

GÉP

Sz3

7

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



2009. november 5-6. Miskolc

**GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK
XXV. SZEMINÁRIUMA**

2009/10-11.

96 oldal
LX. évfolyam

TARTALOM

- | | |
|---|--|
| 1. <i>Balogh G., Dr. Czigány T.:</i>
Pultrúziós berendezés fejlesztése 3 | 13. <i>Magyar B., Dr. Horák P.:</i>
Csigahajtóművek veszteségeinek meghatározása
zk-típusú hajtópárok esetén 47 |
| 2. <i>Barányi I., Czifra Á.:</i>
Különböző megmunkálású felületek vizsgálata
amplitúdó sűrűség spektrum (psd) analízissel ... 7 | 14. <i>Dr. Kakucs A., Dani P., Dr. Jármái K., Dr. Száva J.,
Gálfi B.:</i>
Kísérleti berendezés felhabzó tűzvédelmi
bevonatok tanulmányozására 51 |
| 3. <i>Bihari J.:</i>
Tisztateres környezet elérhető munkaterületének
meghatározása 11 | 15. <i>Dr. Jármái K., Dr. Farkas J., Oláh R.:</i>
Hegesztett szerkezetek optimális méretezésének
újabb eredményei 55 |
| 4. <i>Bócai G., Váradi K., Molnár L., Pálfi L.:</i>
Polietilén gázcső elszorítás kísérleti és
numerikus vizsgálata 14 | 16. <i>Juhász G., Dr. Juhász A., Dr. Eleőd A.</i>
Súrlódó felületek vizsgálata
keménységméréssel 61 |
| 5. <i>Bóka G., Dr. Lovas L., Dr. Márialigeti J., Trencsényi B.:</i>
Automatizált nehéz haszonjármű sebességváltó
elektro-pneumatikus előtétengelyfékének
modellezése 18 | 17. <i>Kertész A.:</i>
Polimerek vibrációs dörzshegesztése 65 |
| 6. <i>Bölkény I.:</i>
Olaj és gázipari modellezésre szolgáló
nagy nyomású berendezés 22 | <i>Gyenis J., Németh J.:</i>
Új statikus perdítőelemes porkeverők 68 |
| 7. <i>Bozzay M.:</i>
Digitális felületrekonstrukcióval létrehozott
cad modell vizsgálata 25 | 19. <i>Pere B.:</i>
Gumikötél alacsony frekvenciás longitudinális
rezgéseinek mechanikai és termodinamikai
analízise 74 |
| 8. <i>Dr. Apró F., Czégé L.:</i>
Fokozat nélküli Kapcsolt Bolygómmű Tervezése . 29 | 20. <i>Kovács N., Dr. Kovács J.:</i>
Újszerű fröccsöntőszerszám alkalmazása a
műanyag fröccsöntésben 78 |
| 9. <i>Czövek G.:</i>
Nyomástartó edény tervezése, szilárdsági
méretezése és ellenőrzése 33 | 21. <i>Sikló B., Dr. Kovács J.:</i>
Mérőeszköz fejlesztése pp termék
deformációjának elemzéséhez 81 |
| 10. <i>Ficzere P., Dr. Borbás L.:</i>
Gyors-prototípus készítő eljárással gyártott ter-
mékek anyagtulajdonságainak meghatározása
végelemes analízis számára 36 | 22. <i>Soós E.:</i>
Önmetsző csavarkötések kísérleti vizsgálata
ciklikus hőterhelés esetén 84 |
| 11. <i>Dr. Gáti J., Dr. Horváth S.:</i>
130 Év az iparoktatásban,
40 év a felsőoktatásban 40 | 23. <i>Vörös Cs.:</i>
Nagy nyomású, magas hőmérsékletű olajipari
modellberendezés fejlesztése 88 |
| 12. <i>Dr. Goda T., Bócai G.:</i>
O-gyűrű szivárgás számítása korszerű
numerikus módszerrel 43 | 24. <i>Dr. Kátai L., Dr. Szabó I., Kajtár P.:</i>
Ékszíjak keresztmetszetének terhelésvizsgálata
végelemes analízissel 91 |

KÍSÉRLETI BERENDEZÉS FELHABZÓ TŰZVÉDELMI BEVONATOK TANULMÁNYOZÁSÁRA

LABORATORY APPARATUS FOR EXPERIMENTS ON INTUMESCENT FIRE PROTECTIVE COATINGS

Dr. Kakucs András*, Dani Péter**, Dr. Jármái Károly***, Dr. Száva János****, Gálfi Botond-Pál*****

ABSTRACT

In our earlier studies we have established a new possibility of modelling the behaviour of intumescent fire protective coatings based on the method of finite elements. In this modelling we need some parameters, as the thermal conductivity of the coating. This conductivity depends on the temperature and estate of the coating and we have proposed some simple experimental methods do estimate it.

1. BEVEZETÉS

A felhabzó festékek hőszigetelő anyagok, amelyek eredeti állapotukban egy közönséges festékbevonatot alkotnak a szigetelendő felületen. Magasabb hőmérsékleten e festék meglágyul, majd a hőmérséklet emelkedésével a tömegében különböző kémiai folyamatok mennek végbe, melyek következtében az erőteljes habzást, térfogatnövekedést mutat, majd a festék teljesen elbomlik és egy laza szerkezetű, több centiméter vastagságú porózus bevonatot képez a bevont tárgy felületén. A felhabzó festék kiemelkedő hőszigetelő tulajdonságai csak a felhabzás kezdetétől mutatkoznak meg és többnyire annak porózus szerkezetével magyarázhatók.

Amennyiben egy ilyen festékréteg hőszigetelő tulajdonságát számszerűen le akarjuk írni, néhány akadályba ütközünk, ugyanis az annak állapotától függ és ez az állapot a hőmérséklet és az idő függvénye. Éppen ezért a felhabzó festékek hőszigetelő-képességét többnyire kísérleti alapon, adott, standardizált hőmérséklet-görbéknek megfelelően megállapított képletekkel írják le. E képletek csak a rúd-szerű szerkezeti elemekre, azok keresztmetszetére érvényesek, ahol feltételezik, hogy a tűz hatásának kitett elem felületén a hőmérséklet minden pontban azonos.

Egy pontosabb elemzésnek követnie kellene a festék állapotának és tulajdonságainak hőmérséklet- és időfüggő változását.

*docens, PhD, Sapientia Egyetem, Marosvásárhely

**Brassói Transzilvánia Egyetem

***egyetemi tanár, DSc, Miskolci Egyetem

****egyetemi tanár, PhD, Brassói Transzilvánia Egyetem

*****doktorandusz, Brassói Transzilvánia Egyetem

A festékbevonaton lejátszódó jelenségek teljeskörű leírásához igen sok jellemzőre lenne szükség, amelyek kísérleti megállapítása nehéz lenne. Éppen ezért a megalkotott végeselemes modellel parametrikus számításokat végeztünk annak megállapítására, hogy az említett jellemzők közül melyek azok, amelyek valójában döntő szereppel bírnak és melyek azok, amelyek a számítások során elhanyagolható mértékben befolyásolják a hőmérséklet alakulását és éppen ezért kísérleti meghatározásukra sincs szükség.

Parametrikus modellezésünk végső következtetése az volt, hogy a felhabzó festék egyedüli fontos tulajdonsága a hővezető képessége, de ugyanakkor fontos a festék bomlási sebességének megállapítása is. Mivel a konvekciós hőtadás és a bomláshő befolyását kísérletileg nehéz lenne elkülöníteni a hővezetéstől, sokkal egyszerűbb a dolgunk ha egy „látszólagos” hővezető-képességgel dolgozunk, amely magába foglalja ezen folyamatok hatását is.

A végeselemes modellezéshez szükséges tulajdonságokat kísérletileg állapíthatjuk meg. Az így megállapított paraméterek ismeretében, a szerkezet tényleges, háromdimenziós geometriájának és anyagának leírásával, tetszőleges kezdeti- és peremfeltételek mellett egy megfelelően megalkotott végeselemes algoritmussal megjósolható az illető, tűzvésznek kitett szerkezet viselkedése.

A cél tehát egy minél egyszerűbb laboratóriumi berendezés kifejlesztése, amely lehetővé teszi a modellezéshez szükséges jellemzők megállapítását.

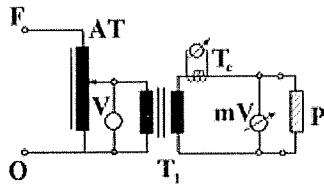
2. AZ ELSŐ KÍSÉRLETI BERENDEZÉSEK

Az első kísérleti berendezések egy elektromosan fűtött fémlapból álltak, amelyeknek mindkét oldalát festék borította.

Az alapelgondolás az volt, hogy a kellőképpen hosszú és széles fémlap közepes szakaszán az áramsűrűség annak keresztmetszetén és hosszában kb. állandó lesz, tehát a felszabaduló Joule-hő fluxusa a lemez felületén egy eléggé nagy tartományon állandónak tekinthető. Ez a fluxus csak a bevonaton keresztül adódhat át a környezetnek, így a festékrétegen áthatoló hő mennyisége meghatározhatóvá válik. Ha stacionárius körülmények között megmérjük a bevonat két oldalának a hőmérsék-

letét és meghatározzuk a hő fluxusát, akkor Fourier törvényéből a minket érdeklő λ hővezető-képesség könnyen meghatározható.

A kísérleteket az 1. és 2. ábrákon látható berendezéssel végeztük (ahol „P” a festékkal bevont próbatest): mértük a fűtő-áram U feszültségét és I áramerősségét, ekkor a felszabaduló Joule-hő teljesítménye $P = U \cdot I$. Amennyiben a lemez árammal átjárt részének területe A , úgy a festékrétegen áthaladó hő fluxusa átlagosan $\varphi = P / (2 \cdot A)$. A „2” tényező azért jelenik meg, mert a lemeznek két oldala van.

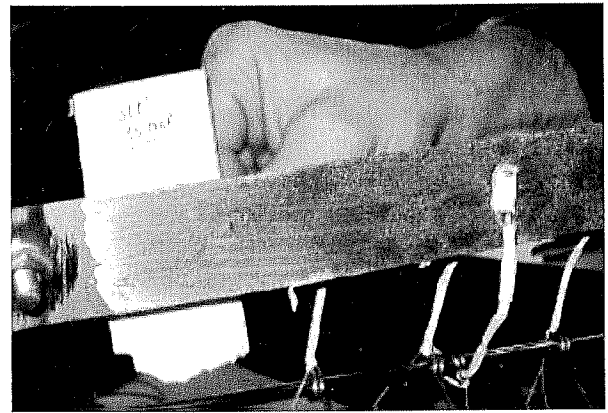


1. ábra. A kísérleti berendezés kapcsolási rajza

Valamilyen eljárással meghatároztuk a lemez T_L hőmérsékletét és a festék felszínének T_F hőmérsékletét, ekkor a festékréteg megmért t_f vastagságával a hőmérsékleti gradiens értékét $\text{grad } T = (T_L - T_F) / t_f$ formában kaptuk.

Fourier törvényéből tehát $\lambda = \varphi / \text{grad } T$, amelyet a réteg vastagságán megállapított átlagos $(T_L + T_F) / 2$ hőmérséklet (és a bomló festék esetében az idő) függvényeként adunk meg.

A hőmérséklet mérésére a kezdetben a lemezre szerelt és a festék felületével érintkező PT100 érzékelőket használtunk, amelyek azonban nem bírták a magasabb hőmérsékletet, azonkívül meghamisították az eredményeket, mert lefedték a hőátadó felületet. Éppen ezért a kísérleteket megismételtük egy termovíziós kamerával is, mely esetben a festékréteget egy kis helyen lekapartuk hogy ebben az „ablakban” megmérhessük a fémlemez (tehát a belső oldal) hőmérsékletét is. A termovíziós kamera sem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, a lemez hőmérsékletének meghatározása körül akadtak problémák. Ezért a termovíziós kamerát lecseréltük egy egyébként pontos IR hőmérőre, csak hogy a lekapart ablak hőmérsékletének megmérése most sem sikerült (túl kicsi volt a felülete), ezért végül a termoelemek használata mellett döntöttünk.



2. ábra. A próbatest mérés közben

A termikus bomlás állapotában λ nemcsak a hőmérsékletnek, hanem a még el nem bomlott festék és az eredeti festékmennyiség $\xi = m / m_0$ arányának („koncentrációjának”) is függvénye. Az elbomlott festék mennyiségét az

$$m = m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \quad (1)$$

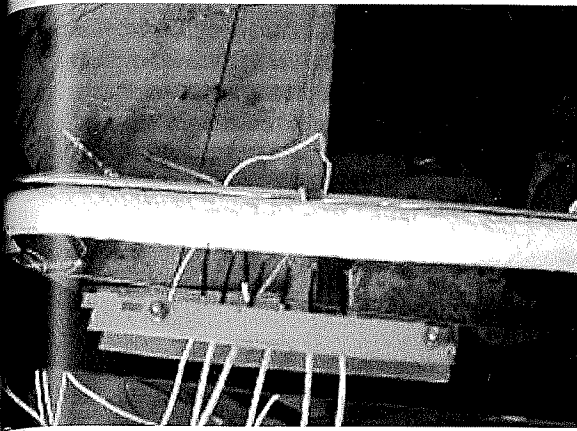
formában közelíthetjük, amennyiben a festék bomlását egy elsődrendű kémiai reakcióhoz hasonlítjuk, ahol t a bomlás megkezdésének pillanatától eltelt idő, k pedig a reakciósebesség állandója. Ezt az állandót a festék teljes lebomlásához szükséges t_b idővel határozhatjuk meg. Tegyük fel, hogy a habzást akkor látjuk befejezettnek, amikor a festéknek csak pl. 1%-a maradt meg eredeti állapotában. Ezt a pillanatot a bevonat megszáradulásának bekövetkezéséhez köthetjük (pontosabb eredményeket csak bonyolult kémiai elemzésekkel nyerhetnénk). Ekkor, az (1) egyenlet alapján a bomlás sebességének állandója, a felvállalt bizonytalanságok mellett és a beállított átlagos hőmérsékleten

$$k = \frac{1}{t_b} \cdot \ln \frac{m_0}{m} = \frac{1}{t_b} \cdot \ln \frac{1}{0.01} = \frac{4.605}{t_b} \quad (2)$$

E berendezés a kezdetben, amikor egy gyengébben habzó festékekkel dolgoztunk, kellőképpen egyszerűnek és pontosnak tűnt. Az erőteljesebben felhabzó festékekkel végzett kísérletek során viszont azt tapasztaltuk, hogy a több centiméter vastagságúra megduzzadt réteg egyenetlenné vált és végül a lemez peremei mentén felszakadt, s ezáltal a fluxus feltételezett homogenitása nyilván megszűnt – így a berendezést némileg módosítani kellett.

3. A CSŐ ALAKÚ PRÓBATEST

A módosítás abban állt, hogy a lemezt egy vékonyfalú acélcsővel helyettesítettük, amelynek mindkét végét lezártuk, hogy a belsejét az áramló levegő ne tudja hűteni (3. ábra).



3. ábra. A cső alakú próbatest

A méréseljárás elve és a számítások menete az előbbiekkel azonos, azonban a próbatest formájának megváltozása miatt az 1. fejezetben említett Fourier-törvényt koaxiális körhenger alakú felületek között kell felírunk:

$$\Phi = U \cdot I = \pi \cdot \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{\delta_o}{\delta_i}} \cdot l, \quad (3)$$

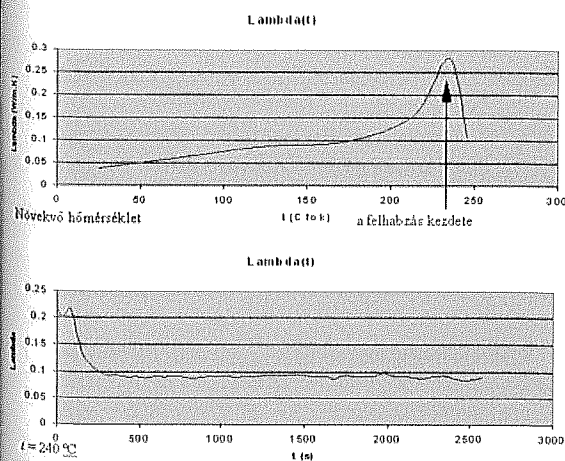
ahol az i index a hengeres bevonat belső, illetve o annak külső felületére vonatkozik, l a próbatest hossza.

4. EREDMÉNYEK

A kapott kísérleti eredményeket a meghatározott λ értékek jelentik. A kísérlet során négy különböző állapot és azoknak megfelelő hővezető-képességet vártunk: a szilárd halmazállapotú festékét, a meglágyult (folyós) festékét, a felhabzó festékét és az elszenesedett festékét.

Ennek megfelelően a hőmérsékletet a kezdetben lassan emeltük (hogy a tranzienst jelenségek hatását csökkentjük), majd a felhabzás állapotában az megpróbáltuk lehetőleg állandó értéken tartani.

A kapott eredmények a 4. ábrán láthatókhoz hasonló görbék.



4. ábra. A hővezető-képesség görbéi

A felső görbe kb. a felhabzás kezdetéig mutatja λ változását: annak értéke a kezdetben 0.1 W/m-K körül van, majd a festék folyósodásakor mintegy kétszeresére növekedik.

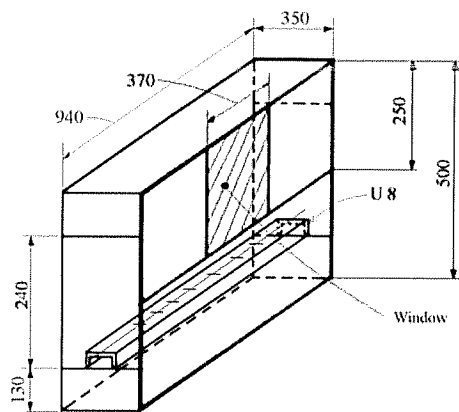
Az alsó görbe tanulsága szerint a habzás alatt λ egy kb. állandó értékre áll be, amely a tanulmányozott festék esetében az eredeti állapotban mérthez közel állt. Ez az érték a bevonat teljes megszilárdulásakor, a füstölés megszűnése után is megmaradt, tehát azt mondhatjuk, hogy az elszenesedett festék hővezetőképesége kb. a felhabzó festékével azonos volt.

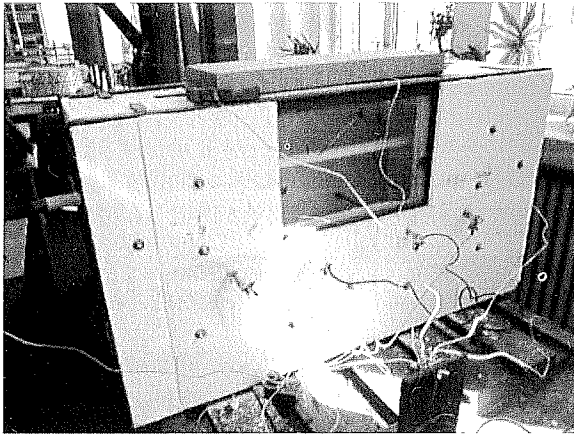
Ezek szerint a felhabzó festékek jó hőszigetelő tulajdonságukat nem annyira λ látványos megváltozásának, hanem a réteg jelentős megduzzadásának köszönhetik és éppen ezért ennek a megduzzadásnak (térfogatnövekedésnek) a meghatározása a fontos.

A kidolgozott eljárás és az eredmények elemzésekor felvetődött egy kérdés: az igazi tűzvész esetében a hőhatás kívülről éri a bevonatot, míg a kísérleteinkben ennek pont a fordítottja történt. A képződő gázbuborékok (és az ennek megfelelő konvekciós hőszállítás) iránya tehát pont fordított. A kérdés tehát az, hogy ennek a konvekciós folyamatnak van-e érzékelhető hatása, vagy pedig (akárcsak a szakirodalmi, pl. Nordtest leírásokban történt) egyszerűen elhanyagolhatjuk azt. Ahhoz, hogy e kérdésre válaszolni tudjunk, egy új kísérletsorozatot terveztünk.

5. KEMENCÉS KÍSÉRLETEK

A harmadik kísérletsorozatban a cső alakú próbatestet kívülről fűtöttük, egy e célból megépített elektromos kemencében. A kemence egy acélvázú szerkezet, amelyet hőszigetelő falakkal, hóálló üvegből készült kémlelő-ablakokkal és egy samott-lappal lezárt nyílással láttunk el. A fűtést szilitrudakkal oldottuk meg, egyelőre vezérlés, szabályozási lehetőség nélkül (5. ábra).





5. ábra. Az elektromos kemence

A próbatest bevonatán keresztül átadott hő meghatározásához a lefestett vékonyfalú acélcsövet levegővel hűtöttük: az átáramló levegő q_m tömegáramának és c_p fajhőjének segítségével, a kilépő és a belépő levegő hőmérsékletének ΔT különbségével az elszállított hő mennyisége meghatározható ($Q = C \cdot \Delta T$, $C = q_m \cdot c_p$). A tömegáram kiszámításához szükségünk volt a q_v térfogatáramra és a levegő ρ sűrűségére ($q_m = \rho \cdot q_v$). A fajhő és a sűrűség meghatározásához megmértük a levegő nyomását, hőmérsékletét és a légnedvességet, a térfogatáramot egy mérőperemmel állapítottuk meg.

A 3. képletben szereplő hőmérsékleteket termoelemekkel mértük, a bevonat vastagságát pedig fényképek alapján határoztuk meg.

Az eddigi kísérletek csak a már habzó festékréteg tanulmányozását tették lehetővé, mivel nem volt szabályozható a hőmérséklet. A hűtésre használt levegő árama túl kicsi volt, ezért a belépés és a kilépés közötti hőmérséklet-különbség túl nagy lett és emiatt a kialakult bevonat kürtöskalács-szerű, csonkakúp alakú lett. A habzás kiteljesedésével ez a kúposság már nem volt annyira kihangsúlyozott, ekkor a bevonat átlagos vastagságával a 4. fejezetben bemutatott eredményekhez igen közeli, kb. 0.1 W/m·K értéket állapítottuk meg.

Ezek szerint a konvekciós hatás valóban elhanyagolhatónak tűnik.

A biztonságosabb összehasonlítás kedvéért a kísérleteket meg fogjuk ismételni, egy nagyobb áramú fűvó és elektronikus teljesítmény-szabályozó beépítésével.

6. IRODALOM

- [1] Nordtest Method, NT FIRE o21, NORDTEST 1985, Denmark.
- [2] CAGLIOSTRO, D. E., RICCIETIELLO, S.R., CLARK, K.J., SHIMIZU, A.B., *Intumescent coating modeling*, Journal of Fire and Flammability, Vol.6 (April 1976)
- [3] ANDERSEN, NIELS E., *NORDTEST Project Report (Influence of heating rate and other parameters on thermal conductivity of intumescent for fire protection of structural steel)*, Dantest Report, National Institute for Testing and verification of Denmark, 1988.
- [4] JÁRMAI, K., IVÁNYI, M., *Design of steel structures for fire safety, Introduction to the European standards and their applications at steel structures*. Gazdász-Elasztik Kft. Miskolc, 2008.
- [5] KAKUCS A, SZÁVA J, DANI P, CONSTANTIN V, *A New Approach to Estimate the Intumescent Coatings' Quality*, MicroCAD 2007.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást Romániában az Oktatási, Kutatási és Innovációs Minisztérium támogatta 87/22.08.2008 szám alatt, Magyarországon az Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal a kétoldalú magyar-román RO 06/2007 projekt kapcsán a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap révén OMF-00591/2008 szám alatt.

A kutatás az Országos Tudományos Kutatási Alap OTKA T75678 projekt támogatásával történt.

Köszönetet mondunk az Ostorházi Bevonattechnikai Kft.-nek és az International Farbenwerke GmbH-nak a habosodó festékanyag támogatásáért.