

TERMOELASZTIKUS FESZÜLTSGANALÍZIS HAGYOMÁNYOS TERMÓVÍZIÓVAL

*Horváth László**

RÖVID KIVONAT

A termovíziós technológia első hazai acélszerkezeti alkalmazásáról Dr. Szabó Gyula számol be ezen kiadványban [5]. Tapasztalatait is felhasználva a Brandenburgi Muszaki Egyetem (Cottbus, Németország) Acélszerkezetek Tanszékével közösen folytattunk kutatásokat annak eldöntésére, hogy a hagyományos termovíziós berendezések alkalmasak-e acélszerkezetek termoelasztikus módszerrel (TSA) történő kísérleti vizsgálatára. A cikk keretében két jellemző szerkezeti részlet vizsgálatán keresztül mutatom be a kidolgozott vizsgálati eljárást.

I. BEVEZETÉS

1.1. A termoelasztikus feszültséganalízis alapelve

Régóta ismeretes, hogy a gázok nyomásnövekedés hatására felmelegednek, míg nyomáscsökkenés esetén hőmérsékletük is csökken. Hasonló hatás figyelhető meg szilárd testekben is, azonban itt a hőmérsékletváltozások lényegesen kisebbek. A jelenség alapegyenletének levezetését [5] mutatja be. A homogén, lineárisan rugalmas anyagban adiabatikus körülmények között fellépő ciklikus feszültségváltozás hatására keletkező hőmérsékletváltozás számítására a következő formában használtuk:

$$\Delta T = -\frac{\alpha}{\rho \cdot c_p} \cdot T \cdot \Delta(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

ahol:	T	abszolút hőmérséklet [K]
	α	lineáris hőtágulási együttható
	c_p	állandó feszültséghez tartozó fajhő
	r	suruság
	$\Delta(\mathbf{s}_1 + \mathbf{s}_2 + \mathbf{s}_3)$	a főfeszültségek összegének megváltozása

Az egyenlet alapján ismert hőmérsékletváltozásból kiszámítható a főfeszültségek összegének megváltozása. Az egyes komponensekre bontás általános esetben nehézségekbe ütközik, speciális esetek matematikai eszközök alkalmazásával, vagy különleges

* okl. építőmérnök, egyetemi adjunktus, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

méréstechnikákkal megoldhatóak [1]. Tiszta nyírásnak kitett tartományok nem deríthetők fel ($\mathbf{s}_1 = -\mathbf{s}_2$ miatt). A feszültségváltozásoknak olyan gyorsan kell lezajlaniuk, hogy a keletkező termikus energia ne kerülhessen a szomszéd részecskék által elvezetésre, hanem a ciklus következő részében hiánytalanul átalakulhasson mechanikai energiává.

A folyáshatár átlépésekor a mechanikai energia egy része „eltunik” a képlékeny alakváltozások miatt. Ezért az energiaátalakulás csak veszteséggel lehetséges, a fenti egyenlet érvényét veszti. Az energiaelnyelődés miatt magasabb hőmérsékletkülönbségek alakulnak ki, ami a folyás jelenségének indikálására használható.

Acélminta vizsgálata esetén az adiabatikus feltételekhez legalább 2-10 Hz szükséges, és normál szobahőmérsékleten +0,1 K hőmérsékletkülönbséget -102 MPa feszültségváltozás hoz létre.

1.2. A mérés módszere, berendezések

A ciklikusan terhelt próbatest felületéről kibocsátott hőszugárzást speciális objektív fókuszálja egy kifejezetten az infravörös tartományban érzékeny detektorra. Az objektívet és detektort infravörös kamerába építik be, amelynek ideális mérési hőmérsékleten tartásáról hűtéssel pl. folyékony nitrogénnel gondoskodnak. A detektor jelét a környezeti hatásoktól (atmoszferikus csillapítás, objektív csillapítása, zavaró sugárzások) automatikusan megtisztítva, a vizsgált felület „hotérképe” kerül a vezérlő számítógép képernyőjére, illetve további kiértékeléshez rögzítésre. A Brandenburgi Műszaki Egyetem Acélszerkezetek Tanszékén rendelkezésre álló AGEMA900 hagyományos termovíziós rendszert az 1. kép mutatja be.

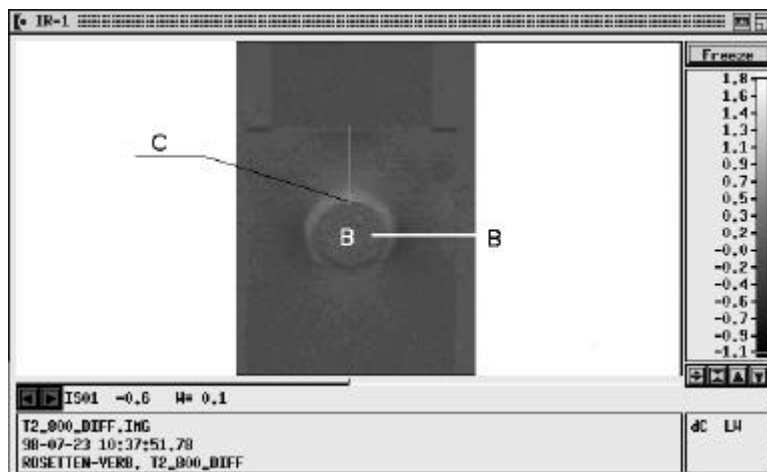


1. kép: AGEMA900 termovíziós rendszer részei

Termoelasztikus mérésekhez kifejlesztett speciális vizsgálóberendezés a SPATE rendszer, amely magas frekvenciás terhelést, és a teher szint által vezérelt időpontokban rendkívül rövid idő alatt elkészíthető termofelvételeket, ezáltal pontos hőmérsékletmérést (0,001 K) és feszültséganalízist tesz lehetővé. A berendezés ára azonban sokszorosa a hagyományos rendszerekének. Vizsgálataink során választ kerestünk arra a kérdésre, hogy a hagyományos termovíziós rendszer alkalmas-e terhelhető-e termoelasztikus feszültségmérésekre?

2. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A rendelkezésre álló termovíziós rendszerrel másodpercenként 4-14 képet lehet felvenni ill. tárolni. A kísérletek során ciklikus terhelést alkalmaztunk, a minimális teher szint és teherlépcsőként változó, de egy teherlépcsőn belül állandó felső teherértékkel. Minden teher szinten képsorozatot vettünk fel, amelyekből kiválogattuk a minimális ill. maximális teher szinten készült képeket. Átlagolás után a két képből különbséget képezve kaptuk meg a teher szint megváltozásához tartozó hőmérsékleti differencia-képet (2.kép), amely a további kiértékelés alapját képezte.



2. kép: Differenciakép és mérési lehetőségek

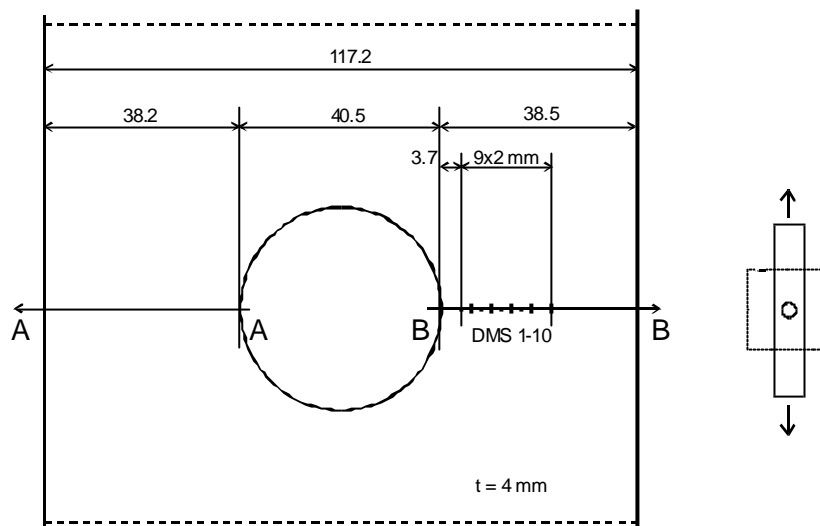
A képernyőn megjelenő hoképeken a vizsgált próbatétel egyes felületi pontjainak hőmérsékletét különböző színek jelzik, jobb oldalon pedig színskála mutatja a hozzá tartozó hőmérsékletet. A hoképeken egyes kiválasztott pontok hőmérséklete lekérdezhető (pl. a 2. képen C pont), vagy kijelölt egyenes mentén felrajzolható a hőmérséklet változása (pl. a B-B egyenes mentén). A rendszer hőmérsékleti felbontása 0.1 K.

Az AGEMA900 termovíziós rendszer mérőeszközeit saját kiegészítésekkel láttuk el. A próbatétel felületén a különböző hőmérsékletű tartományok elhatárolására automatikus eljárást dolgoztam ki. A felület hőmérsékletváltozásának ismeretében az alapegyenlet felhasználásával lehetővé vált a próbatétel feszültségváltozásainak meghatározása.

3. KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK

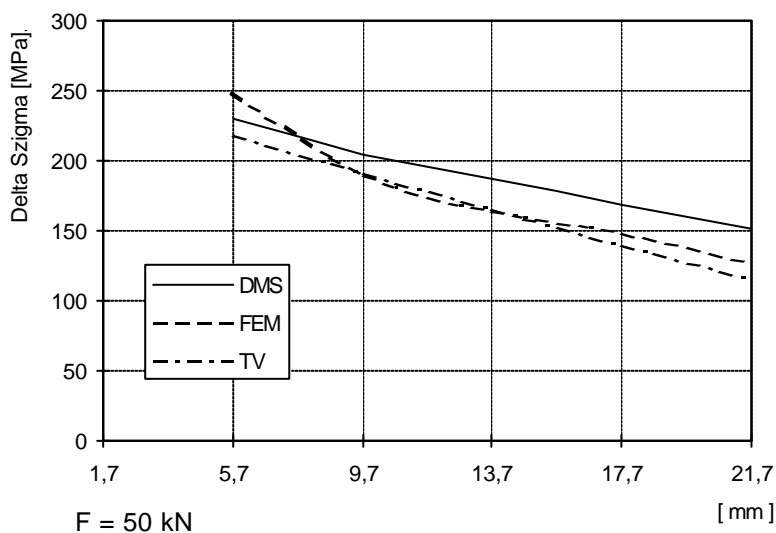
3.1. Kör alakú lyukkal ellátott húzott lemez vizsgálata

A klasszikus példa eljárásunk mérőbéllyegekkel való összevetésére szolgált. A 3. kép mutatja a próbatest méreteit (hossza 1050 mm), és a lyuk környezetében a mérőbéllyegek elhelyezését.



3. kép: A húzott lemez vizsgált részlete a lyuk környékén

A próbatestet lépcsőzetesen növelt húzóerővel a szakadásig terheltek. A szakadás 105 kN-nél következett be, a végelemes számítás eredménye 108 kN.

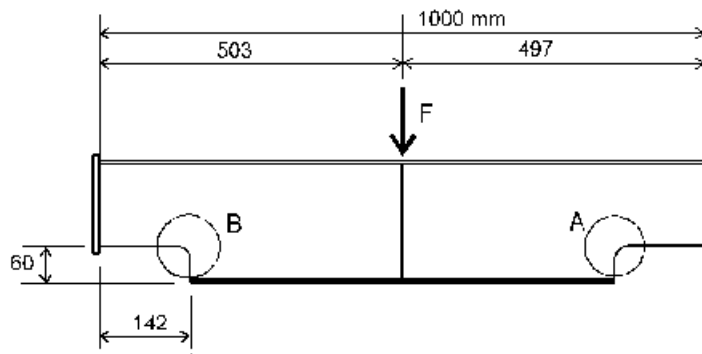


4. kép: Feszültségek a húzott lemezben a B-B egyenes mentén

A 4. kép mutatja 50 kN terhelőerő esetén a B-B vizsgálati egyenes mentén kapott feszültségértékeket termovíziós mérésből (TV), hagyományos nyúlásmérő bélyegekkel (DMS) mérve, és végeleemes analízissel számítva (FEM). Az eltérés a három módszer között az alacsony teherszinteken (50-55 kN) kisebb mint 20%.

3.2. Hajlított gerenda vizsgálata

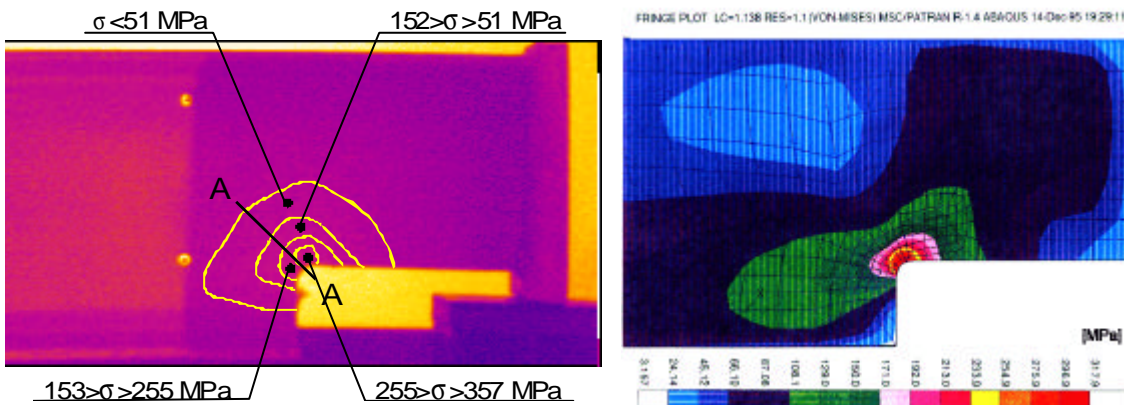
A hajlított gerendát I 200 melegen hengerelt szelvényből készítettük (5.kép), a tartóvégeken gyakran használatos kapcsolati megoldást alkalmaztunk. A homloklemezhez a felső övet és a gerincet hegesztettük hozzá, az alsó övet kivágtuk. Korábbi kutatások [4] felhívták arra a figyelmet, hogy ilyen kialakítás esetén már alacsony ismétlődésszámú terhelés mellett repedések keletkezhetnek.



5. kép: Hajlított gerenda próbatest kialakítása

A terhet itt is lépcsőzetesen növeltük a törésig. A törőteher 272,2 kN volt, összesen 5222 teherismétlődés után, a végeleemes ellenőrző számítás 281 kN-t adott.

A 6. képen mutatjuk be a jobb oldali támasz környezetének feszültségeloszlását 95 kN erőnél. A vizsgálatok további részleteit lásd [2] és [3].



6. kép: Feszültségek a termovíziós mérésből és a végeleemes számításból

4. ÉRTÉKELÉS

Az eddigi vizsgálatok tapasztalatai alapján a hagyományos termovíziós berendezések – megfelelő kiegészítésekkel ellátva – alkalmasak acélszerkezetek termoelasztikus módszerrel történő vizsgálatára. A TSA módszer előnyei:

- Az eljárás roncsolásmentes, közvetlen kapcsolatot sem igényel a vizsgálati darabbal;
- A vizsgálatok az eredeti szerkezeten elvégezhetők, nincs szükség hosszadalmas elokészítésre, csak a felület befestése szükséges;
- Bonyolult geometriájú szerkezeti csomópontok ugyanolyan könnyen vizsgálhatók, mint egyszerűbb részek.

A hagyományos termovíziós rendszerrel történő vizsgálatokkal

- A teljes szerkezetről jó pontosságú kvalitatív eredmények kaphatók, ami lehetővé teszi a feszültségkoncentrációk gyors felismerését, és a veszélyes területek kijelölését ;
- A kiválasztott szerkezeti részeket közelebbi vizsgálatával a feszültségeloszlás is meghatározható. A legpontosabb eredményeket a vonalmenti kiértékeléssel értük el.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton mondok köszönetet mindazoknak, akik a fenti kutatásokat személyesen segítették, különösen Prof. Dr.-Ing habil. H. Pasternak professzornak, a Brandenburgi Műszaki Egyetem Acélszerkezeti Tanszéke vezetőjének, valamint a kutatás pénzügyi támogatásáért a Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg-nak.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Feickert, W.: Ermittlung des vollständigen Spannungszustands mit dem Verfahren der Thermoelastischen Spannungsanalyse. *Fortschrittberichte, VDI Reihe 18 Nr. 154*. Düsseldorf, VDI-Verlag 1994.
- [2] Pasternak, H.- Horváth, L.: Untersuchung zyklisch beanspruchter Stahlbauteile mit Hilfe der Thermovision. *Stahlbau*, 66(1997), Heft 3, 127-135.
- [3] Pasternak, H.- Horváth, L.: Investigations of Steel Members under Cyclic Loading by Thermovision. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.46(1998), 425
- [4] Scheer J., Scheibe H.-J. és Kuck D.: Zum Verhalten ausgeklinkter Träger unter zyklischer Beanspruchung. *Bauingenieur* 65 (1990), pp 463-468.
- [5] Szabó, Gy. : Szerkezeti acélok tulajdonságainak vizsgálata termovíziós módszerrel. *BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tud. Közleményei, Halász Ottó emlékszám, 2002*