

Termográfiai vizsgálat alkalmazása a villamosiparban

Thermographic Inspection in the Electric Industry

Haraszti Ferenc

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet, Budapest, Magyarország, haraszti.ferenc@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A műszaki élet számos területén kapcsolnak össze különböző potenciálú fémeket. A potenciálkülönbség miatt kialakuló galvánkorrozó következményeként hőfejlődési folyamat indulhat el. A villamosiparban használt kötőelemek hagyományos vizsgálata biztonságtechnikai, üzemeltetési szempontból nehézkes, veszélyes folyamat. A termográfia elterjedésével azonban ezek a vizsgálatok a villamos kötések körében egyszerűbben, gyorsabban, biztonságosabban kivitelezhetők. Cikkemben bemutatom a termográfianálisis lehetőségeit, mérési nehézségeit, illetve előnyeit [1–2].

Kulcsszavak: *termográfia, hőkamera, villamosipar.*

Abstract

The traditional inspection of fittings used in the electrical industry is a cumbersome, dangerous process in terms of safety and operation. However, with the spread of thermography, these tests can be performed simpler, faster, and more safely through electrical connections. This article presents the possibilities, measurement difficulties and the advantages of thermography analysis [1–2].

Keywords: *thermography, thermographic camera, electrical industry.*

1. Bevezető

A villamosipar áramátviteli módjai között nagy számban található különböző villamos kötőelemek. Ezek, anyagukat tekintve, legtöbbször réz, acél, alumínium és ezek ötvözetiből állnak. Az eltérő anyagok potenciálkülönbsége miatt galvánkorrozó léphet fel [3–8]. Ez a kötőelem tönkremeneteléhez vezethet. A jelenség a megnövekedett átmeneti ellenállás miatt hőfejlődéssel jár, ezt mutatja az **1. ábra** és a **2. ábra** is. Ennek detektálására néhány éve hőkamerás mérési eljárást használunk. Előnyei közé tartozik a biztonságos és üzemszünet nélküli mérési mód. Korábban megvizsgáltuk a hőfejlődés és az áramerősség kapcsolatát. Méréseink nem lehettek maximálisan precízek, hiszen a fémek a hő hatására megváltoztatják villamos ellenállásukat, ami megint csak hőfejlődéssel járhat, annak mértéke szerint.

E tanulmányban a villamosipar legjellemzőbb tévesi módját vizsgáljuk, illetve a réz-acél párosítás ellenállás-változását a hőmérséklet függvényében.



1. ábra. *Kontaktkorrozó okozta károsodás villamos csatlakozónál*



2. ábra. Kontaktkorrózió okozta károsodás villamos kötésnél

1.1. Az ellenállás hőmérsékletfüggése

Ha egy fémeket erős melegítés hatásának tesszük ki, tapasztalatunk szerint nő annak ellenállása. Megállapíthatjuk, hogy az ellenállás általában függ a hőmérséklettől. Fémeknél a hőmérséklettel arányosan nő, félvezetőknél, szénél, elektrolitoknál pedig arányosan csökken [9, 10]. Nem extrém nagy hőmérsékleteken és viszonylag kis intervallumban vizsgálódva a kérdéses fémek ρ fajlagos ellenállása minden esetben arányos a vizsgált hőmérséklet-tartományban (1) [11].

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \alpha (t - t_0) \quad (1)$$

ahol:

- ρ = fajlagos ellenállás (Ωm),
- α = hőfoktényező ($1/\text{C}^\circ$),
- t = hőmérséklet (C°).

A fajlagos ellenállás helyett használhatjuk a vele ekvivalens villamos ellenállás fogalmát is, ekkor összefüggésünk a következőképpen alakul (2):

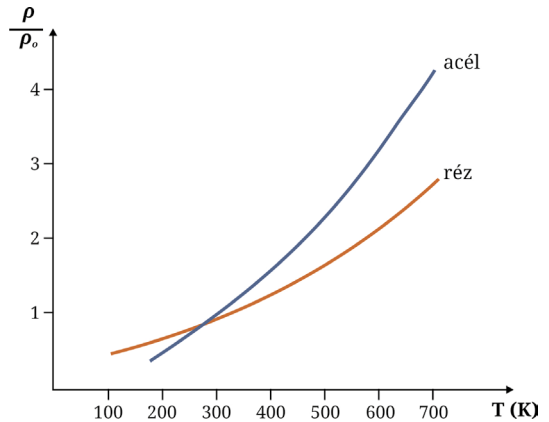
$$R = R_{20} (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta t) \quad (2)$$

ahol:

- R = villamos ellenállás (Ω),
- R_{20} = 20 C° -on vett ellenállás (Ω),
- α_{20} = 20 C° -on vett hőfoktényező ($1/\text{C}^\circ$).

Az iparban használt réz és acél kötőelemek ellenállása a hőmérséklet függvényében tehát az alábbi grafikon szerint alakul (3. ábra).

Esetünkben a vizsgált hőmérséklet-tartomány (0–700 C°) kibővítése nem szükséges, hiszen a rendellenesen működő villamos kötőelem káros felmelegedése ebbe az intervallumba tehető.



3. ábra. Ellenállás a hőmérséklet függvényében

1.2. Érintésmentes hőmérsékletmérés

A hőmérséklet mérése az infravörös sugárzás intenzitását érzékelő pirométerekkel vagy hőkamerás módszerrel függ a testek hőkibocsátó képességétől. A hősugárzás olyan folyamat, mely során a hőáramlás miatt elektromágneses sugárzás jön létre. Az energia nagy részét a test kisugározza vagy egy másik test egy részét visszaveri, a többit átengedi. Ha a vizsgált testre érkező sugárzás teljesen elnyelődik, akkor egy abszolút fekete testről van szó. A fizika törvényeit a gyakorlatban is használjuk. A vizsgált test felülete által kibocsátott elektromágneses spektrum infravörös tartományát elektromos jelekké alakítjuk, így mérjük a hőmérsékletet a hőkamerával [6, 7]. A mérés pontosságát a mérőeszköz, valamint a mérendő tárgy felülete és anyaga is befolyásolja. Az általunk érzékelhető fény hullámhossza 0,4 és 0,75 μm között változik. Az infravörös tartomány ettől eltérő lehet, 0,75–20 μm között. A gyakorlatban ebben a tartományban tudunk méréseket végezni.

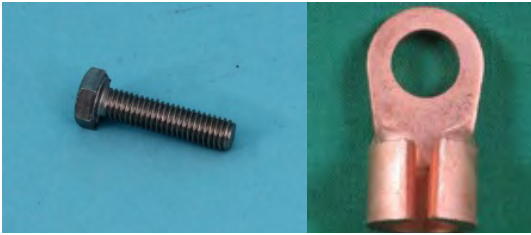
2. Villamos kötőelem vizsgálata

Célunk egy acél-réz pár ellenállásának meghatározása a hőmérséklet függvényében. Mennyivel járul hozzá egy kontaktkorrózióval terhelt, nagy átmeneti ellenállású acél-réz kapcsolat villamos ellenállásához? Milyen nagyságrendű ellenállást képvisel az iparban használt általános villamos kontaktus, ha csak a melegedés által vizsgált paramétereket mérjük?

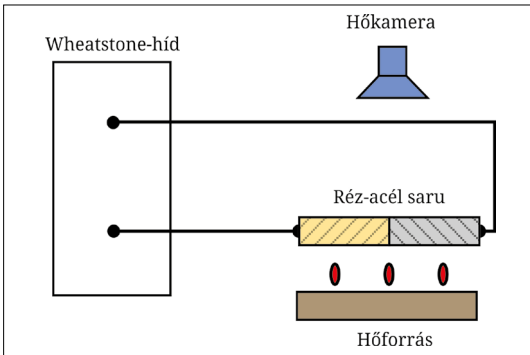
Az irodalmi értékek szerint a fajlagos ellenállás (illetve R ellenállás) nem jelentősen számottevő, ha a hőmérséklet szemszögéből nézzük. Mégis fontos tudni, hogyan alakulnak értékei, ha nem laboratóriumi körülmények között vizsgáljuk.

Esetünkben egy mindennapos rézsaru és egy acélcsavar a vizsgálat tárgya (4. ábra).

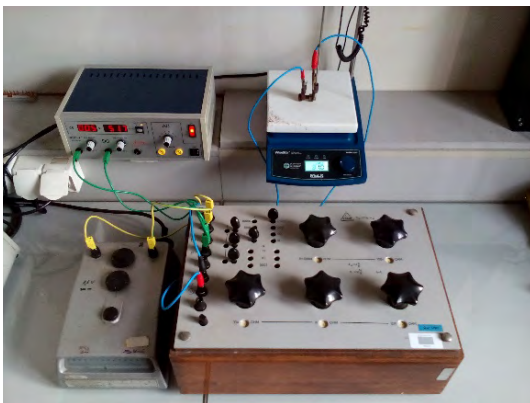
A mérést összeszerelt állapotban végezzük, megfelelő nyomatékkal meghúzva a csavart. Az ellenállásérték nagyságrendje és pontos mérhetősége miatt Wheatston-hidas mérési eljárással dolgozunk [12]. Az alkalmazott hőkamera biztosítja az érintés nélküli hőfokleolvasást üzemszünet nélkül. A villamos kötőelem megfelelő melegítéséről a precíziósan állítható elektromos fűtőberendezés gondoskodik. A mérés elvi vázlatát az 5. ábrán láthatjuk.



4. ábra. Kötőelemek



5. ábra. A mérés elvi vázlatja



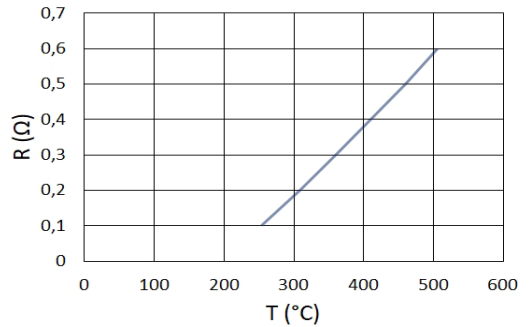
6. ábra. A mérés elrendezése

2.1 Mérési eredmények

A kísérlet során öt mérési sorozatot készítettünk, és hibaszámítás után az alábbi eredményeket kaptunk (1. táblázat).

A kapott értékeket ellenállás értékeket ábrázolva a hőmérséklet függvényében az alábbi grafikonot kapjuk (7. ábra).

Ezt értékelve megállapíthatjuk: a függvény menete hasonló a nagy pontosságú, akkreditált laboratóriumi körülmények közt mért fémtiszta vezető anyagokéval, linearitást mutat.



7. ábra. Ellenállásarány hőmérsékletfüggése

1. táblázat. Mérési adatok

Sorszám	Hőmérséklet °C	Ellenállás Ω
1.	254	0,1
2.	309	0,2
3.	360	0,3
4.	410	0,4
5.	460	0,5
6.	505	0,6

3. Következtetések

A fentiekben az volt a célunk, hogy megvizsgáljuk a villamosipar által használt kötő, áramvezető alkatrészek ellenállását a hőmérséklet függvényében, továbbá azt, hogy eltér-e, és ha igen, mennyivel az irodalomból megismert értékektől. A mérések nehézségét, a kiértékelés pontosságát a gyártásból adódó különbségek adták, lévén a vizsgálat tárgya egy összeszerelt, esetenként több tagból álló szerelvény volt. Ha összehasonlítjuk az irodalomban fellelhető, minden anyagra megadott hőfoktényezőket az általunk használt réz-acél alkatrészével, a következőket fedezhetjük fel:

A réz és az acél hőfoktényezője $\alpha_{20} = 3,92 \cdot 10^{-3} - 4,2 \cdot 10^{-3}$ értékek között változik. Mérésünk során már 250 °C-tól 500 °C-ig többszörös vagy akár

egy nagyságrendi növekedést mutathatunk ki ($30\text{--}40\cdot 10^{-3}$). Ezek a hőmérsékleteken tehát az egy ohm ellenállású anyag egy darabja ennyivel változtatja meg az értékét $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hatására. A fent említett kontaktkorrózióhatásnak kitett villamos kötőelemek ellenállása tehát nem csak az átmenetiellenállás-növekedés miatt növekszik. Számolnunk kell az anyag ellenállásának ilyen módon történő emelkedésével is, főként ha pontosan tartanunk kell egy alkatrész hőmérsékleti jellemzőit, hiszen méréseim szerint áramerősség-függően többször $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ különbség is adódhat. Az ellenállást befolyásoló egyéb tényezőkhöz tartozhat még a villamos alkatrészek mechanikai (nyomás és nyújtás) igénybevétele.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Haraszti F.: *The bases of corrosion's investigation*. In: A XXI. Fiatal műszakiak tudományos ülészaka előadásai. Proceedings of the 21th international scientific conference of youngth engineers, Kolozsvár/Cluj, Romania, Műszaki Tudományos Közlemények 5. (2016) 185–188.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/29058>
- [2] Haraszti F.: *Corrosion investigation of steel samples*. In: A XXI. Fiatal műszakiak tudományos ülészaka előadásai. Proceedings of the 21th international scientific conference of youngth engineers, Kolozsvár/Cluj, Románia, Műszaki Tudományos Közlemények 5. (2016) 189–192.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/29057>
- [3] Kovács-C. T., Völgyi B., Sikari-Nágl I.: *Galvanic corrosion behaviour testing in case of aluminium and steel couple*. In: Fiatal műszakiak tudományos ülészaka XVIII., Kolozsvár/Cluj, Románia, Műszaki Tudományos Füzetek 2013. 201–204.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/26880>
- [4] Kovács-C. T., Völgyi B., Sikari-Nágl I.: *Investigation of aluminium-steel joint formed by explosion welding*. Journal of Physics – Conference Series 602. (2015) 1–4.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/602/1/012026>
- [5] Wu Y., Barton S. C., Lee A.: *Galvanic corrosion behavior at the Cu-Al ball bond interface: Influence of Pd addition and chloride concentration*. Microelectronics Reliability 92, (2019) 79–86.
<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.11.016>
- [6] Hack H. P.: *Galvanic Corrosion*. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2016.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.01594-0>
- [7] Hakansson E., Hoffman J., Predecki P., Kumosa M.: *The role of corrosion product deposition in galvanic corrosion of aluminum/carbon systems*. Corrosion Science, 114. (2017) 10–16.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.10.011>
- [8] Khadom A. A., Abod B. M.: *Mathematical model for galvanic corrosion of steel-copper couple in petroleum waste in presence of friendly corrosion inhibitor*. Journal of Applied Research and Technology, 15. (2017) 14–20.
<https://doi.org/10.1016/j.jart.2016.10.004>
- [9] Wellons M.: *The Stefan-Boltzmann Law*. Physics Department, College of Wooster, Wooster, Ohio 44691, USA, May 9, 2007.
http://g.wooster.edu/JrIS/Files/Wellons_Web_Article.pdf
- [10] Dománková M., Kocsisová E., Slatkovský I., Pinke P.: *The Microstructure Evolution and Its Effect on Corrosion Properties of 18Cr-12Ni-2.5Mo Steel Annealed at 500-900°C*. Acta Polytechnica Hungarica, 11/3. (2014) 125–137.
<https://www.doi.org/10.12700/APH.11.03.2014.03.8>
- [11] Kittel C., Kroemer H.: *Thermal Physics ASTM Standard Practice in A 262 for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion in Austenitic Stainless Steels*. W. H. Freeman and Company, 1980.
- [12] Budó Á.: *Kísérleti Fizika II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1971.

ERRATUM

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület mint kiadó és az Acta Materialia Transylvanica szerkesztősége sajnálattal értesíti a szerzőket és az olvasókat, hogy a folyóirat 2018-as évfolyam 1 és 2. lapszámaiban a cikkek magyar nyelvű változatainál a DOI-azonosítók prefixei hibásan jelentek meg.

A cikkek fejléceiben a magyar nyelvű változatnak megfelelő DOI prefix helyesen: **10.33923**, nem 10.2478.

A prefixek 2023 szeptemberében a lapszámok honlapján:

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-1.htm> illetve

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-1.htm>

és

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-2.htm> illetve

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-2.htm>

minden cikkben javításra kerültek, feltüntetve az eredeti, hibás és az új, helyes azonosítót is.

A DOI-azonosítók helyes számra történő cserélése a Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT) is megtörtént.

A hibáért minden szerző és olvasó szíves elnézését kérjük és tisztelettel kérjük, hogy ezentúl az új, helyes azonosítót legyenek szívesek használni!

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Kiadó és az Acta Materialia Transylvanica Szerkesztősége nevében:


Bitay Enikő
főszerkesztő

ERRATUM

The Erdélyi Múzeum-Egyesület as Publisher, and the Editorial Office of Acta Materialia Transylvanica regret to inform the authors and readers that the prefixes of the DOI identifiers of the Hungarian versions of the articles in issues 1 and 2 of the journal in 2018 were incorrectly published.

In the article headings, the DOI prefix corresponding to the Hungarian version of the article is **10.33923**, not 10.2478.

In September 2023, the prefixes were corrected in all articles on the websites of the journal issues:

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-1.htm> respectively

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-1.htm>

and

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-2.htm> respectively

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-2.htm>

showing the original incorrect one crossed out and the new, correct identifier.

The replacement of the DOI identifiers with the correct number has also been done in the Hungarian Repository of Scientific Works (MTMT).

We apologize to all authors and readers for this error, and respectfully request that you use the new, correct identifier from now on!

On behalf of the Erdélyi Múzeum-Egyesület Publisher and the Editorial Office of Acta Materialia Transylvanica:



Bitay Enikő

Editor-in Chief