

# Villamos hajtású járművekben használt elektromos csatlakozók fretting korrózióját befolyásoló tényezők vizsgálata

## Investigation of factors influencing fretting corrosion of electrical connectors used in electric vehicles

GÁL Alexandra junior kutató, RÓZSAHEGYI Péter osztályvezető

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.,  
H-3519 Miskolc, Iglói út 2., +36 46/560-110, <http://www.bayzoltan.hu>

### Abstract

*In this article we examined the life-time of connectors used in electric vehicles in terms of fretting corrosion. Firstly, a fretting test equipment was developed, which made fretting tests with specimens possible. A specimen with a simplified geometry was formed which consisted of a flat and a hemispherical sample. The effect of amplitude, compressive force, temperature and air humidity to fretting process was analyzed during the experiments.*

**Keywords:** fretting corrosion, electric vehicle, connector, contact resistance, number of cycles

### Kivonat

*Munkánk során az elektromos autókban alkalmazott elektromos csatlakozók élettartamát vizsgáltuk a fretting kopás szempontjából. Első lépésként kidolgozásra került egy fretting vizsgáló berendezés, melyen próbatestes fretting vizsgálatokat lehet végezni. A csatlakozó kontaktviszonyainak modellezéséhez egy egyszerűsített geometriájú próbatest kialakítást választottunk, amely egy lapos és egy félgömb kiképzésű próbatestből állt. A kísérletek során az amplitúdó, a nyomóerő, a hőmérséklet valamint a levegő nedvességtartalmának fretting folyamataira gyakorolt hatása került elemzésre.*

**Kulcsszavak:** fretting korrózió, elektromos autó, csatlakozó, átmeneti ellenállás, ciklusszám

## 1. BEVEZETÉS

A gépjárművekben használt elektromos csatlakozók tönkremenetelének egyik fő oka a csatlakozók oxidációja. A folyamat viszont ennél sokkal összetettebb, a csatlakozók élettartama jelentősen függ az alkalmazott bevonat vastagságtól, a csatlakozó vibrációjának amplitúdójától, a két csatlakozófelet összeszorító rugóerőtől és a jellemző hőmérséklettől. A fretting, azaz az oxidáció és a vibráció együttes hatása, csak akkor okozza a csatlakozó tönkremenetelét, ha a rezgési amplitúdó egy kritikus érték felett van és a felület oxidációs folyamata kellő mértékben előrehaladott [1].

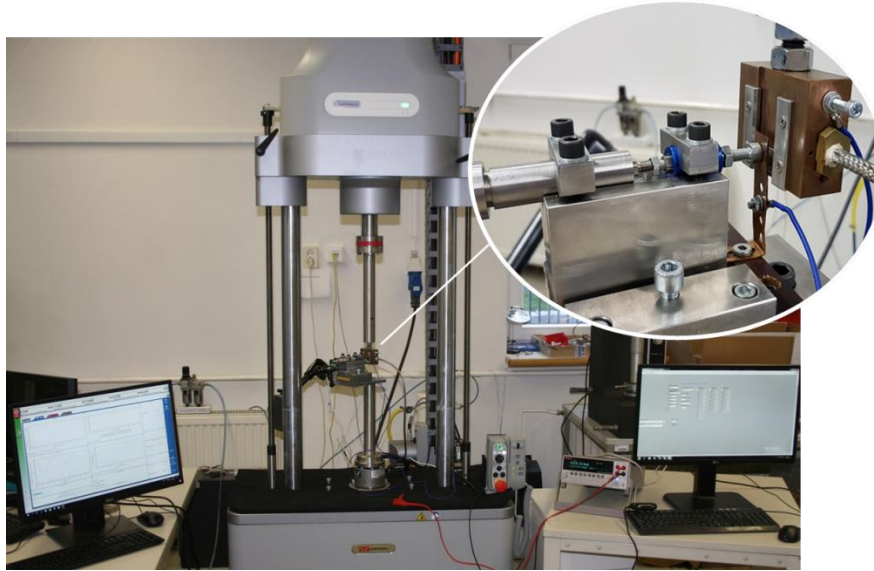
A vizsgálatokra kiválasztott önbevonatos réz csatlakozó fretting-korrózió során az érintkezési pontban az önbevonat a levegő oxigénjével reagálva oxidálódik, mely korróziós termék az ismétlődő dörzsölődés (adott amplitúdójú rezgések) következtében ön-oxidos törmelékké alakul és fokozatosan kihordódik az egymáshoz nyomott érintkezési foltok felületéről. Idővel megindul a hordozó (alap réz) oxidációja is, amely nagyobb ciklusszám után már az átmeneti ellenállás rohamosabb növekedéséhez és végső soron a csatlakozó tönkremeneteléhez is elvezethet [2].

## 2. PRÓBATESTES FRETTINGVIZSGÁLATOK MEGVALÓSÍTÁSA

### 2.1. Vizsgálati elrendezés

Az elektromos csatlakozók áramátvezetési pontjainak tesztelésére már több speciális teszt berendezést is kifejlesztettek, mellyel a nagyon összetett fretting-korróziós folyamatokat befolyásoló paramétereket egzaktabban lehet beállítani, változtatni és az átmeneti ellenállás változását időben akár folyamatosan is követni. Munkánk során egy ilyen tesztberendezés került megtervezésre és megépítésre, mely az 1. ábrán

látható. A vizsgálóberendezés egy nagyfrekvenciás rezgések előállítására alkalmas elektrodinamikus anyagvizsgáló berendezésből és a minták befogására alkalmas (elektromosan fűthető) befogó rendszerből állt. A vizsgálat vezérelhetősége miatt függőleges kialakítású vizsgálatot terveztünk, a következő főbb paraméterekkel: az elmozdulási amplitúdót 0,5-50  $\mu\text{m}$  között, a frekvenciát 0,1-160 Hz között, a kontaktfelületek egymáshoz nyomó állandó terhelést pedig 1-100 N közötti tartományban lehetett változtatni. Az emelt hőmérsékletű vizsgálatokhoz, illetve a páratartalom szabályozásához klímakamrát alkalmaztunk. A mintatartó és a nyomófej elektromos csatlakozóval lettek ellátva, ezeken keresztül történ az átmeneti ellenállásmérés egy erre alkalmas berendezéssel. Az érintkező felületek tartói elektromosan szigetelve lettek.



1. ábra. Próbatestes fretting vizsgálatához tervezett vizsgálóberendezés

## 2.2. Próbatest geometriája

A vizsgálatokra kiválasztott önbevonatos réz terminál elemeiből kimunkált próbatest párokkal végeztük a próbatestes vizsgálatokat (2. ábra). Az apa terminál viszonylag nagy felülete lehetőséget biztosított arra, hogy belőle kerüljenek kimunkálásra a szükséges próbatestek. Az A minta (dombornyomott fél) érintkezési felülete egy 5 mm-es acélgolyó segítségével lett kialakítva. A B minta (síklemez) szintén a terminál darabolásával lett létrehozva.



2. ábra. Vizsgálatra előkészített mintapár (bal: A minta, jobb: B minta)

## 2.3. Értékelési módszer

A vizsgálatok során átmeneti ellenállás változás – ciklusszám diagramokat rögzítettünk, melynek segítségével meghatározható, milyen ciklusszámnál következik be a tönkremenetel, azaz mikor éri el a kritikus ellenállás változás értéket a mintapár. A kritikus ellenállás pontos értékét minden minta esetén az érintkező felület mért területe alapján számoltuk ki az alábbi egyenlet szerint:

$$R_{krit} = R_1 * \frac{A_{terminal}}{A_{A\ mintá}} \quad R_1 = 10 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

A fretting vizsgálatok után a mintapár A oldalán a kopott felület mérete 0,06-0,13  $\text{mm}^2$  között változott a vizsgálati amplitúdó és ciklusszám függvényében. A felület átlagos nagysága 0,1  $\text{mm}^2$  körüli

érték. A tényleges csatlakozó kopott felületének mérete körülbelül  $2,91 \text{ mm}^2$ . A kritikus értéket a terminálokra vonatkozóan  $10 \text{ m}\Omega$ -nak vettük. Ezáltal felületarányosan a mérendő ellenállás az előírt  $10 \text{ m}\Omega$ -ról körülbelül  $300 \text{ m}\Omega$ -ra növekszik.

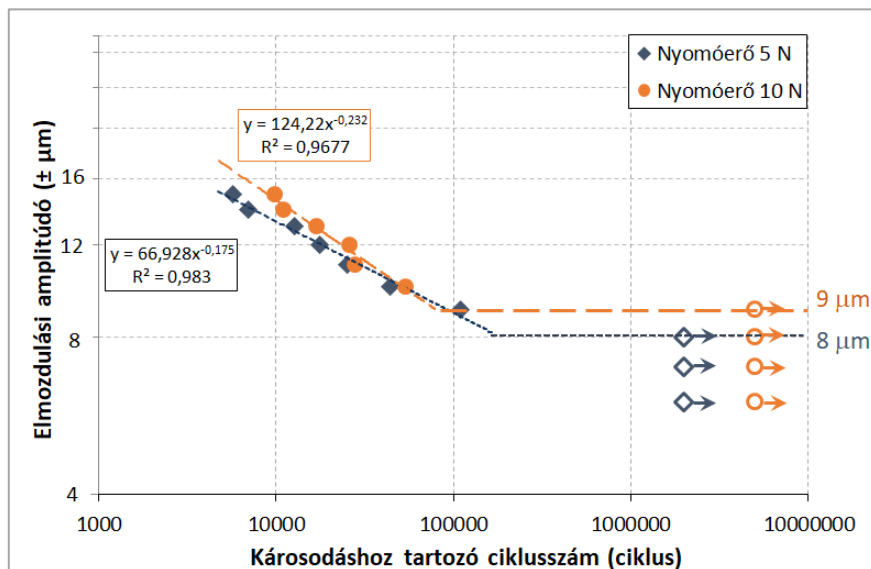
### 3. VIZSGÁLATI EREDMÉNY, KIÉRTÉKELÉS

A vizsgálat célja a csatlakozókból előállított próbatestek különböző elmozdulás amplitúdóknál, nyomóterhelésnél, hőmérsékleten és páratartalomban mért ellenállás értékeinek összehasonlítása. Ezen információk ismeretében élettartam diagramokat határoztunk meg különböző paraméterek függvényében azzal a céllal, hogy megtudjuk, bármely paraméter változtatása milyen módon hat a csatlakozók élettartamára.

Első megközelítésként egy referencia diagramot készítettünk, melyhez a vizsgálatokat  $5 \text{ N}$  nyomóterheléssel, szobahőmérsékleten ( $23^\circ\text{C}$ ),  $50\%$  relatív páratartalommal,  $30 \text{ Hz}$  frekvenciával végeztük, a változó paraméter az elmozdulási amplitúdó volt. Az így kapott görbe hasonlít a kifáradási S-N görbéhez. Az élettartam jelentősen lecsökkent az elmozdulási amplitúdó növekedésével, a görbe meredeksége arra utal, hogy az élettartam nagyon érzékeny az elmozdulási amplitúdóra. Ugyanakkor megállapítható volt egy amplitúdó határ, amely alatt nem történt károsodás. Ez az amplitúdó határ  $8 \mu\text{m}$  volt ebben az esetben. A további vizsgálatok során a változtatott paraméterek hatását ehhez a görbéhez viszonyítottuk.

#### 3.1. Nyomóterhelés hatásának vizsgálata

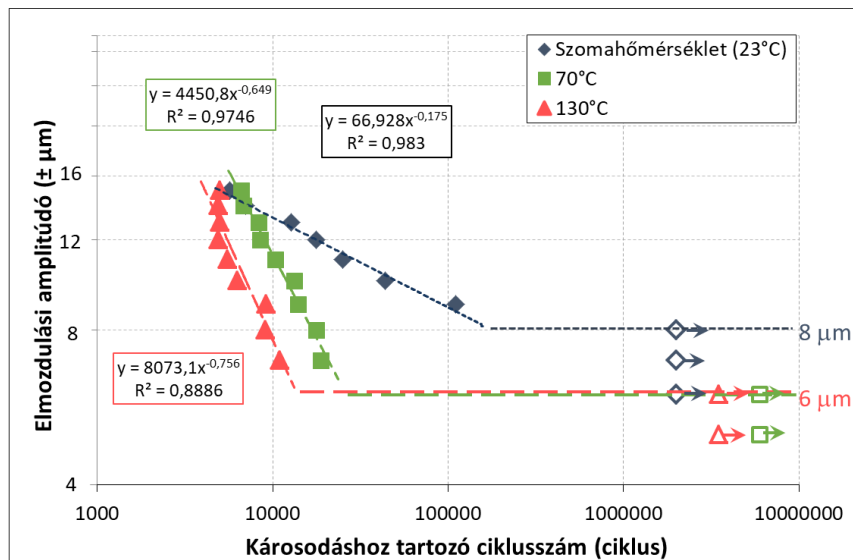
A 3. ábra az elmozdulási amplitúdó és a károsodáshoz tartozó ciklusszám közötti összefüggést mutatja  $5 \text{ N}$  és  $10 \text{ N}$  nyomóerő mellett. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a  $10 \text{ N}$  nyomóterheléssel végzett vizsgálatok esetén az amplitúdó határ, amely alatt nem történt károsodás, a referencia vizsgálatok során tapasztalt  $8 \mu\text{m}$ -hez képest  $9 \mu\text{m}$ -re emelkedett. A görbe meredekségét tekintve a  $10 \text{ N}$  nyomóterheléssel végzett vizsgálatok eredményei hasonlóak az  $5 \text{ N}$  nyomóterheléssel végzett teszt eredményeihez.



3. ábra. Elmozdulási amplitúdó és a károsodáshoz tartozó ciklusszám közötti összefüggés  $5 \text{ N}$  és  $10 \text{ N}$  nyomóerő mellett

#### 3.2. Hőmérséklet hatásának vizsgálata

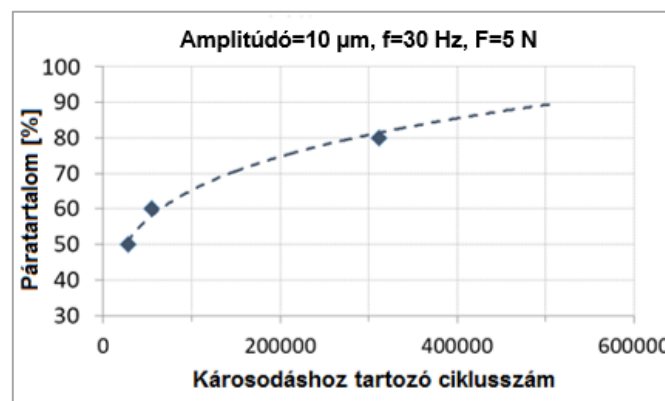
A hőmérséklet hatásának vizsgálatára  $70^\circ\text{C}$ -on és  $130^\circ\text{C}$ -on végeztünk vizsgálatokat. Az emelt hőmérsékletű vizsgálatok elvégzéséhez szükség volt a klímakamra beüzemelésére. A 4. ábrán látható eredmények alapján megállapítható, hogy az élettartam jelentősen csökken a hőmérséklet növekedésével:  $70^\circ\text{C}$ -on az élettartam körülbelül  $50\%$ -kal csökkent,  $130^\circ\text{C}$ -on pedig körülbelül  $70\%$ -kal, a kritikus amplitúdó határ pedig  $6 \mu\text{m}$ -re csökkent. Ez azzal magyarázható, hogy magasabb hőmérsékleten könnyebben alakul ki a  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  intermetallid, ami nagyobb átmeneti ellenálláshoz vezet és lerövidíti a csatlakozó élettartamát [3].



4. ábra. Elmozdulási amplitúdó és a károsodáshoz tartozó ciklusszám közötti összefüggés szobahőmérsékleten, 70°C-on és 130°C-on

### 3.3. Páratartalom hatásának vizsgálata

90%-os páratartalomban 9-20  $\mu\text{m}$  elmozdulási amplitúdóval végeztünk vizsgálatokat. A próbatetek nem károsodtak, az átmeneti ellenállásuk még 1 millió ciklus után is szinte alig változott 2-3 m $\Omega$ -mal. Ez azzal magyarázható, hogy az érintkezési pontban lecsapódó vízmolekulák megakadályozzák a kopási törmelékek felhalmozódását, ezáltal segítik megelőzni az átmeneti ellenállás növekedését [4]. A páratartalom csökkenését kezdtük vizsgálni és mint az 5. ábrán látható, 80%-os páratartalomban már károsodtak a minták.



5. ábra. Károsodáshoz tartozó ciklusszám és a páratartalom összefüggése

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során próbatestes fretting vizsgálatokat végeztünk a károsodási folyamat megértése érdekében. Az eredmények igazolták a felvetést, miszerint létezik egy kritikus elmozdulási amplitúdó, ami alatt a csatlakozó csaknem örökéletű, valamint a hőmérséklet és a rezgési amplitúdó növekedése jelentős mértékben csökkenti az élettartamot. Ugyanakkor a páratartalom növekedése pozitívan hat az élettartamra.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Young Woo Park, T.S.N. Sankara N., Kang Yong Lee. *Effect of fretting amplitude and frequency on the fretting corrosion behaviour of tin plated contacts*. Surface & Coatings Technology, 2006, 201, 2181–2192.
- [2] Young Woo Park, Hyung Goun Joob, Kang Yong Leeb. *Effect of intermittent fretting on corrosion behavior in electrical contact*. Wear. Elsevier, 2010, 268, 353–360.
- [3] Young Woo Park, T.S.N. Sankara Narayanan 1, Kang Yong Lee. *Effect of temperature on the fretting corrosion of tin plated copper alloy contacts*. Wear. Science Direct, 2007, 262, 320–330.
- [4] I.H. Sung, J.W. Kim, H.J. Noh, H. Jang. *Effect of displacement and humidity on contact resistance of copper electrical contacts*. Tribology International. Elsevier, 2016, 95, 256–261.