felépítése, keménysége, kopási tulajdonságai, porozitása hatással vannak az alkatrész környezetállóságára is, gyakran előírják a szállításra, raktározásra és az üzemeltetésre vonatkozó környezeti feltételeket (a berendezésekre). A műszaki feltételek között megadott követelmények között azonban szinte kizárólag csak a klímafeltételek és a portartalomra, esetleg a légáramlási viszonyokra (légssebesség max.) vonatkozó követelmények szerepelnek.

A géptermi hőmérsékletre, páratartalomra, por-szűrésre vonatkozó előírások betartása mellett is bekövetkezik azonban az, hogy néhány éves üzemeltetés után a csatlakozókon fellépő feszültségés és megengedettnél nagyobbá válik, az érintkezés bi-

zonytalan, a kontaktusokon mérhető átmeneti ellenállás pedig nagy és ingadozó lesz egyes berendezéseknél. Eleinte az ilyen érintkezőhibák újra-dugaszolással, vagy a felület óvatos tisztítását követő újra-dugaszolással még javíthatók — például Freon TF-fel átitatott szarvasbőrrel törölve le a hibás kontaktust —, a későbbiekben azonban mind gyakoribbá válnak. Végül a szerelvény cseréje válik szükségessé — pedig még csak törtrésze telt el a „várható élettartam”-ként jósolt időnek. A sztatikus (nyugvó) aranyozott érintkezőkön az ilyen kontaktushibák legtöbbször a felületi réteg szabad szemmel is látható elszíneződésével is párosulnak, hiszen a nagy érintkezési ellenállást végülis a felületi rétegeképződési folyamatban az érintkezési helyre jutott korrózióstermékek megjelenése váltotta ki.

Az aranyozott érintkezők üzemi meghibásodásának tanulmányozása, a hibajelenségek vizsgálata két fő területre bontható: egyik az aranyréteg folytonosság-hiányainak kialakulására vezető jelenségekkel foglalkozik — a másik maguknak a rétegeképződési folyamatoknak a vizsgálatával. E kettő együttesen ad képet arról, hogyan és miért következnek be a kontaktushibák, ezért most tekintsük át az eddig el-ért és az irodalomban közölt eredményeket:

Kopási folyamatok az aranyozott érintkezőkön

A gyakorlatban a gyengeáramú aranyozott csatlakozószerelvények érintkezőin már a legelső dugaszolás előtt is találhatunk több-kevesebb pórust, tehát bizonyos számú folytonosság-hiány eleve adott ezeken a felületeken (kivételt képezhetnek a ragasztott, plattírozott stb. rétegek, amelyek vastagsága általában a 10 μm -t is eléri). Ezek a hibahelyek főként az éleken, sarkokon fordulnak elő, de találhatóak a tényleges érintkezési helyek környékén is, véletlenszerűen. Ha azonban a csatlakozóval kötést létesítünk, majd ezt megbontjuk, azaz dugaszolni kezdjük, megkezdődhet rajta egy elkerülhetetlen folyamat: Egyik, vagy mindkét súrlódó felületrészen a csúszó, súrlódó kontaktuselemek bevonatai kopást szenvednek. Ennek mértéke, a konkrét megjelenési formája, a villamos érintkezők további élettartamára és környezetállóságára gyakorolt hatása, tehát a *kopás, mint pórustermelő folyamat* veszélyessége sok tényező együttes függvénye. A kopási folyamatokat a gyártó cégek szakemberei vizsgálják elsősorban, mint erről az [1]–[5] közleményekben beszámolnak, különféle érintkező konstrukciók, rétegfelépítés és terhelés mellett végzett vizsgálataik alapján.

Beérkezett: 1980. XI. 10

Annak ellenére, hogy a kifejezetten az aranyozott csatlakozó érintkezőkkel foglalkozó kísérletek és az ezekről beszámoló szakirodalom még távolról sem ölelik fel a kopásvizsgálatok terén a lehetséges befolyásoló tényezők teljes tartományát, az már nyilvánvalóvá vált, hogy az aranyréteg kopásának mechanizmusa többféle lehet. A folyamat lezajlását, tehát azt, hogy milyen változásokat észlelhetünk a dugaszolási szám növelésével az egyes érintkezőkön, az Au bevonat típusa (milyen fürdőből való, milyen rétegvastagsággal), ötvözőelemei, keménysége mellett az alkalmazott közbenső bevonat minősége és anyaga éppúgy befolyásolja, mint a vele érintkező másik kontaktuselemen lévő bevonat keménysége, érdessége, az alkalmazott kontaktusterhelés, vagy az esetleges kenőanyag jelenléte és tulajdonságai.

Antler nyomán három alapvető kopási mechanizmust különböztethetünk meg: az adhezív (adhesive) vagy „tapadásos” kopást, az abrazív (abrasive) vagy „ledörzsöléses”, „karcos” kopást és a lepattogzós, „rideg töredezéses” (brittle fracture) mechanizmust. Az aranyrészecskék tapadásának, tehát az adhezív jellegű kopás veszélye akkor áll fenn, ha az egymáson csúszó, súrlódó felületen lehetőség van olyan adhéziós kötések kialakulására a két bevonat között, amelyek erősebbek, mint a fémbevonaton belüli kohéziós erők. Ilyenkor a dugaszolás során, a két felület egymáson való elcsúszásakor létrejöhet a fémátvitel: a kopásnyom szélén, végeinél halmozódhat fel az átvitt anyag, majd végül le is válhat az arany. *Két test közötti* ledörzsöléses, tehát *abrazív kopás*-nak nevezzük a folyamatot, ha az ellendarab anyaga az illető felületnél lényegesen keményebb, érdes, és emiatt a karcoló hatás miatt az aranyréteget a dugaszoláskor szinte végigszántja az ellendarab. *Három test közötti abrazív kopásról* beszélünk akkor, ha a súrlódó felületek közé kemény részecskék jutottak (pl. az egyik felületről levált szemcse, annak adhezív kopása miatt, vagy részecske az üvegszálás NYÁK lapról, esetleg por a levegőből), és emiatt az egyik, vagy mindkét, egymáson súrlódó felület kopik. Végül a töredezéses, *lepattogzós kopás* (fracture wear) ridegebb, rugalmatlan bevonatoknál fordul elő, különösen akkor, ha az alapfém deformálható: A felületen az érintkezők egymáson való elcsúsztatása során repedések alakulnak ki, ez pedig a bevonat katasztrófális károsodását, leválását eredményezi. Az irodalom szerint a felület kenése (nedvesítése) különösen az adhezív kopás, tehát a leggyakoribb mechanizmus esetén vezethet látványos eredményre: [5]. Mérsékli ugyanis a súrlódást, és csökkenti az adhéziós kötések kialakulásának lehetőségét, így csak lényegesen nagyobb terheléseknél (erőknél), vagy nagyobb dugaszolási számok után károsodik az aranybevonat.

Egyes szerzők az adhezív kopási folyamatot a *hidegkötésre való hajlammal* hozzák kapcsolatba, így Souter [3] szerint elsősorban a hidegkötések kialakítására hajlamos bevonatoknál, tehát csak bizonyos összetételű és felületi keménységű bevonatoknál tapasztalhatunk adhezív jellegű kopást. Ezért kopik például szerinte kevésbé egy savas fürdőből származó Co-os keményarany egy Au-Ag ötvözet bevonatnál. A hasonló rácsállandójú, az arannyal helyettesítéses

vagy rácsközi (intersticial) ötvözet kialakítására képes fém nem mérsékli jelentősen az adhezív kopást, és atomjai könnyen a felületre is vándorolhatnak az Au rétegen keresztül (pl. a Cu vagy az Ag).

Antler és Drozdowich kísérletei azt mutatták, hogy igen kedvező a Co-os aranybevonat alá felvitt Ni közbenső réteg, ha vastagsága kb. 4 μm , még a 2–3 μm Au bevonatoknál is.

Felületi rétegeképződés az Au bevonatokon

Gyakori tapasztalat Au bevonatoknál, hogy ha rajtuk a hibahelyek nem is estek éppen eredetileg a tényleges érintkezési helynek tekinthető felületrészekre, idővel mégis megjelennek a kevésbé nemes fémek, elsősorban a réz (alapfém), az esetleges ezüst (ötvöző vagy közbenső bevonat), ritkábban a nikkel (közbenső bevonat) korróziós termékei a tényleges érintkezési helyen. Ennek oka a *korrózióstermékek* (és a finom-anyagvándorlásra képes fématomok, pl. Ag, Cu) *vándorlási készsége*, kúszási hajlama (tarnish creep). A termékek analízise, a felületi rétegeképződési folyamatok időbeli lefolyásának tanulmányozása szintén foglalkoztatja a szakembereket, bár többnyire a többé-kevésbé jól reprodukálható laboratóriumi kísérletekkel találkozhatunk csak az irodalomban, például [6]–[9]. Meg kell azonban említeni, hogy azok a klímakamrás vizsgálatok, amelyeket mesterséges légtérű vizsgáloterekben végeznek, sokszor a gyakorlatban előforduló nagyságrendekkel nagyobb légszennyező koncentrációk mellett történnek, ezért nem tekinthetők egyértelműen érvényesnek az üzemi környezeti feltételek esetére. A hazai géptermekek észlelt hibatípusokat és az ottani környezeti feltételeket ismerve — lásd: [10] — oxidatív jellegű, SO_2 uralkodó komponensű környezettel kell számolnunk.

Kenőanyag (lubricant) használatának lehetőségei

Bár egy megfelelő kenőanyag, nedvesítőszer esetében nyilvánvaló, hogy kisebb lesz az aranybevonat látszólagos porozitása, a nedvesítés előnye elsősorban az érintkezőszerelvénnyen észlelhető, főként adhezív jellegű kopás mérséklésében rejlik: Ha a bevonat a dugaszolások során nem sérül meg, akkor kisebb a felületi rétegeképződés veszélye a kontaktusokon. A kenő- nedvesítő vegyszerek használatának lehetőségeivel szintén többen foglalkoztak az utóbbi néhány évben is, és ezek a vizsgálatok több olyan, korábban nem tanulmányozott szempontot is figyelembe vesznek, amilyen például a kenőanyag stabilitása, összeférhetősége a többi beépített anyaggal stb.: [11]–[15].

Bár a jelenleg üzemeltetett híradástechnikai berendezések aranyozott dugaszcsatlakozói adottak, tehát a szerelvények cseréje nélkül a bevonat minőségét, rétegszerkezetét, porozitását ténylegesen nem tudjuk megváltoztatni, mégis lenne mód a megbízhatóság fokozására, a felületi rétegeképződés mérséklésére ezeknél a szerelvényeknél éppúgy, mint az ezután telepítendő berendezések csatlakozóinál: Olyan kenőanyaggal történő vegyszeres preventív karbantartási művelet bevezetésével, amely beszerezhető, kémiaiilag eléggé stabil, megfelelő vékony

rétegben felvihető a felületre a szigetelőanyagok károsítása nélkül, és amely nem növeli észlelhető, jelentősebb mértékben a kontaktusellenállást sem. Előzetes szelekció után, amellyel részletesebben a [14] foglalkozik, találtunk ilyen vegyszert. Ennek a készítménynek a tulajdonságait és az összehasonlító jellegű alkalmazástechnikai vizsgálatok eredményeit szeretnénk jelen cikkben bemutatni, mert erre [15] csak vázlatosan tért ki.

Kísérleti körülmények, módszerek, eszközök

Az *aranybevonat*, amelyen az összehasonlító vizsgálatokat végeztük, mind a modellkísérletekben, mind a kereskedelmi forgalomban lévő mintákon végzett kísérletekben ún. Co-os keményarany volt, ezt a lemezekre és a dugaszcsatlakozó érintkezőkre egyaránt savas fürdőből választották le, 0,2% névleges kobalttartalommal. A bevonat 2–3 μm rétegvastagsággal, Ni közbenső rétegen került kialakításra, amelynek átlagos vastagsága 4 μm volt. Egyéb metallográfiai vizsgálatokból tudjuk, hogy az aranyozás mikrokeménysége 180 Vickers egység körüli érték (kg/mm^2). A lemezminták ónbronzzal alapfémmel készültek, míg a dugaszcsatlakozó szerelvény az LM Ericsson cég ún. RNV–RPV csatlakozója volt, ahol a NYÁK lapokhoz wire-wrap kötéssel csatlakozó, tús bontható érintkezők 8% Sn tartalmú ónbronzból, a lant alakú ellendarabokat tartalmazó, a kábelezéshez forrcsúcsokat tartalmazó másik fél rugóanyaga pedig nikkelbronzzal volt (88% Cu, 9,5% Ni, 2,3% Sn). Ezekre az alapfémekre került a Ni, majd az Au réteg.

Az előzetes laboratóriumi vizsgálatsorozattal kiválasztott *nedvesítő vegyszer spray* kiszerezésű, forgalomban levő termék volt: a Klüber Lubrication Ltd. Kontasynth BA 45 Fluid nevű vegyszere. Ennek van egy zsírszerű konzisztenciájú változata, a BA 45 Grease Medium, amellyel kopásvizsgálatot még kedvező, ellenállásmérést már nem teljesen megfelelő eredménnyel végeztünk. Mivel utóbbi anyag csak kenéssel vihető fel, amikor a rétegvastagság nem ellenőrizhető, a spray kiszerezésű vegyszernél maradtunk, egyszeri szórást alkalmazva, mintegy 30 cm távolságból.

A nedvesítés nélküli kontrollmintáknál — amennyiben azt szükségesnek ítéltük, — csupán *oldószeres zsírtalanítást* hajtottunk végre: a lemezeknél kopásvizsgálat előtt Freon TF (Dupont) oldószert és ultrahangos kádat használtunk, a porozitásmérés előtt triklór-etilént vagy 1,1,1-triklór-etánt használtunk.

Az *anyagvizsgálatokat* a kenőanyag esetében az infravörös abszorpciós spektrumok, termogravimetriás görbék és differenciál scanning calorimetriás felvételek elkészítése is kiegészítette az azonosíthatóság biztosítására. A bevonat és a kopásnyomok megfigyelésére optikai és pásztázó elektron mikroszkópot vettünk igénybe. A scanning elektronmikroszkóp röntgenanalitikai feltételeket is tartalmazott.

A *porozitásmérést* egyrészt az ISO 4523-ban leírt salétromsavas módszerrel, másrészt az LME-nél alkalmazott 0,01 tf% SO_2 , 75% relatív páratartalom, 3 nap időtartamú kezelés előírásai szerint végeztük

el. *Környezetállósági vizsgálatot* — a hazai légtér főkomponensét, a kén-dioxid szennyezőt figyelembe véve — 25 ppm SO_2 koncentrációjú mesterséges légtérben (áramló levegő) végeztünk, 80% relatív páratartalom mellett, de csak csatlakozószerelvényeken.

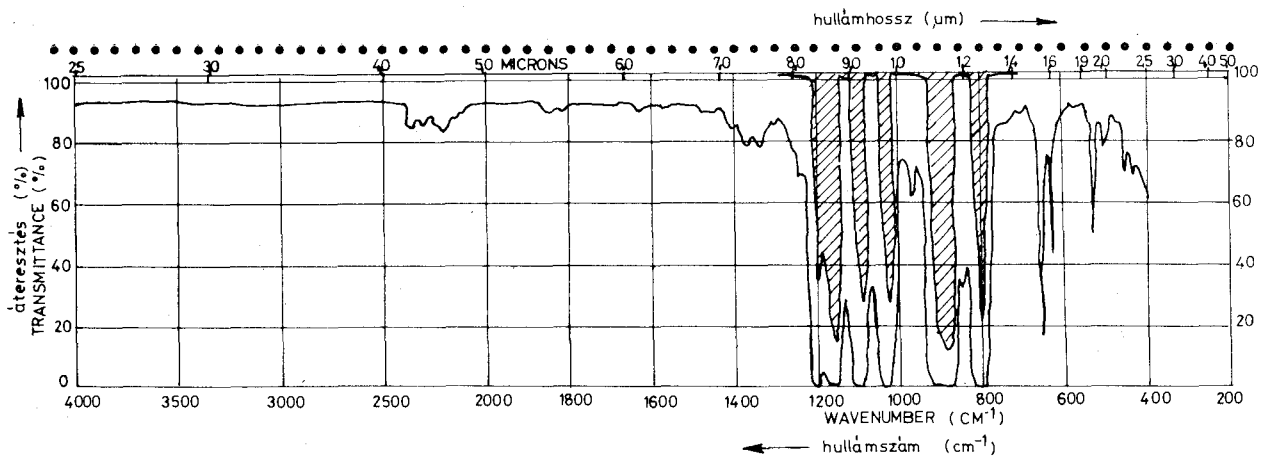
A kontaktusokon fellépő *érintkezési ellenállást* mind a lemezmintáknál, mind a csatlakozók egyes pólusain mV módszerrel, 10 mA áramerősségnél mértük. A lemezmintáknál 20 mV effektív kimenő feszültségű forrást, míg a dugaszoknál 12 V nyitott áramköri feszültséget használtunk.

A *kopásvizsgálati modellkísérleteket* az LME cég Materiallaboratorium speciális berendezésén végeztük, amellyel változtatható mechanikai terhelés mellett a mintán egy U alakúra hajlított huzalból készült ellendarab mozog, 3 mm távolságon oda-vissza; ez egy menet (egy dugaszolási művelet modellezése). A folyamatosan is regisztrálható kopásgörbéről a művelet során fellépő súrlódási erők, és így a súrlódási együtthatók leolvashatók, ill. számíthatók, tetszőleges ciklusszámnál. A csatlakozó szerelvényeket viszont kézzel dugaszoltuk, mert ez közelebb van a gyakorlati igénybevételhez.

A kenőanyag kémiai és fizikai jellemzői

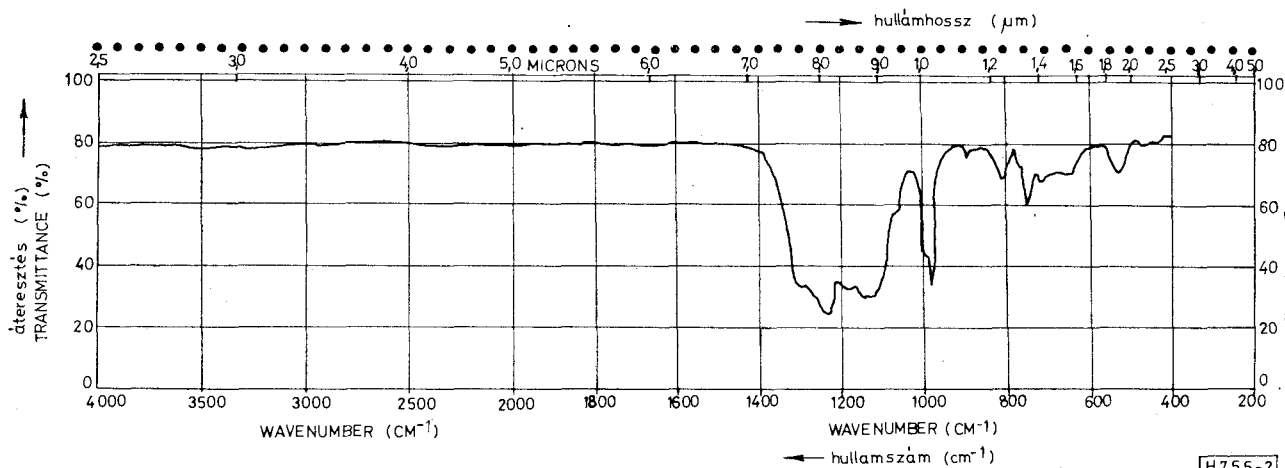
Kereskedelmi készítményről lévén szó, a mindenkori azonosítás és a kémiai jelleg megállapítását egyaránt szolgálta az infravörös abszorpciós spektrumok felvétele. A nem gyúlékony, FREON hajtógáz mellett három fő komponenset tudunk elkülöníteni a vegyszerkészítményben. Ezek a következők: a spray szórásakor gyorsan elpárolog egy *oldószer* komponens, amely az 1. ábrán látható IR spektruma szerint *egyértelműen Freon TF*, azaz a Dupont cég Freon 113 jelű, 1,1,2-triklór-1,2,2-trifluor-etán összetételű terméke. Ez a napjainkban ismeretes *oldószer*ek közül az egyetlen olyan, amely viszonylag nem veszélyes semmilyen szokásos szigetelőanyagra nézve. A másik összetevő a spray által hagyott maradékfilmben a felületen maradó, *ledesztillálva olajos jellegű* komponens, amelyet szintén sikerült IR spektruma segítségével egyértelműen azonosítani a SADTLER katalógusban található nagystabilitású *perfluorozott poliéter* folyadékkal, mint kémiai jellegben spektrumuk szerint egyező anyaggal (a katalógus H 450K jelű spektrumát a PFO—X275/25 jelű, a Peninsular ChemResearch Inc.-től származó anyagról készítették, 1967-ben): 2. ábra. Végül *harmadik összetevő*ként a maradékanyag az IR spektrum jellegzetességei szerint szintén fluortartalmú polimer, legjobban tetrafluor etilénre hasonlít, azaz „teflon”-jellegűnek tekinthetjük. Zsír vagy még inkább viasz-szerű konzisztenciájú, valószínűleg alacsonyabb molárisúlyú polimer. Ennek spektrumát a 3. ábrán mutatjuk be. A viasz-szerű teflonzsír oldódik a perfluorozott poliéter folyadékban, így a spray alkalmazása után néhány perccel mikroszkóppal kis foltocskák-ként a „maradékfilm” olajcseppeit figyelhetjük meg a kezelt aranybevonaton, amint ez igen jól látható a 4. ábra optikai mikroszkópos felvételén.

A spray-ből felvitt maradékfilmet gyakorlatilag teljesen el lehetett távolítani Freon TF-fel történő



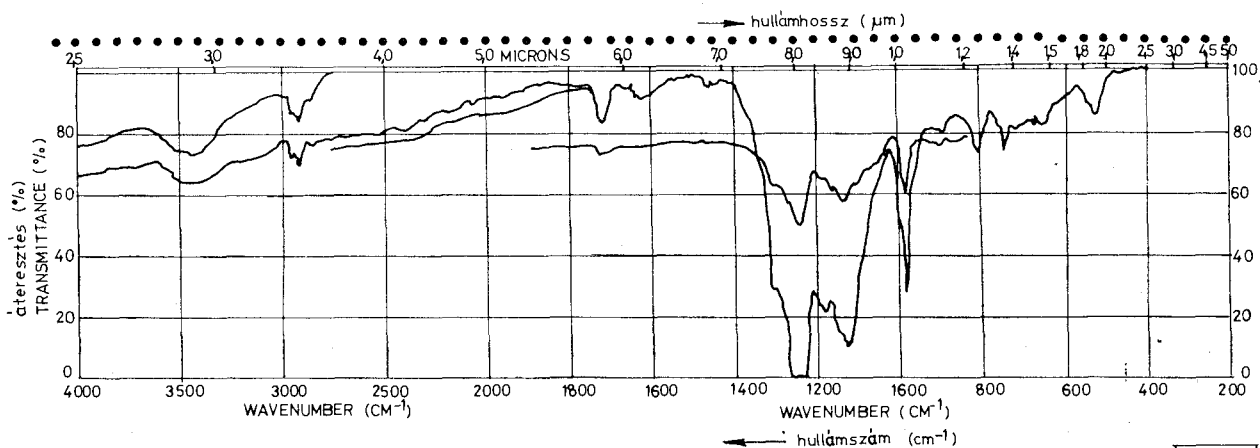
H755-1

1. ábra. Jellemző Freon TF spektrum, amely a Kontasynt^h BA 45 Fluid sprayből ledesztillált oldószer IR abszorpciós spektruma



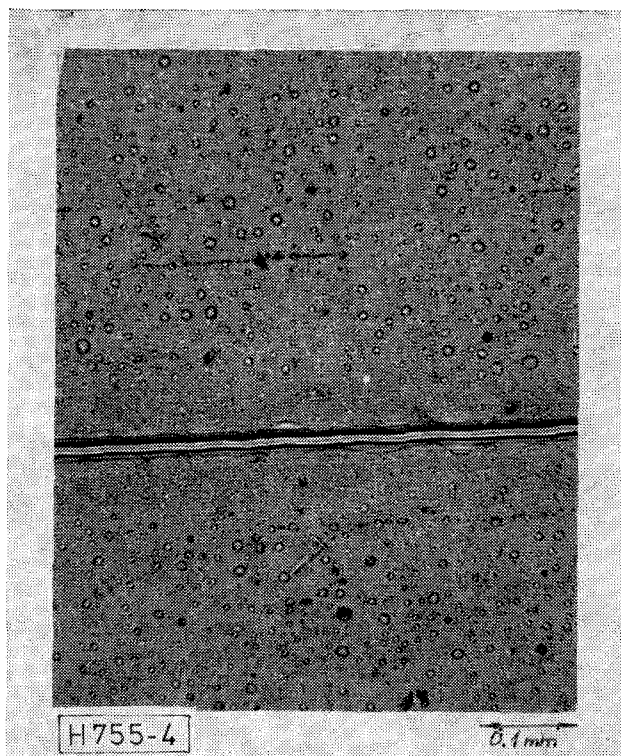
H755-2

2. ábra. Perfluorozott poliéter olajra jellemző IR spektrum, amelyet a Kontasynt BA 45 spray maradék-filmjéből kidesztillált olajról vettünk fel (KBr pasztillák között)

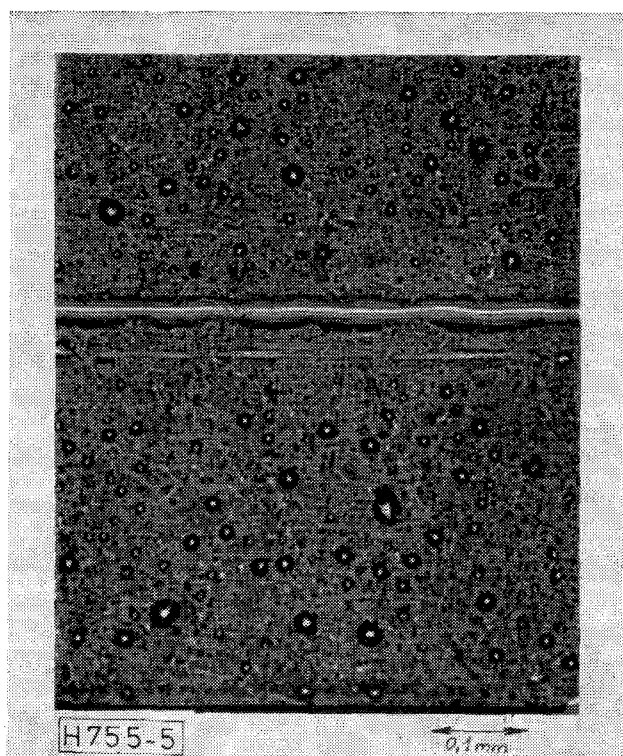


H755-3

3. ábra. Teflon (tetrafluor-etilén polimer) jellegű IR spektrum, amelyet a BA 45 Fluid spray maradék-filmjének zsírszerű komponense adott (KBr pasztillák között felvéve)



4. ábra. Mikroszkópos felvétel, amelyet nedvesítőszerezrel történt kopásvizsgálat (1500 menet, 1,0 N) után készítettünk: a maradékfilm jól látható cseppjeivel a felület és a nyom képe



5. ábra. Hőkezelés (150 h, 100 °C) után koptatott felület (100 menet, 1,0 N) fénymikroszkópos képe, amelyen változatlanul láthatók a kenőanyag cseppjei

oldással, ami megnyugtató az üzemi alkalmazás szempontjából.

A gyártó cég szerint a készítmény viszkozitása 20/50 °C hőmérsékleten 190/53 cSt; ezt nem ellenőriztük, hiszen esetünkben nincs különösebb jelentősége. Fontos viszont, hogy magasabb hőmérsékleten szenved-e változást. A gyártó -50 és 200 °C közötti felhasználhatóságot említi a prospektusban, ezt azonban mindenképpen ellenőrizni kell. Ezért egyrészt a tényleges üzemi körülményektől még nem túl távol eső 100 °C-on végeztünk 150 órás hőkezelést BA 45 Fluid spray-vel kezelt aranyozott lemezekkel, és kopásvizsgálatot, majd mikroszkópos megfigyelést végeztünk rajtuk. A hőkezelés hatására a „maradékfilm” jellege az optikai mikroszkópos fotók tanúsága szerint nem változott jelentősebb mértékben, ezt a 4. (hőkezelés nélküli felület) és az 5. ábra (hőkezelés utáni felület felvétele) összehasonlítása is mutathatja. A hőstabilitás és a kémiai stabilitás további ellenőrzése céljából termoanalitikai jellegű vizsgálatokat is végeztünk a kenőanyaggal: Felvettük a TG (termogravimetriás) görbéjét alumínium mintatartón mind N₂, mind O₂ áramban, és elkészítettük a differenciál scanning kalorimetriás diagramjait is Al mintatartón O₂ és N₂ áramban. A görbék vizsgálata azt mutatta, hogy kb. 60–70 °C-nál egy párolgás jellegű (fizikai) folyamat indul, amit mintegy 200 °C-tól kezdődően bomlás követ.

A fenti eredmények egy kémiailag megfelelően stabil, a műanyag szigetelőkre káros hatást nem gyakor-

ló, és a felületre egyszerűen felvihető, onnan szükség esetén el is távolítható készítményt jellemeznek. Ezen adatok birtokában hozzákezdhattünk az alkalmazástechnikai vizsgálatokhoz, amelyekről a következőkben számolunk be.

A nedvesítés hatása a kontaktusellenállásra

Mivel elektronikus berendezések aranyozott érintkezőinél kívánjuk alkalmazni a kenő-nedvesítő vegyszert, amelytől elsősorban kopás elleni védelmet várunk, nyilvánvaló, hogy alapvető követelménynek kell tekintenünk azt, hogy károsan ne befolyásolja az érintkezőkön fellépő feszültségesést, tehát azt, hogy ne okozzon átmeneti ellenállás növekedést a vegyszer jelenléte. Maga a kenőanyag tulajdonképpen nem jó villamos vezető, hiszen kifejezetten szigetelő tulajdonságú komponenseket is tartalmaz (pl. a teflonzsírt), igen vékony rétegben, és megfelelő nagyságú mechanikai kontaktusterhelésnél mégis minimálisra csökkenthető ez a veszély, sőt, mivel bevonatot képes adni az aranyon, szinte simítja annak mikroszkópikus egyenetlenségeit. Hogy mekkora az a minimális érintkezési erő, amely szükséges adott kenőanyagnál az érintkezési ellenállás növekedésének leküzdésére, az a konkrét anyagtól és a kenőanyag felületi rétegeitől függ. A zsír konzisztenciájú kenőanyagokkal végzett kísérletekkel éppen emiatt a követelmény miatt kellett leállnunk, ugyanis csak

RNV—RPV aranyozott dugaszcsatlakozókon mérhető kontaktusellenállás alakulása

| A kezelések és a mérések sorrendje az adott mintákon (Bedugaszolt állapot) | Kontaktusellenállás (mohm) | | | | | |
|--|-------------------------------|-------|------|-------------------------|-------|------|
| | Gyártási állapotú kontaktusok | | | Nedvesített kontaktusok | | |
| | min. | átlag | max. | min. | átlag | max. |
| Kezdeti mérések | 5,4 | 6,3 | 8,0 | 5,0 | 6,3 | 7,2 |
| 8 nap SO ₂ (25ppm) kezelés után | 5,4 | 7,0 | 10,4 | 5,4 | 7,2 | 9,6 |
| 30 nap SO ₂ (25ppm) kezelés után | 5,2 | 7,5 | 14,2 | 5,0 | 7,4 | 13,0 |
| További 18 hónap (fűtött tárolás) után | 5,6 | 7,3 | 15,0 | 5,5 | 7,6 | 12,0 |

2,0 N fölötti terheléseknél kaptunk megbízhatóan alacsony kontaktusellenállást ilyeneket használva.¹

A spray kiszerezésű, csak Freon TF oldószert tartalmazó készítményt reprodukálhatóan fel tudtuk úgy vinni a felületre, hogy nem okozott számottevő ellenállásnövekedést a bevonat, már kb. 1,0 N érintkezési erőktől kezdve. Ezt igazolja a mérési eredményeket bemutató 1. táblázat, amelyben teljesen zsírtalanított felületű Co-os keményaranyon és a spray-vel kezelt felületű azonos minőségű, geometriájú aranyozott lemez mintákon mért értékek feldolgozásával kapott eredményeket foglaltuk össze. A zsírtalanítást 1,1,1-triklór-etános (metil-kloroformos), majd Freon TF-fel történő mosással végeztük az egyébként tiszta mintákon.

Dugaszcsatlakozó szerelvényeken végzett kísérletek alapján is azt kaptuk, hogy a kenő-nedvesítő vegyszer jelenléte gyakorlatilag nem változtatta meg a kontaktusellenállást tiszta, kis porozitású új szerelvényeknél, míg néhány hónapja tárolt szerelvényeken mérhető 12 mohmos átlagértékkel szemben az egyszerű spraykezelés — bedugaszolás művelettel 5,9 mohm átlagot is kaptunk egy-egy 32 pólusú csatlakozóra nézve.

A környezetiállóság ellenőrzésére modellkísérletként 8, illetve 30 napos klímakamrás kezelést végeztünk 25 ppm SO₂ koncentrációjú mesterséges légtérben, 80% rel. páratartalom mellett, laborhőfokon. A kezelést bedugaszolt állapotú érintkezőkön végeztük. A vizsgált mintákat mérés után pormentes csomagolásban „szállítás, majd 1,5 éves raktározás, teremhőfokon” igénybevételeknek tettük ki, és újra mértük azokat. A 96-96 kontaktusra vonatkozó

vizsgálati eredményeket ezekre az RNV—RPV csatlakozókra a 2. táblázat mutatja be. Az eredmények alapján — figyelembevétel, hogy az LM Ericsson cégnél 20 mohmot tekintenek hibahatárnak egy-egy érintkezőre, — megállapítható, hogy semminemű hátrányt nem jelentett a kenőanyag alkalmazása a jó minőségű, alacsony porozitású szerelvényeknél, csökkent viszont a kontaktusellenállás a részben szennyeződött kontaktusokon.

Nyilvánvaló, hogy nyitott, kenőanyaggal ellátott kontaktusoknál a porvédelemről (pl. raktározás során) feltétlenül gondoskodni kell — végső soron azonban a felhasználás előtti tisztítás (mosás Freon TF-ben) még így is elvégezhető a véletlenül porosodott szerelvényen, amelyet azután újra lehet kezelni a spray-vel.

A kenőanyag jelenlétének hatása a környezetállóságra

Az előző pontnál ismertetett SO₂ klímakamrás kezelés is felfogható környezetállósági igénybevételnek, ez azonban a kiváló minőségű dugaszcsatlakozókon nem vezetett észlelhető mértékű károsodásra a kontaktusellenállás mérése szerint. Közepes porozitású mintákkal végzett kísérletek azonban hasonló időtartamok alatt már okoznak ellenállásnövekedést, ha pedig nyitott érintkezőkkel kezelünk hasonló szerelvényeket, az aranyréteg folytonosság-hiányainál látható (néhány-szorosos nagyítású mikroszkóppal) és számlálható korróziós nyomokat találhatunk. A kenőanyag jelenléte mérsékli a hozzáférhető poruszámot, így fokozhatja a környezetállóságot. A jelenleg szemléltetésére az ellenállásmérésben vizsgált gyártási sorozatból származó mintákon porozitásmérést végeztünk úgy, hogy a minták felénél — a vizsgálati előírások szerint — csak oldószeres zsír-

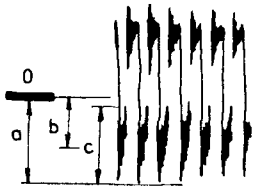
1. táblázat

Co-os keményarany bevonatú lemezmintákon mért kontaktusellenállás (a számítás logaritmikus normál eloszlásra vonatkozott)

| Terhelés | Felületi állapot | Kontaktusellenállás (mohm) | | | | |
|----------|------------------|----------------------------|--------|------|-----------|--------|
| | | mért értékek | | | számított | |
| | | min. | medián | max. | átlag | szórás |
| 1.0 N | zsírtalan | 2,30 | 3,00 | 3,50 | 2,97 | 0,11 |
| | nedvesített | 2,50 | 3,50 | 4,70 | 3,47 | 0,13 |
| 1.5 N | nedvesített | 1,89 | 2,29 | 3,19 | 2,36 | 0,10 |
| 2.0 N | zsírtalan | 1,40 | 1,80 | 2,40 | 1,85 | 0,12 |
| | nedvesített | 1,40 | 1,50 | 2,99 | 1,55 | 0,15 |

¹ Bár ezen a problémán a kenőzsír oldása és mártással, oldatból történő felvitele esetleg segített volna, ezzel mégsem próbálkoztunk: Megfelelő oldószerek keresése, a koncentráció kipróbálása stb. nem egy felhasználó dolga — másrészt oldás, tárolás stb. nem is oldható meg gazdaságosan egy-egy távbeszélő-technikai gépteremnél. Fennáll még az a veszély is, hogy Freon TF-en kívüli más oldószert esetleg a beépített műanyagokat oldja, duzzasztja.

Lubricated, heated:
2000 passes
/ 1.0N/

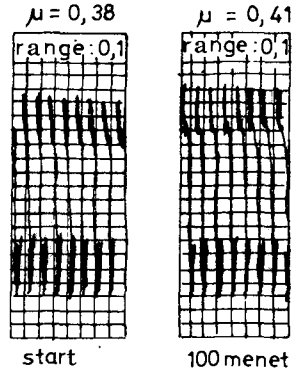


$\mu = 0.22$

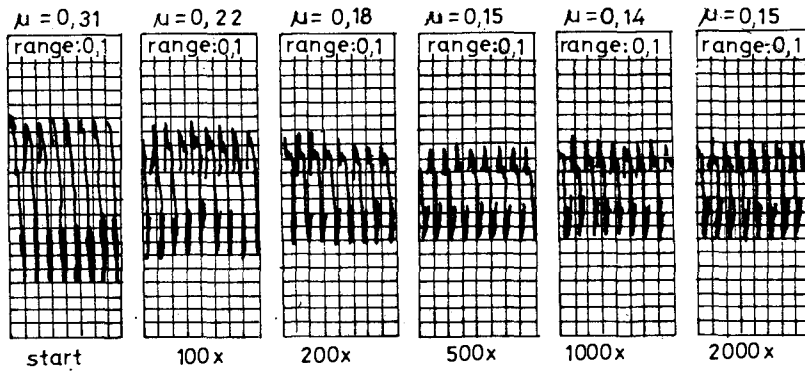
H755-6

6. ábra. Kopásgörbe részlete és a leolvasható jellemzők:

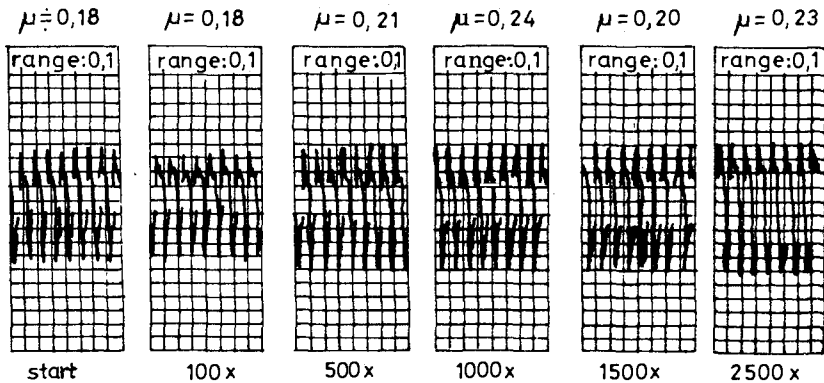
- a — kinematikus súrlódási erő;
- b — sztatikus súrlódási erő;
- c — maximális amplitúdó;
- μ — dinamikus súrlódási együttható;
- O — alapvonal



a./ FREON TF-fel zsirtalanított bevonat



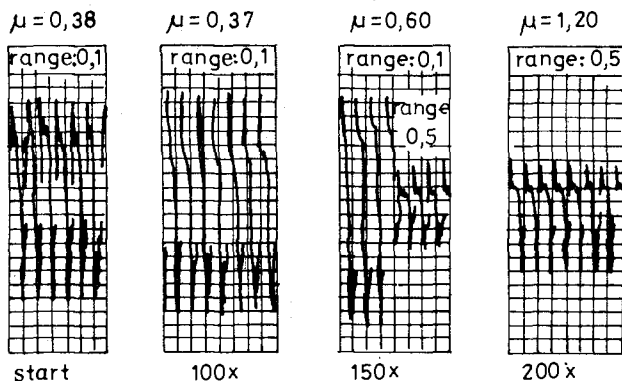
b./ Kontasynth BA 45 Fluid spray-vei kezelt bevonat



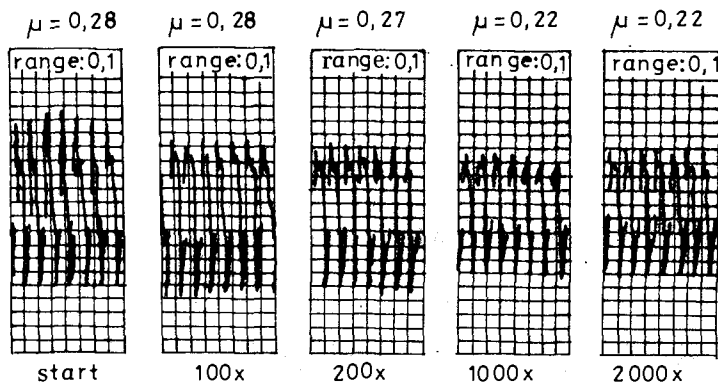
c./ Kontasynth BA 45 Grease kenőzsírral bevont felület

H755-7

7. ábra. Kopásvizsgálat diagramjai 1,0 N terhelésnél Co-os keményarany galvánbevonatos lemezekon
(Az ábrán feltüntettük a dinamikus súrlódási együttható értékeket és a koptatási menetek számát is, az eredeti kopásgörbe részleteknél)



a./ FREON TF-fel zsirtalanított, majd hőkezelt felületet koptatva



b./ Kontasynth BA 45 Fluid spray-vel szórt, majd hőkezelt felületet koptatva

H755-8

8. ábra. Hőkezelés után végzett kopásvizsgálat diagramjai Co-os keményarany lemezekon, 1,0 N terhelésnél (A sűrűlási egyúthathók és a menetszámok feltüntetésével mellett feltüntettük a mérésáthár jelzósámat is)

talánítást hajtottunk végre, míg a minták másik felénél ezt követően spray-kezelést végeztünk azoknak a HNO₃ gőzöket, ill. 0,01 tf% SO₂-ot tartalmazó légtérü vizsgálóterbe helyezése előtt. Az előírásoknak megfelelő időtartam után szabályosan elvégzett hibahely-számlálás azt mutatta, hogy a kenőanyaggal kezelt minták látszólagos porozttása legalább egy fokozattal kisebb, mint a kezeletleneké. Ez viszont azt jelenti, hogy kifejezetten kedvezőtlen környezetben, magas légszennyező koncentrációknál a kenőanyaggal történő nedvesítés fokozhatja a környezetállóságot.

A kenőanyag hatása a kopásra és dugaszolhatóságra

Az alkalmazástechnikai kísérletek ezen részét két lépésben végeztük: Elsőként modellkísérletekkel kívántuk igazolni, hogy a vegyszerhasználat mérsékli az aranybevonat felületének károsodását és az adott terhelés, anyagminőségek mellett fellépő sűrűlási

erőhatások kisebbek vele, mint nélküle. Ezért lemez alakú mintákon 1,0 N merőleges terhelés mellett kopásgörbéket vettünk fel:

- Freon TF-fel zsirtalanított lemezekon,
- kenőanyag spray-vel kezelt lemezekon.

Mivel az aranybevonat kopási sajátságai már kisebb mértékű hőkezelés hatására is erőteljesen változhatnak, ezért ugyanilyen (tehát zsirtalanított és bevonatos) mintákat 150 h időtartamú, 100 °C-on végrehajtott hőkezelésnek tettünk ki. Ezután ezeken a lemezekon is felvettük 1,0 N terhelésnél a kopásgörbéket. Amint azt a 6. ábrán látható vázlatos részlet mutatja, a görbék alakja jellemző a sűrűlási viszonyokra. Így a hőkezelés nélkül végzett kopásvizsgálatok során nyert görbék részleteit összevethetjük egymással a zsirtalanított arany, a perfluorozott poliétert + teflonzsirt tartalmazó spray maradékfilmje és a zsír konzisztenciájú (átmeneti ellenállás szempontjából kifogásolható) fluorozott szénhidrogén kenőzsír hatásait vizsgálva. Ezt mutatja a 7. ábra, amelyen a koptatási műveletszámok mellett a dina-

Kopásvizsgálati eredmények 1,0 N terhelés-nél Co-os keményarany mintákon

| Koptatási menetek száma a mintákon | Dinamikus súrlódási együttható (μ) | |
|------------------------------------|--|-----------------------|
| | zsírtalanított állapothban | nedvesített felületen |
| kezdeti érték | 0,38 | 0,31 |
| 100 × | 0,41 | 0,22 |
| 200 × | 1,06 | 0,18 |
| 500 × | — | 0,15 |
| 1000 × | — | 0,14 |

Kopásvizsgálati eredmények 1,0 N terhelés-nél előzetesen hőkezelt (150 h, 100 °C) mintákon

| Koptatási menetek száma | Dinamikus súrlódási együttható (μ) | |
|-------------------------|--|-----------------------|
| | zsírtalan felületen | nedvesített felületen |
| kezdeti érték | 0,38 | 0,28 |
| 100 × | 0,37 | 0,28 |
| 150 × | 0,60 | 0,27 |
| 200 × | 1,20 | 0,27 |
| 1000 × | — | 0,22 |

mikus súrlódási együtthatókat is feltüntettük az azonos mérés határon felvett görbéknel. A 8. ábra a zsírtalanított, majd hőkezelt arany és a spray-vei leszórt, majd hőkezelt aranyfelület kopásgörbe részleteit mutatja. Itt mintegy 150 művelet után mérés határt kellett váltani, mert megnöttek a hőkezelt aranyon a súrlódási erők — ugyanakkor a nedvesített + hőkezelt felületen csak kismértékű változást kaptunk. A dinamikus súrlódási együtthatókból összeállított 3. és 4. táblázat adatai is mutatják ezt a jelenséget.

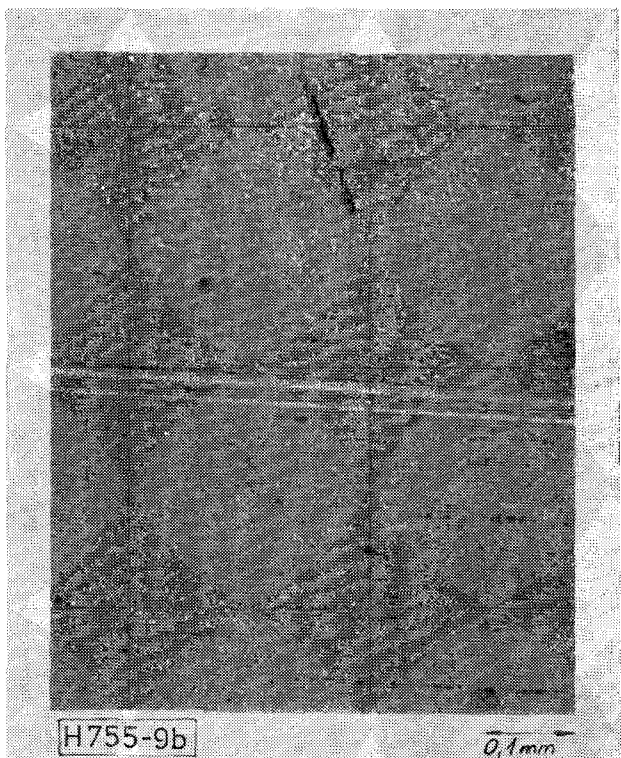
Ha a lemezekon látható kopásnyomokat figyeljük meg, amint erre optikai mikroszkóp, majd pásztázó elektron mikroszkóp segítségével módunk nyílt, szintén tapasztalhatunk eltérést a spray-vei nedvesített és a kenőanyag nélküli (non-lubricated) eset között. Külön érdemes megfigyelni a kopásnyomok képét a kenőanyag eltávolítása előtt és annak ultrahangos, Freon TF-fel töltött fürdőbe meritése után: Kenőzsírral bevont felületen mutatja a kopásnyomot 100 menet után a 9/a ábra, míg ugyanezen felületet láthatjuk azonos nagyításban a 9/b ábrán — közben a zsírt előbb 1,1,1-triklór-etános, majd Freon TF-es fürdővel (érintés nélkül) leszedtük. A minden szempontból megfelelő spray nedvesítőszerezrel nincs ilyen nagy eltérés a kopásnyom képe között a kenőanyaggal és annak leszedése után. Ezeket a nyomokat a 10. ábra felvételei mutatják.

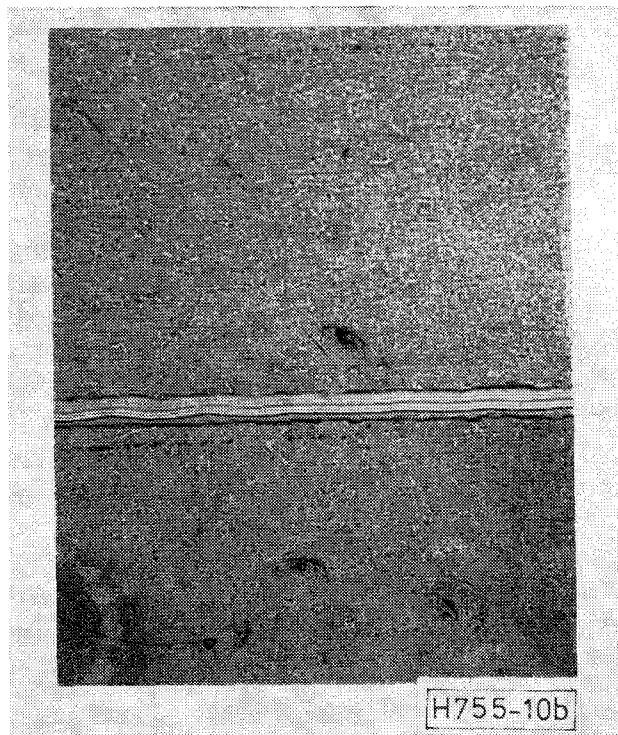
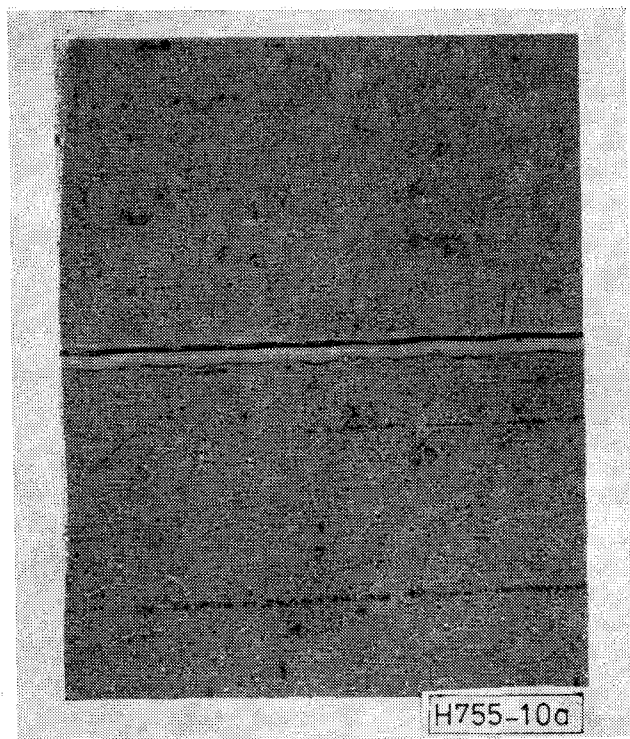
Ha az ezeken látható kopásnyomok szélességét összehasonlítjuk a zsírtalan aranyon kapott kopásnyommal, ami azonos nagyításban a 11. ábrán látható, kitűnik, hogy szobahőfokon (nem hőkezelt aranybevonatokkal) 1000-nél több menet után kapunk csak olyan széles nyomot spray-vel kezelt mintán, mint zsírtalan állapotú felületen. A hőkezelt, zsírtalan aranyon kapott nyomot — 12. ábra — a nedvesítve hőkezelt, majd koptatott nyomokkal hasonlítva — 13. ábra — mintegy 500 menet után kapunk hasonló szélességet.



9. ábra. Kenőzsírral (BA 45 Grease Medium) végzett kopásvizsgálattal kapott nyomról készült fénymikroszkópos fotók (100 menet, 1,0 N):

- a) felvétel a kenőanyag leszedése előtt;
b) felvétel a kenőanyag leszedése után

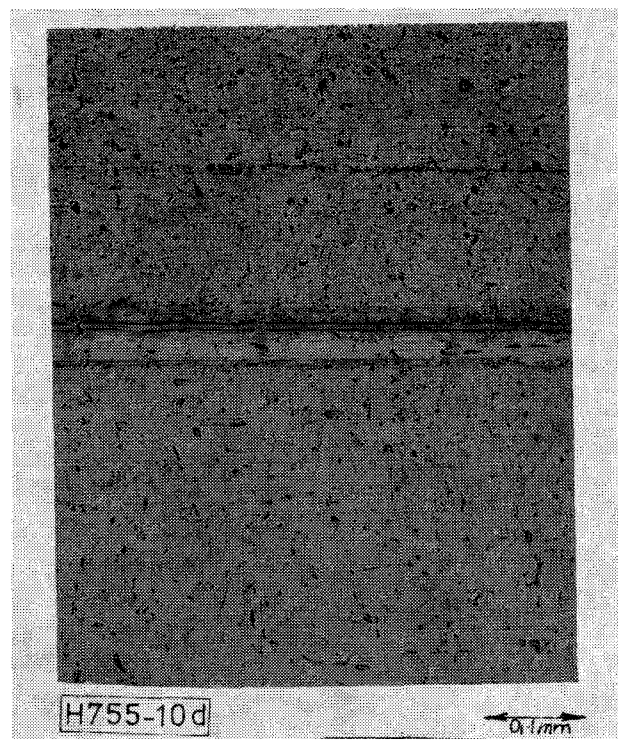
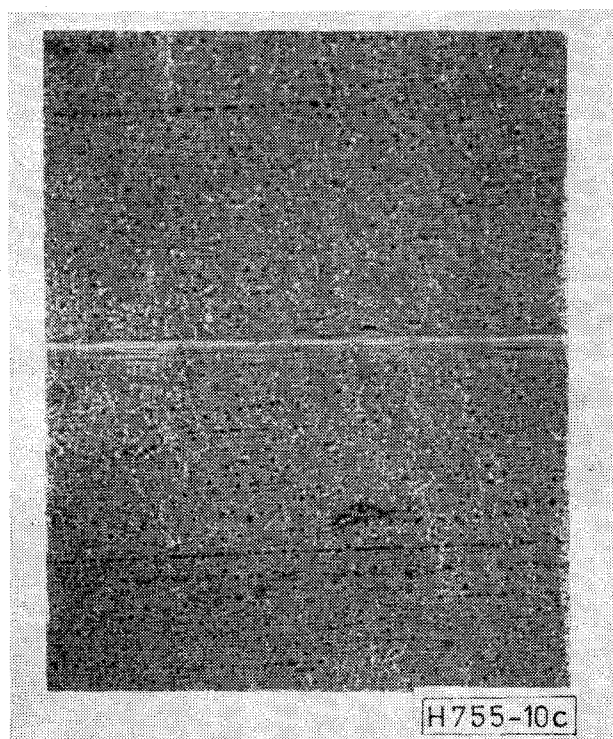




10. ábra. Kopásnyomokról készített fénymikroszkópos fotók BA 45 Fluid spray kenőanyaggal kezelt felületek koptatása után. A koptatási menetszámok:

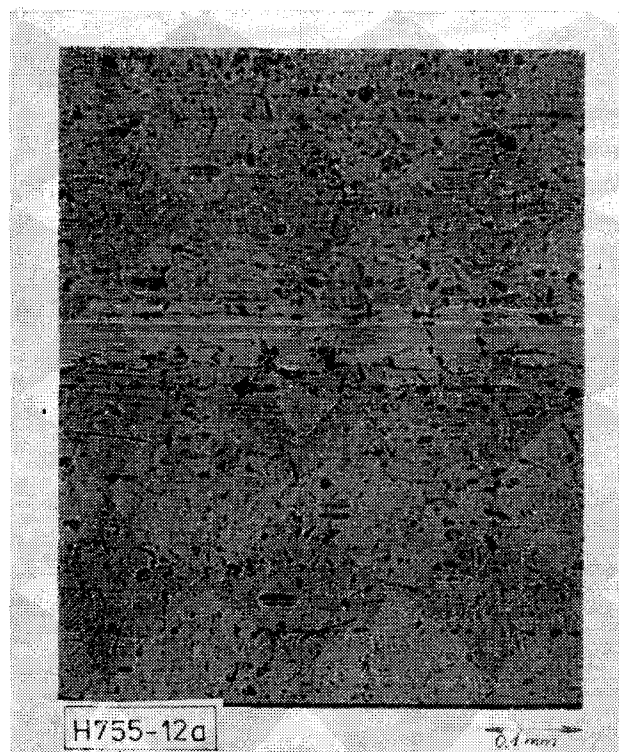
- a) 100 menet;
- b) 200 menet;
- c) 1000 menet;
- d) 2000 menet

(A kenőanyag cseppjeit FREON TF-fel leöblítettük)





11. ábra. FREON TF-fel zsirtalanított aranybevonat fénymikroszkópos képe: 100 koptatási menet (1,0 N terhelés) utáni fotó



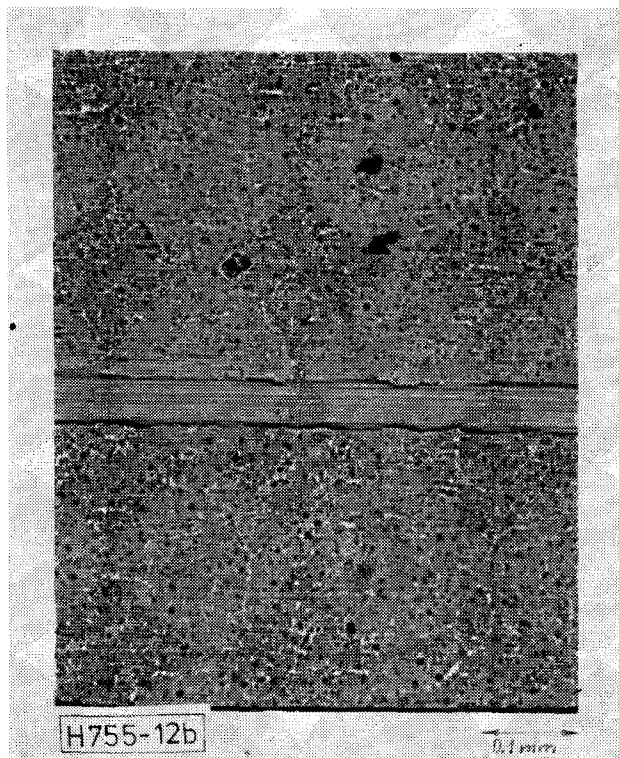
12. ábra. Zsirtalanított (Freon TF), majd hőkezelt (150 h, 100 °C) aranybevonat kopásvizsgálata során készült mikroszkópos fotók:

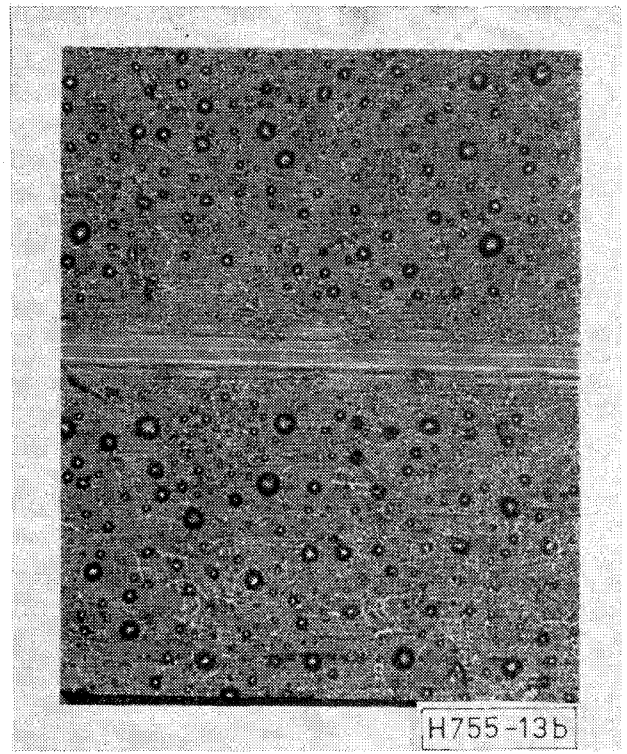
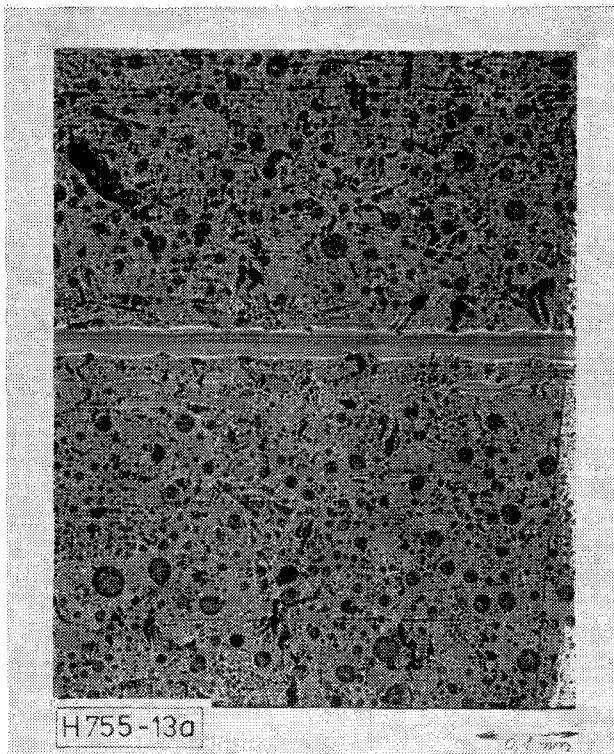
- a) 100 menet utáni nyom képe;
- b) 200 menet után kapott nyom

Az eddigi kopásnyom felvételeken az „egyenes” nyomokat mutattuk be, kaptunk azonban másfajta, „fonott” jellegű nyomokat is. Ezeket láthatjuk a 14. ábra felvételein. Jellemző azonban, hogy ilyen nyomokat mintegy „átmeneti” kopásszámoknál észleltünk: szobahőfokon, kenőanyaggal legkorábban 500 menetnél (még nem szélesedett ki a nyom); hőkezeit kenőanyagossal mintáknál 200 menet után, míg hőkezelt aranyon már akár 100 menet, vagy kevesebb is ilyenekre vezetett. Érdekességképpen mutatjuk be a zsír konzisztenciájú kenőanyaggal végzett koptatás során kapott hasonló nyomot, amely 1500 menet után, a zsír leöblítve vált igazán láthatóvá.

Optikai mikroszkópon kívül pásztázó elektron mikroszkóppal is tanulmányoztuk a nyomokat. Megfigyeltük, hogy kenés nélküli felületen jellemző volt az aranyrögöcskének a kopásnyom mellé történő kihordása. Jól látható ez a 15. ábrán, amely a hőkezelt aranyon kapott kopásnyomot mutatja szekunder elektronképeken 100, ill. 200 menet után. Nedvesített felületen még 1500 menet után is kisebbek ezek a szemcsék, amint ez a 16. ábra felvételein látható. A „fonott” kopásnyom vizsgálatánál az Antler által (5) „hajóorr-képződés”-nek (prow formation) nevezetthez hasonló jelenséggel találkoztunk, ezt mutatják a 17. ábra szekunder elektron képei.

Dugaszcsatlakozó szerelvényeknél a gyártók 100 dugaszolást engednek meg, de ennyinél is elég gyakran előfordul, hogy kisebb-nagyobb mértékben átkopik az aranyozás. A vizsgálat sorozatban alkalmazott LME dugaszoknál ugyan ez ritka, mégsem kizárt.





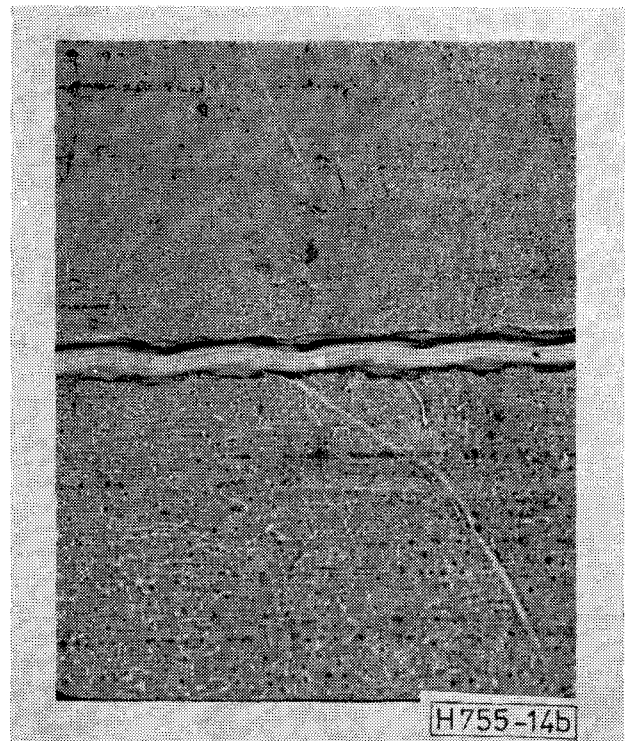
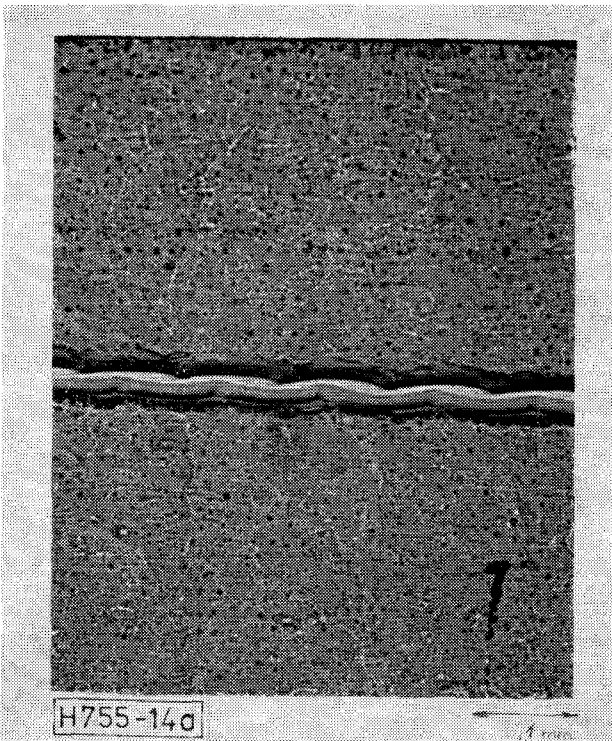
13. ábra. Nedvesített (BA 45 Fluid spray), majd hőkezelt (100 °C, 150 h) aranybevonat kopásnyomainak mikroszkópos képei:

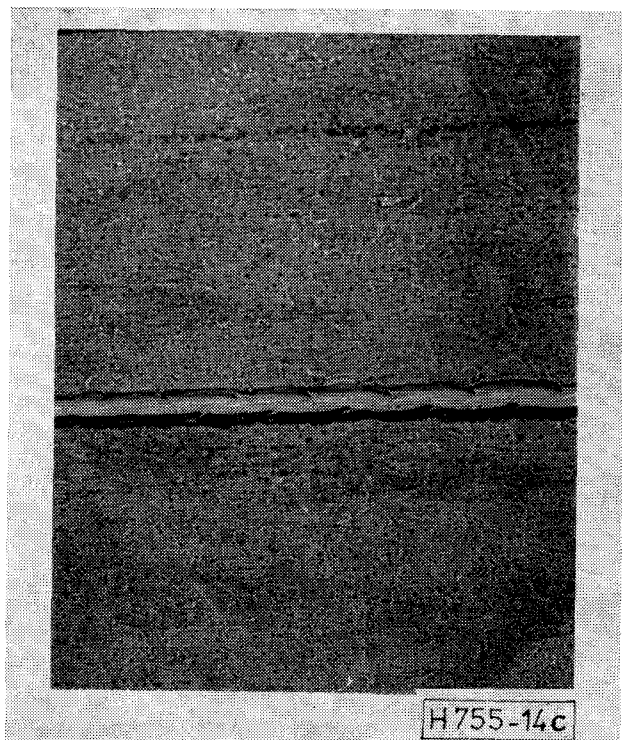
- a) a kopásnyom 100 menet után;
 b) a kopásnyom 200 menet után

(A kenőanyag még a felületen van)

14. ábra. „Fonott” jellegű kopásnyomok, amelyeket eltérő menetszám után észleltünk a különbözőképpen kezelt felületeken:

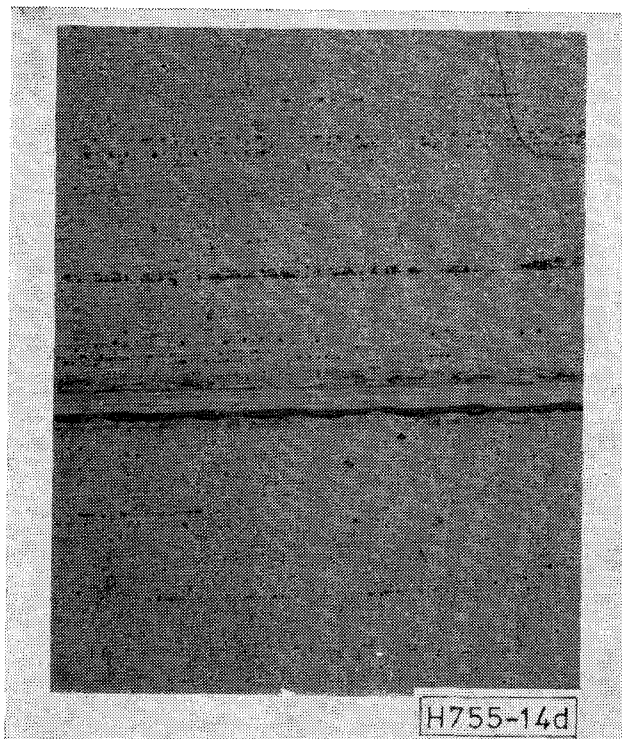
- a) Hőkezelt Au, (előzetesen zsirtalanított), 100 menet, 1,0 N utáni nyom;
 b) Sprayvel nedvesített, majd hőkezelt Au-on legkorábban 200 menet körül kapott nyom;





H755-14c

c) Sprayvel nedvesített Au bevonaton végzett 500 menet koptatás nyoma;



H755-14d

d) Zsírral kezelt Au bevonaton (BA 45 Grease), 1500 menet után kapott nyom képe

15. ábra. Zsírtalanított, hőkezelt aranyon kapott kopásnyomok pásztázó elektronmikroszkópos szekunder elektron képei:

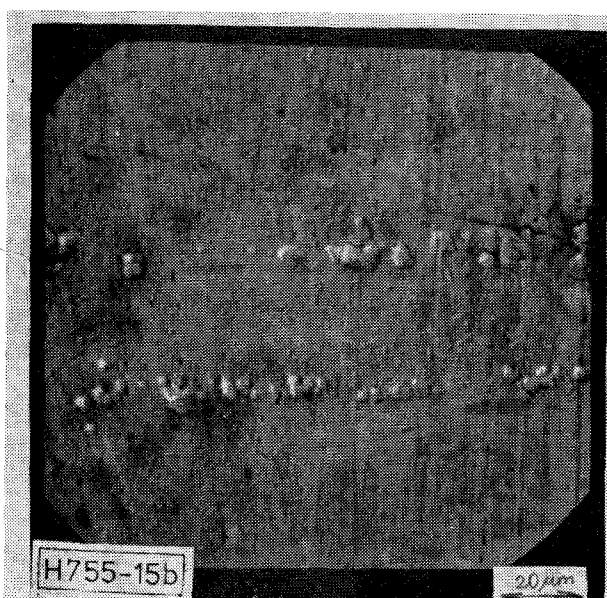
a) 100 menet nyoma, (SEI, 25 kV), 100× nagyítás;

b) a 100 menet utáni nyom közepe, (SEI, 25 kV), 650× nagyítás;



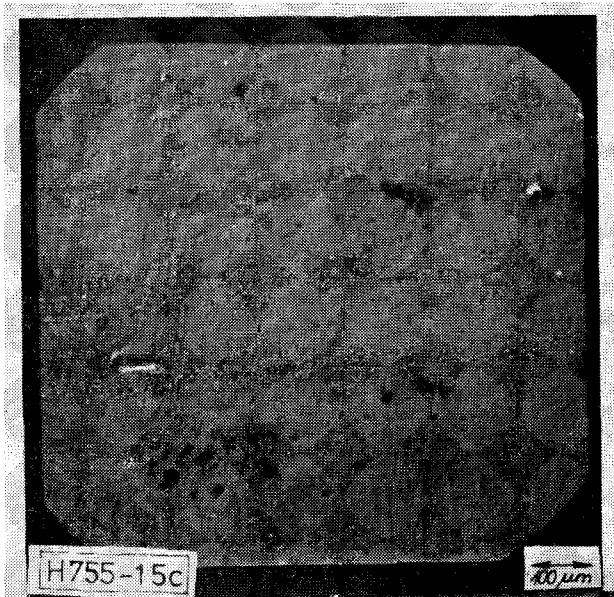
H755-15a

100 μm



H755-15b

20 μm



c) 200 koptatási menet nyoma,
(SEI, 25 kV), 100× nagyítás;



d) a 200 menet utáni nyom részlete,
(SEI, 25 kV), 240× nagyítás

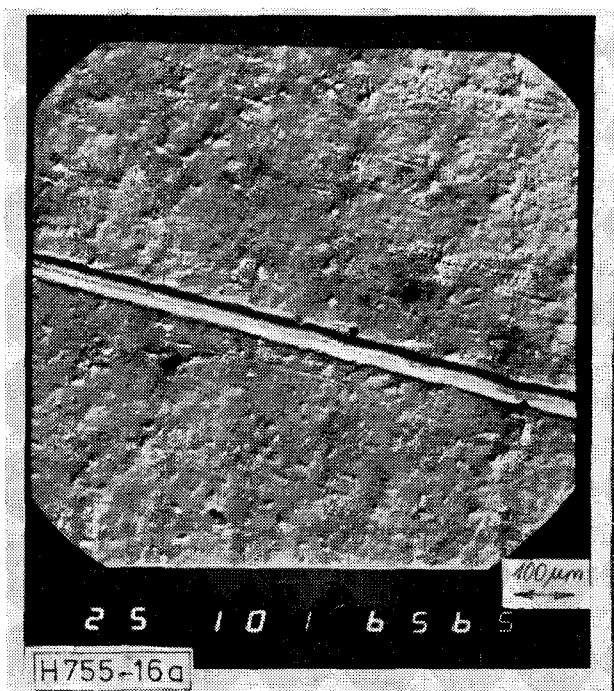
Ezért végeztünk kézi dugaszolhatóság vizsgálatot, melynek végén a kenőanyaggal ellátott minták felületét vizsgálva még csiszolatban (védő nikkelréteg felvitele után készített keresztmetszeti csiszolatokon) sem tapasztaltunk teljes átkopást az RNV — —RPV csatlakozók kis porozitású szériáján, a lant alakú rugóknál sem.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett vizsgálatokra a PKI Vegyészeti Osztályán kívül az LM Ericsson AB Materiallaboratoriumának Metallográfiai csoportjánál, a Televerket Materiallaboratóriumnál és a Műszaki Fizikai Kutatóintézet Elektronmikroszkópos csoportjánál

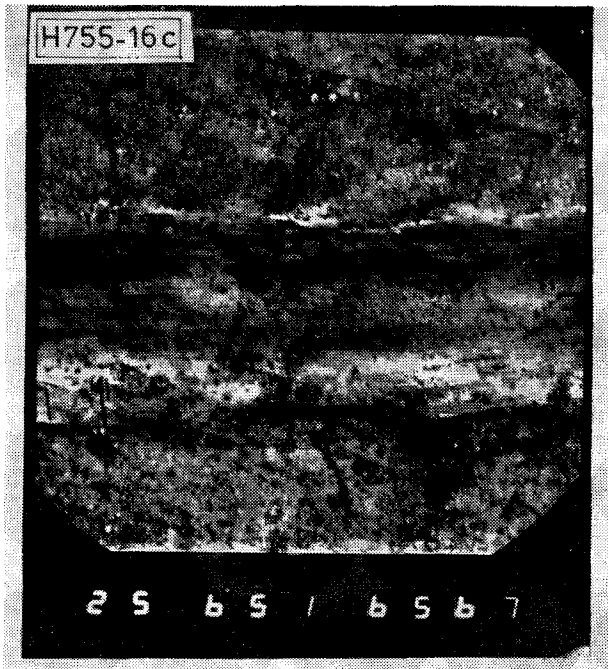
16. ábra. Spray-vel kezelt felületről 1500 menet után felvett SEM szekunder elektron képek:

a) a kopásnyom „látképe”,
SEI, 100×;

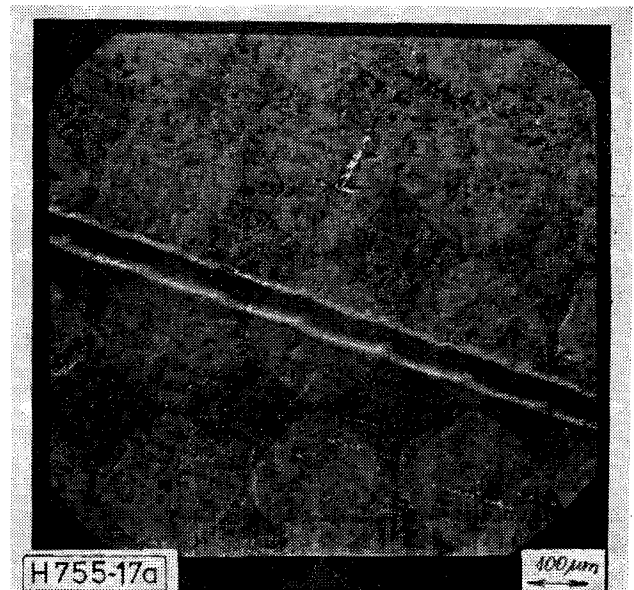


b) a kopásnyom részlete,
SEI, 650× nagyítás;





c) egy másik részlet,
SEI, 650× nagyítás



17. ábra. „Fonott” jellegű kopásnyom SEM felvételei:

- a) szekunder elektron kép, 100× nagyításban a hőkezelt aranyon levő 100 menet utáni kopásnyomról;
b) „hajóorr képződés” látható a 650× nagyítású részleten (SEI, 25 kv)

került sor, ezek műszereit is használva. Ezúton szeretném megköszönni az említett kutatóhelyeken dolgozó kollégák Dr. U. Lindborg, L. Révay, L. G. Liljestrand, L. Greting (LME, Stockholm, ill. Bollmora), J. Björkman (Televerket) és Lábár János (MÚFI) segítségét, amelyet vizsgálataimhoz nyújtottak.

IRODALOM

- [1] M. Antler: Processes of Metal Transfer and Wear, *Wear*, 7 (1964) 181—203
- [2] M. Antler: Tribological Properties of Gold for Electric Contacts, *IEEE Trans. Parts Hybrids and Packaging*, Vol. PHP—9, 1973 pp. 4—14
- [3] J. W. Souter: Adhesive Wear Properties of Electrodeposited Coatings for Sliding Contacts, *Proc. Holm Seminar 1978*, Chicago
- [1] W. O. Freitag: Wear, fretting and the Role of Lubricants in Edge Card Connectors, *IEEE Trans. Vol. PHP—12*, No. 1, 1976 pp. 40—45
- [5] M. Antler and M. H. Drozdowich: Wear of Gold Electrodeposits: Effect of Substrate and of Nickel Underplate, *The Bell System Technical Journal* 58/1979 p. 323
- [6] W. H. Abbott: Effects of Industrial Air Pollutants on Electrical Contact Materials, *Proc. Holm. Seminar*, 1973 p. 94
- [7] W. H. Abbott: Recent Studies on Tarnish Film Creep, *Proc. of the Ninth Int. Conference on Electrical Contact Phenom.* 1978. Chicago p. pp. 117—121
- [8] V. Tierney: The Nature and Rate of Creepage of Copper Sulfide Tarnish Films Over Gold Surfaces, *Proc. of the Ninth Int. Conference on Electr. Contact Phenom.* 1978 Chicago p. 123
- [9] Dékány L-né—Kormány T.: A villamos érintkező felületek hibásodási mechanizmusa, *Híradástechnika*, XXX. évf. 1979. 8. sz. 247—254. o.
- [10] Kovács G.: Az üzemeltetés tényleges környezeti feltételei és érintkezőhibák a távbeszélőtechnikában, *Posta Kísérleti Intézet Közleményei*, 28. kötet 87—106. o.
- [11] W. O. Freitag: Lubricants for Separable Connectors, *Proc. Holm Seminar*, 1975. p. 57
- [12] W. H. Abbott and J. H. Whitley: The Lubrication and Environmental Protection of Alternatives to Gold for Electronic Connectors, *Proc. Tenty-First Annual Holm Seminar*, 1975. p. 9.
- [13] J. D. Sinclair: Analysis of Mobility, Volatility, Morphology, Physical States, and Oxidation Stability of Selected Contact Lubricants, *IEEE Trans. on Parts, Hybrids and Packaging*, Vol. PHP—13. No. 2. June, 1977 pp. 178—189
- [14] Kovács G.: Vizsgálati eljárás tisztító- és karbantartó vegyszerek megválasztására, *PKI Közlemények* 29. kötet, 1980
- [15] Kovács G.: Lubricants for Electrical Contacts Used in Telecommunications, *Proc. Tenth ICEPC*, Budapest, 1980 p. 475

