

# Elektromos csatlakozók fretting-korróziójának vizsgálata numerikus eszközökkel

## The analysis of electric connectors' fretting corrosion with numerical methods

*Szerzők: MARGITAI Péter junior kutató, Dr. KOVÁCS Sándor tudományos munkatárs,  
Dr. SZÁVAI Szabolcs osztályvezető*

*Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., H-3519 Miskolc, Iglói út 2., +36 46/560-110,  
[peter.margitai@bayzoltan.hu](mailto:peter.margitai@bayzoltan.hu), <http://www.bayzoltan.hu/hu/fooldal>*

*Manapság a járműipari kutatások élvonalába tartozik a belsőégésű motorokkal rendelkező autók alternatívájaként elismert villamos hajtású járműveknek a fejlesztése. Munkánkban e járművekbe beépítendő elektromos csatlakozók élettartamát elemeztük. Felismerve, hogy a fő tönkremeneteli mód az említett csatlakozóknál a fretting-korrózió, ezért ezt a jelenséget numerikus eszközökkel vizsgáltuk. Feladatunk során megalkottuk a csatlakozó kontakt-viszonyait vizsgáló fizikai szimulációnak végeselemes mechanikai-, kopási-, hővezetési-, áramvezetési-modelljét, majd a kapott eredményeket kiértékeljük.*

*Nowadays, one of the leading research trends of the automotive industry is the development of the electric powered vehicles which are acknowledged as a valid replacement for vehicles which use internal combustion engines. In our work we examined the life-time of a built-in connector. The connector's main failure mode is fretting-corrosion which we examined with numerical methods. In our work we created the FEM model of the physical simulation of the connector to analyze its contact-, wear-, thermal- and electric properties.*

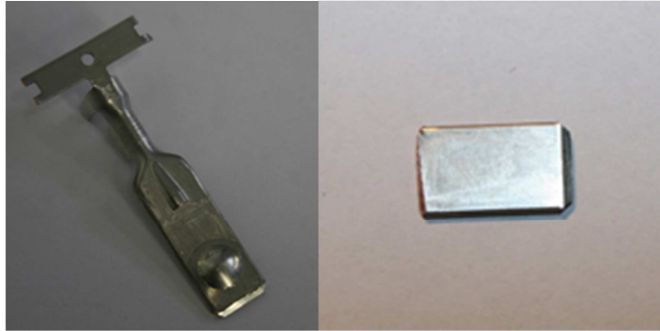
Kulcsszavak: fretting-korrózió, numerikus módszer, végeselemes módszer, elektromos autó, csatlakozó

### 1. BEVEZETÉS

A villamos hajtású autókban használt hűtőventillátorok elektromos csatlakozóira vonatkozóan, az eddig belsőégésű motoros járművek esetén alkalmazott élettartam-vizsgálati tesztek nem mérvadóak, mivel a csatlakozók üzemideje, valamint a fellépő áramerősségek jelentősen magasabbak. Ebből következően a fejlesztés alatt lévő elektromosautó-ipari szabványokban nagyobb a csatlakozók elvárt élettartama, mint a belsőégésű motoros előírásokban. Ez azt követeli meg, hogy megfelelően gyorsított szabványosított élettartam tesztek kerüljenek bevezetésre. Munkánkban a csatlakozó élettartamát befolyásoló egyik fő tényezőt, a fretting-korrózió folyamatát vizsgáltuk numerikus eszközök segítségével, hogy az így feltárt ismeretek segítségével, az elektromos autókra vonatkozó tesztelési szabványok kifejlesztésre kerülhessenek.

A numerikus szimulációkhoz az MSC Marc végeselemes szoftvert használtuk. A felépített végeselemes modell egy csatolt mechanikai-, elektromos-, termikus-modell mely a kopás modellezését is lehetővé teszi. A csatlakozó elektromos kontaktviszonyainak vizsgálatára készült egy egyszerűsített geometriájú kísérleti konstrukció melynek érintkező elemei az 1. ábrán láthatók. A vizsgálati konstrukció két részből áll, egy síklapból valamint egy ugyanilyen síklapból készített, golyóval deformált elemből, mely úgy készült, hogy az egyik oldalába egy 5 mm átmérőjű gömböt préseltek/nyomtak, ami egy gömb alakú kidudorodás eredményezett a másik oldalon.

A VEM-modellel ezt a kísérleti konstrukciót modelleztük, hogy a mért elektromos ellenállási, hőmérsékleti értékeken felül további információhoz jussunk a vizsgálat során végbemenő fretting-korróziós folyamatról.



1. ábra: Az elektromos kontaktot vizsgáló kísérletben használt érintkező-felek, bal oldalt a deformált, míg jobb oldalt a nem deformált állapotú elem látható (a próbatetek a Robert Bosch csoport beszállítójától származnak)

## 2. GEOMETRIA, PEREMFELTÉTELEK, ANYAGMINŐSÉG

A csatlakozót nem rajzoltuk ki teljesen, hanem csak az érintkezés egy tágabb környezetében rajzoltuk meg a testeket. A modell két négyzet-alapú hasázból áll, amelyek alaplapjának az oldalhossza a meghatározott átmérő 3-szorosa. Az előzetes szimulációk alapján, a 3-szoros méreten túli feszültségviszonyok már nem befolyásolják a kontaktnál lejátszódó jelenségeket.

Amiatt, hogy elhanyagoljuk az érintkezés közvetlen környezetén kívüli részeket, a megmaradt résznél a kihajlás problémája megjelenik, mivel a modell vastagsága így számottevően nagyobb, mint az érintkezési zóna szélessége és magassága. Ezt úgy küszöböltük ki, hogy az azon az oldalon található csomópontokat, amelyik normálisának iránya megegyezik a kihajlás irányával, úgy kényszerítettük, hogy csak egyformán mozdulhatnak el abban az irányban.

A VEM-modell peremfeltételei a következők:

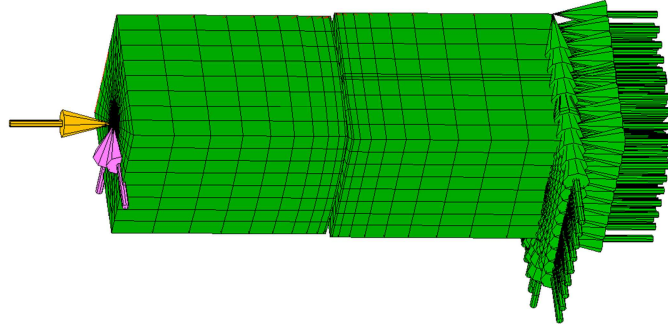
- A sík felülű elem alján lévő csomópontokat mereven megfogtuk.
- Az deformált elem egy vezérlő csomópontjának elmozdulását előírtuk (ezzel valósítottuk meg a harmonikus mozgást, valamint ezen elem elfordulását ezzel akadályoztuk meg).
- Az összeszorító erőt a deformált elemre helyeztük
- Az ismertetett, kihajlást gátló kényszer
- feszültség: a sík elemen előírtunk egy 0V potenciálú nyelőt
- áram: a deformált elemen bizonyos csomópontokra előírtunk pontszerű áramforrásokat, nevezetesen 25 db-ot, egyenletesen elosztva a felületen, mindegyiknek az előírt áramerősség (100mA) 25-ödét adtuk meg
- a két érintkező felület közt egy diszkrét kontakt-ellenállást definiáltunk, melynek értéke:  $20 \text{ m}\Omega$
- az összes elem kezdeti hőmérséklete:  $T_0=293.15\text{K}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- a környezet hőmérséklete:  $T_k=293.15\text{K}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- a környezet és a felületek közti hőátadás tényező nagysága:  $\alpha = 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
- A két felület közt a súrlódási tényező nagysága:  $\mu = 0.15$

A VEM-modell anyagjellemzői a következők:

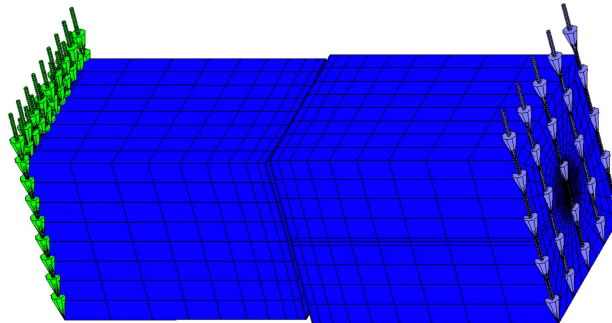
- A testek anyaga: ötvözetlen réz, az érintkező oldalon 1-1 ónréteg, melyek vastagsága:  $2,96 \mu\text{m}$ .
- Réz mechanikai jellemzői:  $E = 117\,000 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.33$ ,  $\rho = 8960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Ón mechanikai jellemző:  $E = 41\,600 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.33$ ,  $\rho = 7310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- A réz fajlagos ellenállása:  $\rho = 1,68 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
- Az ón fajlagos ellenállása:  $\rho = 1,09 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}$
- A réz hővezetési tényezője:  $\lambda = 400 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
- Az ón hővezetési tényezője:  $\lambda = 67 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

- Az átmeneti hővezetési tényező nagysága:  $\lambda = 10\,000 \frac{W}{m \cdot K}$
- A réz fajlagos hőkapacitása:  $c_p = 0.385 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
- Az ón fajlagos hőkapacitása:  $c_p = 0.21 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

A 2. ábrán a mechanikai, míg a 3. ábrán az elektromos peremfeltételek láthatók.



2. ábra: A mechanikai peremfeltételek szemléltetése: zöld - merev megfogás, sárga – összeszorító erő, rózsaszín – mozgás előírása



3. ábra: Az elektromos peremfeltételek szemléltetése, zöld – 0V potenciálú nyelő, lila – pontszerű áramforrások

### 3. KOPÁSI MODELL

A modellezés során a kopáshoz az Archard-féle kopási modellt használtuk, amellyel meghatározható az anyag kopási mélységének időbeli megváltozása:

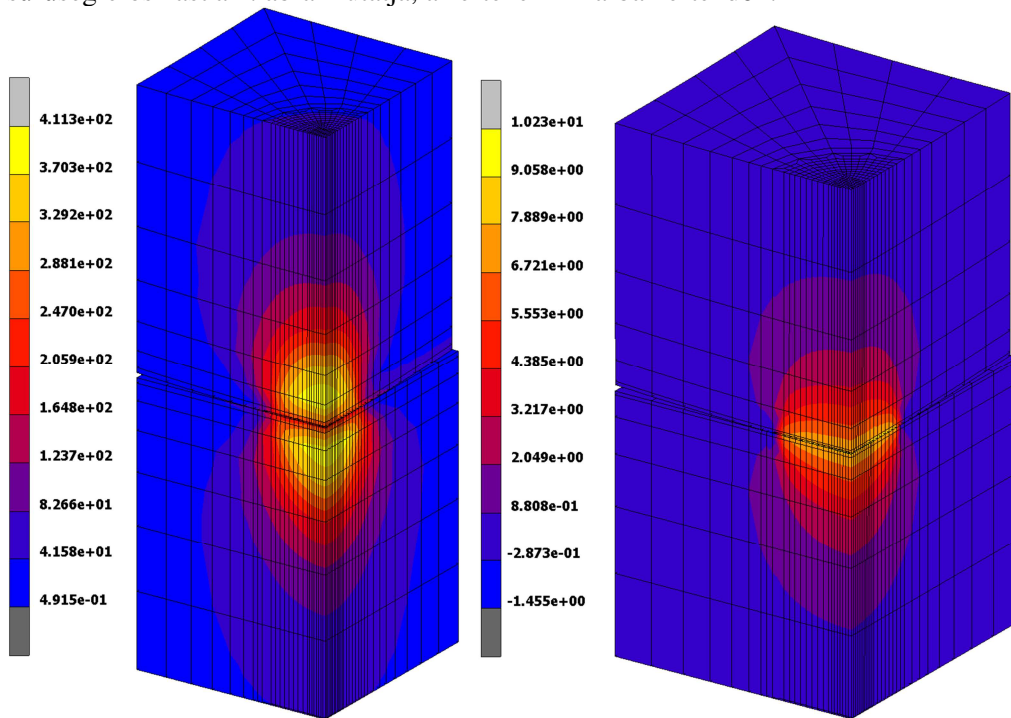
$$\dot{w}^* = \frac{K}{H} \cdot \sigma \cdot v_{rel} \quad (1)$$

- ahol:
- $\dot{w}^*$  – a leválasztott anyag kopási mélységének időbeli megváltozása
  - $K$  – a kopási együttható
  - $\sigma$  – az érintkező felület adott pontjában ébredő mechanikai feszültség
  - $H$  – a felületek keménysége
  - $v_{rel}$  – az egymással érintkező felületek relatív sebessége

A kopási együttható validálása folyamatban van. E paraméterek értékét eddigi munkánk során úgy választottuk meg, hogy a mérésekből ismert méreteket legjobban közelítsék a numerikus számításból kapott geometriai eredmények. Ennek megfelelően a kopási együttható és a felületi réteg keménysége a következő:  $K = 1 \cdot 10^{-8}$ ,  $H = 1000$

## 4. EREDMÉNYEK

A 35 ciklusig koptatott modellnél a testen belüli egyenértékű mechanikai feszültség- valamint az áramsűrűség-eloszlást a 4. ábra mutatja, az értékek MPa-ban értendők.



4. ábra: A testen belüli egyenértékű mechanikai feszültség- [MPa] és áramsűrűség-eloszlás [A/mm<sup>2</sup>]

A folyamat végén a test bármely két pontja közt a hőmérsékletkülönbség nem volt nagyobb 0,1 Kelvinnél. Mivel jellemzően ez az érték a mérési pontosság határa ezért hozzávetőlegesen konstans hőmérsékleti mezőt kaptunk. 3 Kelvin növekedést tapasztaltunk a kiinduló, árammal nem átjárt kontakt-állapothoz képest.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az általunk készített, a villamos autók elektromos csatlakozóinak fretting-korróziós folyamatairól részletesebb információt szolgáltató csatolt mechanikai-, elektromos-, termikus végelelemes modellt mutattuk be a cikkben. A modell segítségével előállított eredmények realiztikusak, a mérésekkel történő pontos validálást követően képes lesz az adott elektromos csatlakozó fretting-korróziós folyamatának részletes elemzésére.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„E-mobility Miskolcról: Hűtővíz keringető szivattyú és motorhűtő ventilátor továbbfejlesztése az elektromos járművekben elvárt magasabb minőségi követelmények figyelembevételével című GINOP-2.2.1-15-2017-00090 azonosítószámú projekt”