

## HEGESZTÉS HŐTERJEDÉSÉNEK MODELLEZÉSE ÉS VALIDÁLÁSA TOMPA VARRAT ESETÉN

### HEAT TRANSFER MODELLISATION AND VALIDATION IN CASE OF BUTT WELDING JOINT

Halász Gergely<sup>1</sup>, Kuti János<sup>2</sup>, Széll Károly<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék, 1084 Budapest, Népszínház u. 8.; +36-1-666-5386, [gerryhalasz@gmail.com](mailto:gerryhalasz@gmail.com), [kuti.janos@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kuti.janos@bgk.uni-obuda.hu)

<sup>3</sup> Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar, Mérnöki Intézet, 8000, Magyarország, Székesfehérvár, Budai út 45. K/37; +36 (22) 200-499, [szell.karoly@amk.uni-obuda.hu](mailto:szell.karoly@amk.uni-obuda.hu)

#### Abstract

Aim of our work to compare the results of the virtual model with the measured heat transfer data. The primary goal to compare the real time measured with the program simulated data. The copy of the virtual model is the real product (like a prototyping process this sample also exists). Before beginning of any production process this model is tested and experimented under loads. One of the testing procedures is the joining. In case of many parts the joining process is a key technology, it needs to know the welding heat effect for the microstructure in the heat affected zone and the joint.

**Keywords:** *welding, heat affected zone, heat transfer, model validation.*

#### Összefoglalás

Kutatásunk célja, hogy összehasonlítsuk a virtuális modellben kapott szimulált értékeket a valódi, hegesztés közben mért hőterjedési értékekkel. Elsődleges cél, az egyes időpillanatokban mért hőmérsékleti értékek összehasonlítása a programban szimulált értékekkel. A virtuális modell pontos mása a készterméknek (akárcsak a prototípus, csak ez valójában nem létezik). Még mielőtt bármit gyártanának, előtte ezt a virtuális modellt vizsgálják, tesztelik és igénybevételeknek teszik ki. Ezen modellek vizsgálatának egy fontos részét képezi a kötéstechológia. Sok alkatrész elkészítésénél kulcsfontosságú a hegesztés, és tudnunk kell, hogy ez milyen hatásokkal jár az alapanyagunk belső szerkezetében, a hőhatásövezetben és a kialakuló varratban.

**Kulcsszavak:** *hegesztés, modell, hőterjedés, modell validálás.*

#### 1. Hőterjedés

Ha valamely testnek és környezetének a hőmérséklete különböző, közöttük hőcsere indul meg és a hőmérsékletük idővel kiegyenlítődik. A hőátadási együttható a tárgy és a környezete között az az időegységenként és felületegységenként kicserélődő hőmennyiség, amely a felületre merőlegesen belép a testbe, vagy abból kilép. Ez a hőcsere hővezetéssel, hőáramlással és hősugárzással megy végbe.

ként és felületegységenként kicserélődő hőmennyiség, amely a felületre merőlegesen belép a testbe, vagy abból kilép. Ez a hőcsere hővezetéssel, hőáramlással és hősugárzással megy végbe.

### 1.1. Hővezetés

Hővezetés során a hőcsere a szomszédos, nyugalomban lévő részecskék között megy végbe, tehát a szilárd testekre jellemző. Folyadékban vagy gázban akkor terjed a hő vezetéssel, ha az anyag részecskéi nyugalomban vannak. A fémek hővezető képessége függ:

- az összetételtől,
- a szerkezeti állapottól,
- a hőmérséklettől.

### 2. Hőmérő eszközök

A hegesztések alatt a hőmérsékletek validálásához szükségünk volt hőmérő eszközökre, amelyek segítségével egy adott pontban mérni tudtuk a hőmérsékletet. A kísérletekhez három hőmérsékletmérési módszert vettünk fontolóra: a hőkamerát, a termoelemet és az infrahőmérőt. Ezek közül számunkra a termoelem volt az optimális.

### 3. Kísérleti munkadarabok előkészítése

Az alapanyag S355 anyagminőségű, hidegen hengerelt általános rendeltetésű szerkezeti acél. A próbadarabokat Messer Hungarogáz Kft. biztosította. A lemezek mérete 8x100x250mm. A próbatestek méretre vágva és leélezve érkeztek meg az egyetemi hegesztőlaborba. A leélezés minden darab esetében 15°-os, az előkészítés összesen 30°. 4 előkészített lemezbe a leélezett peremtől 20mm-re, a varrattal párhuzamosan 5 darab egyenként 6mm mély és 1,7mm átmérőjű zsákfuratokat fűrtünk egymástól 40mm távolságra.

Ezek a furatok biztosítják, hogy a termoelemek metszetben helyes hőmérsékleti értékeket adjanak. A furatok távolsága az összes darabnál egységes: a varrattól 20mm, a szélétől és egymástól 40mm.

### 4. Hegesztési eljárás

A kísérleti hegesztéseket az egyetem ívhegesztő laboratóriumában végeztük el. Az

egyszerűbb kivitelezés kedvéért egy lineáris hegesztőgép segítségével készítettük el a varratokat, így a hegesztési sebesség állandó volt, és a hegesztő személyzetből származó hibákat kiküszöböltük. A hegesztést huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztéssel, ismertebb nevén MAG (Metal Activ Gas welding) hegesztéssel végeztünk. Az alkalmazott védőgáz szabványos M21-es gáz volt (Ar+18% CO<sub>2</sub>).

### 4.1. Hegesztőgép ismertetése

A hegesztő hibájának kiküszöbölésére lineáris hegesztőgépet alkalmaztunk. Az egyetemi hallgató által tervezett egyedi gépnek köszönhetően a hegesztést egyenletes sebességgel és huzalelőtollással tudtuk elkészíteni. A gép munkaterülete 1000x660x600mm. Segítségével biztosítva volt, hogy a sebesség, a pisztolytartás és a hegesztési áramerősség minden mérésnél megegyezzen.

### 5. Kísérlet leírása

A próbahegesztések alatt meghatároztuk a huzalelőtollás sebességének változtatásával a hegesztési áramot és az alkalmazandó hegesztési feszültséget. A megfelelő kötés kialakítását, a hegesztési áram és a feszültség kiválasztott értékei mellett a 14 cm/perc-es hegesztési sebesség biztosította. A kísérletek alatt a következő állandó paraméterekkel dolgoztunk: hegesztési sebesség: 14 cm/perc; áramerősség: 180A; feszültség: 23V.

Az első próbatestet alátámasztás nélkül a munkapadra helyeztük, a furatokba beillesztettük az öt termoelemet, és a gép segítségével meghegesztettük. Közben figyeltük az áram és a hőmérséklet változását. A hegesztés befejezésével dokumentáltuk az elkészült varratot, és megvártuk, amíg 100°C alá hűl a próbatest. Ezután kivettük a termoelemeket, megjelöltük a darabot, és a gyökoldalt is dokumentáltuk. A második próbatestet vékony huzallal támasztottuk

alá a végein, hogy minél kisebb legyen a hőelvonás. Az alátámasztásból fakadó jóval kisebb hőelvonás a termoelemmel mért hőmérséklet értékein is jól látszik. A hegesztés végeztével a gyökoldalt is dokumentáltuk.

A második próbatest után már nem változtattunk a kezdeti feltételeken, minden ugyanaz maradt a harmadik és negyedik mérésnél is.

A kapott alapadatok segítségével a MSC Marc Mentat programban elkészítettem a hegesztett varratot metszetben, megközelítő méretben és alakban.

## 6. Modell bemutatása

Az MSC Marc Mentat programban a hegesztett varrat megközelítő alakját modelleztük le. A hőterjedést metszetben vizsgáltuk, ezért a modell is két dimenzióban ábrázolja a varratot. A leélezést figyelembe véve készítettük el a kötést, a varrat közelében a pontokat sűrűn helyeztük el, hogy a lehető legpontosabb mérési eredményeket kapjunk.

A negyedik mérésnél már minden problémát ki tudtunk szűrni, a hegesztőgép a méreteknek megfelelően a lehető legjobb beállításon üzemelt.

Szélességében a modell mérete nem éri el a próbatest méreteit. Ezen probléma kiküszöbölésére mind a két oldalon hőelvonást állítottunk be, amely reprezentálja a további anyag hőelvonását. Ezután következett a modell parametrizálása. A hegesztés tulajdonságai, fluxus, anyag tulajdonságok, kezdeti és határfeltételek megadása.

### 6.1. Anyagtulajdonságok

A hőfolyamat futtatásához speciális anyagfüggvények felvételére nincs szükség, az alábbi jellemzőket használtuk:

- fajhő:  $576 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ,
- anyagsűrűség:  $7850 \text{ Kg/dm}^3$ ,
- hővezetési tényező:  $0.04 \text{ W/mm}^\circ\text{C}$ .

### 6.2. Határfeltételek megadása

A termikus peremfeltétel beállításához felvettünk egy pont fluxust. Mivel az elekt róda és a munkadarab között az elektromos ív egy bizonyos pontban záródik, így itt keletkezik a legnagyobb hőmérséklet.

### 6.3. Kiinduló feltételek megadása

Az alapanyag hőmérséklete a hegesztés megkezdése előtt a környezeti hőmérséklet értékével egyezik meg.

### 6.4. Igénybevételek megadása

Itt határoztuk meg a teljes folyamat időtartamát. Mivel számunkra a hőterjedés csak a hegesztési varratra merőleges metszetben érdekes, ezért a próbatestet érő hő fluxust csak egy rövid időre kell működtetni. Viszont a hőterjedést a teljes hegesztés alatt figyelniünk kell, mert több időbe telik még a hőelvonás megtörténi.

A feltételek megadása után pedig lefutattuk a programot. A három megadott szakasz jól láthatóan elkülönül a modell lefuttatásakor (**2. ábra**). Az első szakaszban, amikor az ív éppen elhalad, az ömledék hőmérséklete még olvadáspont fölött van.

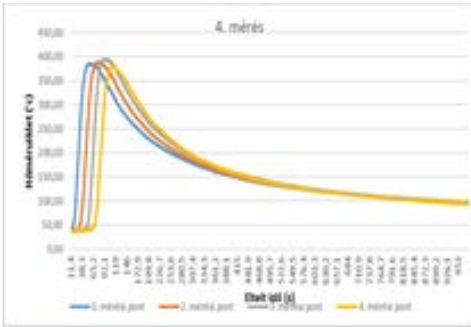
A második szakaszban a hő szétterjed a darabban. A varrat és a környezete még különböző hőmérsékleten izzik. A hőhatás övezetben is megugrik a hőmérséklet.

A harmadik szakaszban, - ami a leghosszabb szakasz, így itt a pontok felvétele is nagyobb időközökkel történt - a hőelvonás látható. A próbatest szépen lassan visszahül. A varrat környékén még viszonylag meleg azonban a varratól távolabb már közelít a szobahőmérséklethez.

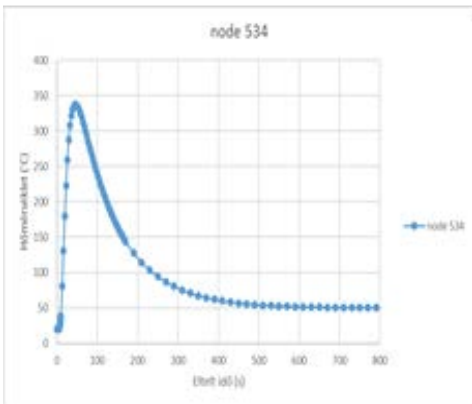
## 7. Eredmények, összefoglalás

A mért és számított eredmények összehasonlításához mind a négy darab mérési adatait felhasználtuk, és a négy mérési pont eredményeit kiértékeljük. Ezen mérési pontokat diagramokba foglaltuk, hogy átláthatóbbak legyenek. Ezek közül itt csak egyet ismertetek (**1. ábra**). Összehasonlítva a

modellben kapott eredményekkel látszik, hogy a görbék irányultsága sok hasonlóságot mutat, azonban a maximális hőmérséklet nem egyezik meg (2. ábra). Az adatok alapján megállapítható, hogy a modell nem tükrözi teljes mértékben a valóságos hegesztés eredményeit. Az eltérés igen nagy, megközelítőleg 50°C, a maximum és a lehűlési pont között. Ez valószínűleg azért van, mert a modellnél megadott hőelvonási értékek a valósághoz képest kisebbek.



1. ábra. A termoelemekkel mért hőmérsékleti értékek



2. ábra. A modellből származtatott hőmérsékleti értékek

A méretek miatt a hőelvonás értékeit nekem kellett megbecsülni, a következő szimulációnál ez a hőelvonás érték korrigálható a mért eredmények alapján, ez várhatóan közelebb hozza a szimuláció értékeit

a valósághoz. Valószínűbb, hogy a szoftver további beállításai sem voltak elég pontosak. A korlátozott időtartam miatt előfordulhat, hogy a modellezésnél bevitt paraméterek és az elkészült geometria hibájából fakad az eltérés. Az adatok megközelítőleg jók, de mindenképpen további vizsgálatokat igényelnek.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton kívánnak köszönetet mondani munkánkhoz nyújtott anyagi támogatásért – az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt keretében – a Magyar Államnak és az Európai Uniónak.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Komócsin M.: *Gépipari anyagismeret*, Okom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 1997.
- [2] Szombatfalvy Á.: *A hőkezelés Technológiája*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985, 9–12.
- [3] Hütte: *A mérnöki tudományok kézikönyve*, Budapest; Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona, Springer-Verlag, 1993.
- [4] Horváth Károly, Simonyi Alfréd, Zobory István: *Mérnöki fizika*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1992.
- [5] Gremesberger G., Marti S., Rejtő F.: *Ívhegesztő áramforrások*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
- [6] Marc® 2013 Volume A: *Theory and User Information*, MSC Software Corporation, 2013, 270.
- [7] Csengeri Pintér Péter: *Mennyiségek, mértékegységek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
- [8] Mikló István: *Hegesztő szakmai ismeret 2.*, Szakmunkásképző iskolai tankönyv 2. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1991.
- [9] *Termoelem-hőmérők*, BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, elektronikus jegyzet, ftp.energia.bme.hu/pub/Energetikai\_meresek\_I/3\_Termoelem-homerok.pdf
- [10] Harangozó József: *Hegesztett tompa- és sarokvarratok hőfolyamatainak vizsgálata véges elem módszerrel*, TDK dolgozat, Budapest, 2013, 12.
- [11] Tállai Kristóf Csaba: *Lineáris hegesztőgépek tervezés*, Budapest, 2017