

# FIT kapcsolók nemesfém kikészítése, különböző nemesfém kikészítések összehasonlító vizsgálatai

ETO 621.316.54:669.2:620.17

Az elektromechanikai kapcsolóelemeket a híradástechnikában és általában a gyengeáramú iparban széleskörűen alkalmazzák. Ezeknek a kapcsolóelemeknek a megbízhatóságát nagymértékben befolyásolják a bennük alkalmazott villamos érintkezők, ill. azok minőségi jellemzői.

Bár az érintkezők jellemzőire vonatkozó igények igen különbözőek lehetnek, a kapcsolóelem szerepétől függően általában elmondható: a gyengeáramú érintkezőknél fontos, hogy az átmeneti ellenállás kicsi és állandó legyen, a kopásállóság pedig igen nagy, illetve az átmeneti ellenállás éppen a környezeti hatások — így elsősorban a levegőben levő szennyező gázok hatására keletkező felületi szigetelő rétegek — folytán nagymértékben változhat. Igen fontos az érintkező anyagok megválasztásánál a környezeti hatásokkal szembeni ellenállóképesség figyelembevétele. Az utóbbi két évtizedben a szakirodalom igen sokat foglalkozott az érintkezőkön létrejövő szigetelőrétegekkel; ezek keletkezésével és hatásának vizsgálatával. Nem ilyen sokat foglalkozik a szakirodalom a nemesfém bevonatok kopásállóságával; de néhány igen jól használható cikk megjelent e témakörben is. Miután a FIT-rendszerben a kapcsolók nyomtatott áramköri lemezmegoldásúak, nálunk az átmeneti ellenállás mellett lényeges kérdéssé vált a nemesfém bevonatrendszer kopásállósága a nyomtatott áramköri lemezen és az érintkezőn. Vizsgálatainkat kiterjesztettük: a rétegeképződésnek az érintkezők működésére gyakorolt hatására, nemesfém bevonatrendszerek kopásállóságára, valamint a kopás okozta átütési feszültség mértékére.

## 1. Híradástechnikai nemesfém bevonatok legfontosabb alkalmazástechnikai tulajdonságai

### 1.1 Nemesfém bevonatok vezetőképessége

Nach A. Keil vizsgálatai szerint az ezüstötvetőzet bevonatnak (kemény ezüst) 50%-kal kisebb az elektromos vezetőképessége, mint a tömör ezüsté. Fényes ezüstbevonatoknál szerves fényesítőadalékkal 10%-os elektromos vezetőképesség-csökkenés következik be. Az ezüstötvetőzetekhez hasonlóan aranyötvetőzeteknél még inkább (sőt sokszor megengedhetetlenül) csökken az elektromos vezetőképesség az ötvözők hatására.

Ipari felhasználásnál erre nagyon kell ügyelni, a kemény aranybevonatok alkalmazásainál a fentiek miatt a vezetőképességet egyértelműen befolyásolja a bevonat vastagsága, kristályszerkezete, szennye-

zései, a felületi állapot és az alkalmazás módja. A galvánbevonatok vezetőképessége anizotróp lehet, ezért a vezetőképesség függhet az áramvezetés vizsgálatától vagy érintkezőként való felhasználásnál az érintkező forma és erő megválasztásától. A galvanizált ródiium bevonat vezetőképessége 9%-a a tömör ezüstnek. Miután a ródiium galvanizált ezüst, nikkel- és aranyrétegre 1—5  $\mu\text{m}$  vastagságban védőréteggént alkalmazzák, igen nagy keménységű védőréteget nyernek. A kis rétegvastagság következtében a fémfelület elektromos vezetőképessége nem csökken megengedhetetlenül.

### 1.2 Nemesfém bevonatok erózióállósága

Mindenekelőtt a bevonat villamos érintkezőként való felhasználásánál fontos. A mechanikai erózióállóság bizonyos fokig függ a keménységtől, de ezzel önmagában nem meghatározható. A villamos erózióállóság az anyagi jellemzők közül elsősorban a túllépési munkától függ, de ezt befolyásolja a bevonat szerkezete, szennyezései és felületi állapota is.

### 1.3 Forraszthatóság

E fogalom alatt a felület önnal való nedvesíthetőségét értik, de beletartozik a kiképzett forraszpont szilárdságának változása és környezetállósága. Mindhárom felsorolt tulajdonságára jelentős befolyása van a környezeti hatásoknak és az üzemeltetési tényezőknél. A bevonat vezetőképessége, forraszthatósága és erózióállósága diffúziós és rétegeképződési folyamatok következtében változhat meg. Az erózióállóságot lejártszódo transzportfolyamatok a bevonat vastagságát és szerkezetét, néha összetételét változtatják meg, és ezáltal visszahatnak a bevonat forraszthatóságára és vezetőképességére is.

### 1.4 A rétegeképződés fajtái és hatásuk az érintkező működésére

Az érintkezők anyagától és működésének módjától függően az 1. táblázatban összefoglalt főbb szigetelőréteg-típusok különböztethetők meg.

A szigetelőréteg képződése a gyengeáramú villamos érintkezőkön jellegzetesen véletlen hibát okoz és elsősorban az őket hordozó elektromechanikus kapcsolóelemek megbízhatóságát befolyásolja. A réteg képződésének mechanizmusára nézve a következő elmélet a legáltalánosabb: A levegő szennyeződései — ezek közül legjelentősebbek a nemesfém érintkező szempontjából a kénhidrogén és a különböző szerves gőzök — diffúzió útján a felületre jutnak. Ott fizikai vagy kémiai adszorpció útján megkötődnek, majd a

1. táblázat

Az érintkező típusa	Az érintkező anyag típusa	A szigetelőréteg	
		keletkezésének módja	kémiai jellege
Ritkán kapcsoló	Nem nemesfémek  Nemesfémek	Kémiai reakció	Oxid, szulfid, ritkán klorid vagy karbonát  Szulfid (ezüstötveteken)
Gyakran kapcsoló; gyakorlatilag villamos terhelés nélkül	Nemesfémek	A szennyező gázok adszorpciója és heterogén fázisban lejátszódó katalitikus polimerizációja	Szerves polimer fémporkeverék
Gyakori kapcsolás villamos terheléssel	Nem nemesfémek  Nemesfémek	Ívképződés hatására gyorsított oxidáció  A szennyező gázok adszorpciója, heterogén fázisban lejátszódó részleges vagy teljes polimerizációja és a keletkező termék ívképző hatása	Szén-szerves polimer fémporkeverék

fém felületével vagy egymással kémiai reakcióba lépnek. A kémiai reakció következtében alakul ki a szigetelőréteg az érintkező felületén. A réteg elemi részének képződése, tehát egy diffúziós és egy adszorpcióos folyamatra, valamint egy kémiai reakcióra vezethető vissza. A rétegeképződésnél a klímahatások igen jelentősek. A klímahatások hatásait a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat

Klímahatások	Növekedésük hatása		
	diffúzióra	adszorpcióra	kémiai reakcióra
Hőmérséklet	+	-	+
Rel. légnedvesség	0	+	+
Nyomás	+	+	+
A levegő összetétele (a szennyeződések koncentrációja)	+	+	+

Jelmagyarázat: + növelő tényező  
- csökkentő tényező  
0 nincs hatás

A felsorolt klímahatások közül mind a négyre befolyással van az érintkezőt körülvevő makroklíma és elsősorban a hőmérsékletet és a levegő szennyezett-

ségét befolyásolja az érintkező mikroklímája. A makroklíma hatását jól illusztrálja az a tény, hogy például ezüstérintkezők szulfidálódása miatt normál klímán csak nedves időszakban vagy trópusi szállítások esetén fordulnak elő tömeges meghibásodások. A mikroklíma hatására jellemző példa, hogy a svájci posta vizsgálatai szerint az érintkezők meghibásodása és a műanyag burkolatú padlótól való távolsága között összefüggés van.

### 1.5 Nemesfém bevonatok kopásállósága

Az ezüstbevonat kopásállósága viszonylag jónak mondható. A jó kopásállóságot a fém képlékenysége idézi elő. Ezt igazolja, hogy a kemény ezüstbevonat kopásállósága gyengébb, ugyanis az ötvözők ridegget teszik a réteget.

A színarany bevonat kopásállósága jó, s mint az ezüstöt, ezt is a fém képlékenysége idézi elő. Ismeretes extrém kemény aranyréteg (kb. 400 kp/mm<sup>2</sup>); ennek a kopási ellenállása igen kicsi. Összehasonlítvásként kemény aranyötvetet kopási értékeit a kevésbé kemény (180–200 kp/mm<sup>2</sup>) bevonatával, bizonyított a fenti megállapítás, hogy a jó kopásállósággal rendelkező bevonatok képlékenységre vannak alapozva.

Ezüstbevonaton a nagy elektromos terhelés és gyakori kapcsolás hatására a galvanikus ezüstretegen anyagvándorlás következik be a két kontaktfelületen. A nagy mechanikai igénybevétel hatására a szilárd nemesfém felületén az erózióhoz hasonló szétrombolódás figyelhető meg.

A ródiót galvanizált ezüst- és aranyrétegre védőréteggé alakítják, mert a ródiót bevonat a gyakori kapcsolás során bekövetkező kopási igénybevételnek kitűnően ellenáll; kiváltképpen ezüst és fém nickelbevonatokra választanak le ródiót. Ritkában aranybevonatokra kopással szembeni mechanikai védelemként alkalmazzák.

A palládium bevonatnak nyomtatott áramköri lemezeknél történő alkalmazása esetén kitűnő kopási ellenállást észlelnek.

Az érintkező felületén a szigetelőréteg egymást követő sok elemi folyamat eredményeképpen alakul ki, és ebben az időben az érintkező működtetésére a rétegeképződés viszonyait és magát a réteget is módosítja. Az érintkező funkciójának betöltése közben az érintkező felületen és az azon kialakuló réteget mechanikai és villamos hatások érik. A mechanikai igénybevétel a felületet és a réteget nyomásra és általában az érintkezők egymáson való súrlódása következtében nyírásra veszi igénybe. Ez a tényleges érintkező felület érdességi viszonyainak és nagyságának megváltoztatásával jár, a kialakuló réteget pedig defrinálja, esetleg áttöri, pontosságát növeli. A villamos kapcsolás vagy megszakítás következtében a teljesítmény függvényében lényegében gázosodás játszódik le az elektródok között. Ezeknek a mikro- vagy makróvevőknek a hatására, tehát a felületnek és azon képződött réteggel nemcsak az érdességi viszonyai és mechanikai struktúrája, de összetétele is megváltozhat.

A kapcsolókban a nyomtatott áramköri lemez és az érintkezők egymással érintkező helyei nyomásra és funkcionális működése közben egymáson való súrlódás következtében nyírásra vannak igénybe véve.

A súrlódás mértéke a felület érdességi viszonyaitól nagymértékben függ.

$$F = \mu \cdot F_{ny}$$

$F$  = súrlódási erő  
 $\mu$  = felületi érdességtől függő tényező  
 $F_{ny}$  = felületi nyomóerő.

## 2. Kísérleti rész

A kísérleti rész elején mikroszkóppal megnéztük a vizsgálatra kerülő nyomtatott áramköri lemezek és érintkezők felületét. A nyomtatott áramköri lemezek felülete megfelelő volt, mert a galvanizálás előtt fel lettek polírozva. Az érintkezők felületén durva — hajlítási művelet utáni — repedések, deformációk láthatók. A mikroszkópi felvétel jól mutatja a kráterszerű mélyedéseket, melyek szélei élesen kiemelkednek.

### 2.1 A rétegeképződés vizsgálata

A vizsgálat során 24-órás igénybevételnek tettük ki a nyomtatott áramköri lemezeket és érintkezőket. A  $30 \pm 1$  °C hőmérsékletű és 94—96% relatív légnedvességre beállított térbe bemértünk 0,005 térfogat% kénhidrogént. A térnek szerves gőzökkel való telítését dibutilftalátos tartály elhelyezésével oldottuk meg. A különböző bevonatú érintkezőket és nyomtatott áramköri lemezeket hatszor 24 órás igénybevételnek tettük ki.

Ebből az látható, hogy az ezüst átmeneti ellenállása már a vizsgálati időszak elején igen nagy mértékben megnövekedett. A felület szemmel láthatólag teljesen elvesztette fémes jellegét, szigetelőréteggel vastagon borított.

Az aranybevonat átmeneti ellenállása közel sem olyan rohamosan nőtt, mint az ezüsté, de kis méretű növekedés észlelhető és a felületen vékony szigetelőrétegek képződés is látható rézfelületre közvetlen leválasztott aranyréteg esetében. A palládiumozott nyomtatott áramköri lemezek és érintkezők átlagos átmeneti ellenállásértéke lényegében nem változott, bár a mintákon a jellegzetes barna porképződés megjelent.

A ródiумozott érintkezők mindkét átmeneti ellenállásértéke sem változott lényegesen. A ródiум rétegen kis méretű homályosodáson kívül számottevő változás nem észlelhető.

### 2.2 Koptatást vizsgálat

A nemesfémme bevonat nyomtatott áramköri lemezeket a nyomtatott áramköri lemez bevonatával azonos bevonatú rugós érintkezővel koptattuk. Saját tervezésű koptatógéppel dolgoztunk, melynek működése kapcsolórendszerünk működésével közel azonos.

A koptatás során a rugós érintkező egyenesvonalú pályán mozog a nyomtatott áramköri lemezen. Az érintkező rugónyomásra beállítható, kontakt pontonként 60, 45, 30, 25, 20, 10 g rugónyomásra.

5 ezer, 10 ezer, 20 ezer, 30 ezer, 50 ezer, 100 ezer, 200 ezer oda-vissza igénybevétellel végeztünk koptatási vizsgálatot. A fenti koptatási igénybevételek után mértük a kopási nyomvonal átütési feszültségét. 30 ezer oda-vissza koptatási igénybevételig mértük a nyomtatott áramköri lemez és érintkező súlyváltozását. A kísérletsorozat folyamán üzemi felület-

minőségű érintkezőkkel dolgoztunk. Külön vizsgáltuk a nyomtatott áramköri lemez és érintkező felület finomításának hatását a kapcsolók működésére.

A koptatási vizsgálatot elvégeztük:

- Ezüstözött,
- Óra- és Ékszeripari Vállalat által aranyozott,
- Pénzverde által aranyozott,
- Nikkel köztes rétegre házilag aranyozott Au-Ni ötvözetű,
- Nikkel köztes rétegre házilag aranyozott Au-Co ötvözetű,
- Nikkel köztes rétegre házilag aranyozott Au-Cd ötvözetű,
- Nikkelre és ezüstre palládiumozott,
- Nikkelre és ezüstre ródiумozott mintákon.

### 2.3 A vizsgálat eredménye

Kapcsolóinkban az érintkező kontaktpontonkénti rugónyomása 45 g volt eredetileg. Ezen rendkívül nagy rugónyomással indítottuk a kísérleteket. Megállapítottuk, hogy a kopási igénybevétel hatására valamennyi galvánbevonatú nyomtatott áramköri lemez rohamos súlycsökkenést szenved. 30 ezer igénybevétel után már elérte a rézfóliát az érintkező.

Sürgősen csökkenteni kellett a rugónyomást. Ezt a gyártás fenntartása mellett első lépésben 30 g-ra tudtuk csökkenteni érintkezőpontoként. A 30 g rugónyomással végzett koptatás során szintén rohamos súlycsökkenés állt fenn. 42 ezer igénybevétel után érte el az aranybevonat esetén a rézfóliát az érintkező. Az aranyrétegre ródiум bevonatot kellett felvinni, hogy a kapcsolók legalább 80 ezer oda-vissza igénybevételt bírjanak. A ródiум réteg alkalmazása a forraszthatóságot nagyon lerontotta. A rugónyomás csökkentése során 10 g kontaktpontonkénti nyomás esetén adódott az a határeset, melynél a nyomtatott áramköri lemez súlycsökkenése minimális. Inkább az érintkező kopik, de ez is csak 150 ezer koptatási igénybevétel után mérhető. Összehasonlítva a különböző bevonatú nyomtatott áramköri lemezek és érintkezők kopási adatait, a legjobbnak a nikkel köztes rétegre leválasztott arany-kobalt ötvözet adódott. Ezt házilag állítottuk elő. A köztes réteg hiánya az aranyréteg bediffundálását vonja maga után a rézrétegekben.

A kapcsolók és az érintkezők területén a legfontosabb fejlődésnek talán a cianidmentes galvánjeljárást tekinthetjük, mivel kitűnő szóróképesége, és a bevonat nagyobb sűrűsége lehetővé teszi, hogy megfelelő réteget kapjunk, sokkal csekélyebb vastagságú bevonattal.

A Pénzverde és az Óra- és Ékszeripari Vállalat aranyozásánál 3,5—4  $\mu$ m rétegvastagságot kell alkalmazni koptatási igénybevétel-méréseink alapján.

Cianidmentes fürdőből nikkel köztes rétegre leválasztott 2—2,5  $\mu$ m aranyréteg kopásállósága magasan a legjobb a vizsgált aranybevonatok közül.

## 3. Összefoglalás

A villamos terheléssel, gyakori kapcsolással működő kapcsolók esetében a legmegfelelőbb a kemény aranybevonat. Ötvözőket tekintve kobaltsavas, va-

### TAKÁTS S.—GYŐRI T.: FIT KAPCSOLÓK

lamint kadmium- és cianidmentes fürdőből leválasztva. Kísérleti munkánk során bebizonyosodott az a fontos megállapítás, hogy nem elégséges a nyomtatott áramköri lemez felületsimítása galvanizálás előtt. Az érintkezők vegyi polírozása 20%-kal növeli a kopásállóságot.

A koptatási vizsgálatok eredményeit összegezve

kitűnik, hogy a helyesen megválasztott rugónyomás esetén az aranyvándorlás az érintkezőknél a nyomtatott áramköri lemezre történik, ezért az érintkezőt ideális esetben a nyomtatott áramkör bevonatának anyagából kellene készíteni, de miután ez túl költséges, az érintkezőkön vastagabb galvánbevonatot kell alkalmazni.