

FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

AZ ELLENÁLLÁSPONTHEGESZTÉS VÉGESELEMES MODELLEZÉSÉNEK SAJÁTOSSÁGAI

Szabó Péter

This paper contains the results of a research work, in which the results of Finite Element Modeling of resistance spot welding were used in interpretation of formation process of resistance spot welded joint. The task of the work was to build a mechanical and a thermal model for resistance spot welding simulation.

Bevezetés

Az ellenállásponthegesztést 1877-ben Elihn Thomson találta fel és alkalmazása gyorsan el is terjedt a vékonylemezes konstrukcióknál. Annak ellenére, hogy a technológia több mint 100 éves az eljárás fizikai jelenségeit még nem sikerült teljes mértékben megérteni.

1. Célkitűzés

A szakirodalom áttekintése után arra a következtetésre jutottam, hogy a legalapvetőbb problémát az ellenállásponthegesztésben a két lemez közötti érintkezési ellenállás kezelése jelenti. Ennek meghatározása azért is bizonytalan, mert kémiai, mechanikai, termikus és metallurgiai jelenségek összetett kölcsönhatásából áll. Az elméleti és gyakorlati eredmények összehasonlításakor több szerző is az érintkezési ellenállás fontosságára hívta fel a figyelmet, valamint az elméleti alacsonyabb hőfejlődést is ezen jelenség nem tökéletes modellezésével magyarázták [ld. Bentley, Knowlson, Baker, Greenwood (1963); Nied (1984); Cho és Cho (1989); Wei és Ho (1990); Henrysson, Abdulwahab, Josefson, Fermer (1998)].

Jelen tanulmány az ellenállásponthegesztés korai szakaszának modellezését tűzte ki célul, így a fázisátalakulással, illetve a további folyamatokkal még nem foglalkozik. Ezen folyamatok a kutatási terv további lépéseit képezik.

2. Az ellenállásponthegesztésnél lejátszódó főbb fizikai folyamatok

- Anyagtulajdonságok (hő- és elektromos) változása a hőmérséklet függvényeként:
- A mechanikai terhelés hatása,

- Az elektród geometriája,
- Az elektród belső vízűtése,
- Az elektromos áramátfolyás helye, illetve az áramsűűrsűég eloszlása.
- Érintkezési ellenállás a különbözű felűleteken, mert ezeken Joule-hű fejlődik,
- Az áramerűssűég, a feszűltsűég és az ellenállás idűbeli változása,
- Konduktív hűvezetés a munkadarabokban és az elektródokban,
- Konvektív hűvezetés a lemez, illetve az elektród felűletérűl,
- A fázisátalakulás látens hűje,
- A folyadékfázisban végbemenű hűvezetés.

3. A modellezés elméleti háttere

A 3.pontban felsorolt jelensűgek közül jelen modell még csak négygel (a felsorolás szerint: 1, 2, 4, 8, 9,) foglalkozik, és szétválasztja a hű- és mechanikai jelensűgeket.

3.1. A hűmodell

Szilárd testekben a hagyományos csoportosítás szerint a vezetűses hűátvitel a jellemzű. Ez azt jelenti, hogy a hűterjedés a molekuláris ütközések révén úgy jön létre, hogy a molekulák a kinetikus energiájuk egy részét az anyag makroszkűpikus mozgása nélkül adják át egymásnak [16].

A szilárd testekben fellépű vezetűses hűátvitel (hűvezetés) differenciálegyenletét a transzportfolyamatok energiaegyenletébűl nyerhetjűk a következű formában.

$$\rho C \left(T + \beta_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_3^2} \right) - aT + f$$

ahol:	ρ :	az anyag sűűrsűége,
	C :	hűkapacitás,
	T :	hűműrsűklet (az ismeretlen),
	x :	a helykoordináta,
	β_i :	a hűáramlási sebessűég i irányban,
	k :	hűvezetűsi tényezű,
	a :	abszorpciós tényezű,
	f :	a deformáció során keletkezű hűmennyisűg.

További egyenletek:

(1) Konvektív hűvezetés a környezetbe:

$$q_c = \alpha_c (T - T_c)$$

Ahol:	q_c :	hűáramsűűrsűég,
	α_c :	felűleti hűátadási tényezű konvektív úton,
	T_c :	kűlsű környezeti hűműrsűklet, amerre a konvektív áramlás történik

(2) Hűsugárzás a környezetbe:

$$q_r = \alpha_r (T^2 - T_r^4)$$

Ahol: q_r : hőáramsűrűség,
 α_r : felületi hőátadási tényező sugárzás esetén,
 T_r : külső környezeti hőmérséklet, amerre a sugárzás végbemegy.

A hővezetési differenciálegyenlet megoldásaként adódó hőmérséklet a test belsejében a helynek és az időnek folytonos, legalább kétszer differenciálható függvénye. A test felületén ennek a feltételnek nem kell teljesülnie, ott a hőmérsékletnek lehetnek folytonosság szakadásai. Ugyanígy a kezdő hőmérséklet-eloszlásnak is lehetnek a test belsejében folytonosság-szakadásai, amelyek a hővezetési folyamat következtében majd úgyis meg fognak szűnni.

A kezdőfeltétel, azaz a folyamat kezdetét jelentő $t=0$ időpontban a test belsejében uralkodó hőmérséklet-eloszlás: $T(x, y, z, 0) = T_0$.

Jelen esetben peremfeltételként a potenciálmélet harmadik peremfeltételét kell megadni, ami nem más, mint a newtoni felületi hőátadási törvénynek a vizsgált test felületén való érvényesítése:

$$k\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_F + \alpha(T_F - T_K) = 0$$

Ahol: k : hővezetési tényező,
 α : hőátadási tényező,
 T_F : felületi hőmérséklet,
 T_K : környezeti hőmérséklet.

3.2. A mechanikai modell

A mechanikai modellben a mozgásegyenlet alábbi alakját oldjuk meg:

$$\rho \dot{v}_i = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + (1 - \beta T) \rho g_i - d \frac{\partial v_i}{\partial x_i} + f_i$$

Ahol: ρ : az anyag sűrűsége,
 v_i : sebesség az i irányban,
 σ_{ij} : feszültség mátrix,
 x : helykoordináta,
 β : expanziós tényező,
 T : hőmérséklet,
 g_i : gravitációs gyorsulás
 d : csillapítási tényező,
 f_i : térfogati erő tömegegységre vonatkoztatott fajlagos értéke.

Az alakváltozás esetén fontos megemlíteni, hogy kisebb terhelés hatására az anyag még rugalmasan viselkedik, azonban egy bizonyos határ átlépése után már képlékenyen. Ez a jellemző érték a folyási határ, így a modellezés során egy képlékenységi feltételt kell előírunk.

A fémeknél a Von-Mises képlékenységet használjuk a rugalmas-, illetve képlékeny alakváltozás szétválasztására. Az ekvivalens von Mises feszültség:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{s_{ij} s_{ij}}{2}}$$

Ahol a deviátor feszültség: $s_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_m \delta_{ij}$.

4. Modellalkotás

A modellalkotás kezdeti lépéseként válasszunk nagyon egyszerű geometriát, amit később bővíteni lehet, és a bővített lépések hatásai világosan érzékelhetők, magyarázhatók. Kezdetben az ellenállásponthegesztést bontjuk szét egy mechanikai- és egy hőmodellre, így a későbbiekben lehetőség nyílik ezen két folyamat csatolt jelenségként való vizsgálatára.

4.1. A geometria

Az ellenállásponthegesztésben résztvevő elemek által alkotott rendszer tengelyszimmetrikus volta miatt lehetőség nyílik egy egyszerűsített 2D-s modell felépítésére. Mivel elsősorban a lemezben végbemenő folyamatokra vagyunk kíváncsiak, így az elektród-lemez érintkezési felületet vonalelemként vizsgálhatjuk, és a vonalelemen olyan peremfeltételeket definiálunk, amellyel helyettesíthető az elektród. Ez egy egyszerűsítés, de ezáltal jelentős számú csomóponttól szabadultunk meg, amely a későbbiekben több előnyt is jelenthet.

Ugyanilyen vonalelemként definiálhatjuk a lemez-lemez érintkezési felületet is, amelyen később majd a hő fejlődik.

A modell xy koordináta rendszerbeni felépítését az 1. és 2. melléklet jól mutatja. A lemezek jellemző méretei ezek alapján (1. Táblázat).

1. táblázat
A lemez méretei

Jellemző	Méret
Anyagvastagság (y méret)	2 mm
X irányú mérete	27 mm

4.2. Anyagtulajdonságok

2. táblázat
Anyagjellemzők

Sűrűség	7,87 kg/m ³
Fajhő	456 J/kg/K
Hővezetési tényező	78,2 W/m/K
Rugalmassági modulusz	212 Gpa
Poisson tényező	0,291
Folyás határ	240 Mpa

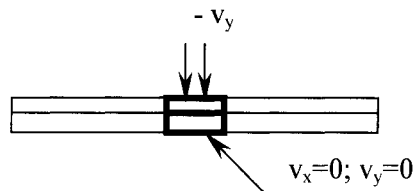
A lemez anyagaként alacsony karbon-tartalmú (max: 0,17 %) csillapított alapacélt választottam, melynek a modellezés szempontjából főbb tulajdonságait a 2. táblázat foglalja össze.

4.3. Egyenletek és peremfeltételek

A folyamat leírására szolgáló egyenleteket a 3. fejezet tartalmazza, illetve a kezdeti és peremfeltételek is az ottani formában lettek megadva.

4.3.1. A mechanikai modell

A mechanikai modell felépítését és peremfeltételeit az 1. ábra szemlélteti:



1. ábra

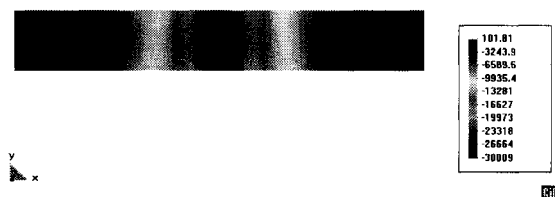
A mechanikai peremfeltételek:

- A felső elektród által kifejtett nyomást a felső elektród-lemez érintkezési felületen egy y-irányú sebességvektorral vesszük figyelembe.
- Az alsó elektród nem mozdul el.
- A rendszer nem mozog, nyugalomban van.

Kezdeti feltételek:

- A rendszer feszültségmentes állapotban van.

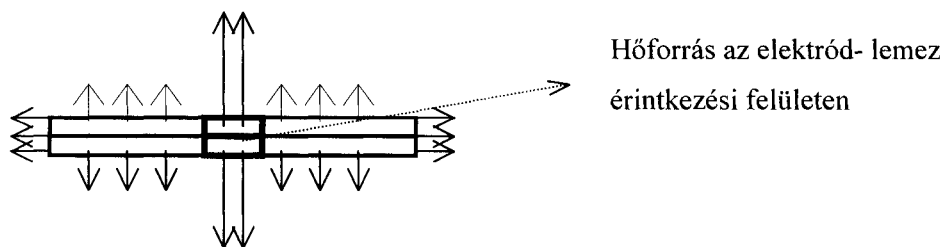
A felállított modell eredménye a következő lett (2. Ábra):



2. ábra

4.3.2. A hőtani modell

A hőtani modell felépítését és a hőáramlási viszonyokat a 3. ábra szemlélteti:



3. ábra

A hőtani peremfeltételek:

- A hő az anyagban konduktív úton áramlik.
- A hővezetést a lemezek külső felületén hőátadási tényezővel vesszük figyelembe a newtoni felületi hőátadási törvény alapján (ld. 2. Melléklet).
- Az elektród hűtő hatását a terhelési felületeken állandó külső hőmérséklettel veszem figyelembe.
- A két lemez érintkezési felületén egy hőforrást definiálok, mely biztosítja a szükséges hőáramsűrűséget.

Kezdeti feltétel:

- Az anyag hőmérséklete $t = 0$ időpillanatban 20 °C .
- A külső környezeti hőmérséklet $t = 0$ időpillanatban 20 °C .
- A hűtővíz hőmérséklete állandó 10 °C .

A felállított modell eredménye a következő lett (4. Ábra):



4. ábra

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] H. A. Nied: The Finite Element Modelling of the Resistance Spot Welding Process
Welding Research Supplement, 1984. Apr.
pp.: 123s-132s
- [2] Bentley, Greenwood, Knowlson, Baker: Temperature Distributions in Spot Welds
British Welding Journal, 1963. Dec.
pp.:613-619
- [3] H. S. Cho, Y. J. Cho: A Study of the Thermal Behavior in Resistance Spot Welds
Welding Research Supplement, 1989. Jun.
pp.: 236s-244s
- [4] Wei, Ho: Axisymmetric Nugget Growth During Resistance Spot Welding
Journal of Heat Transfer, 1990. May.
pp.: 309-316
- [5] Henrysson, Abdulwahab, Josefson, Fermer: Residual Stresses in Resistance Spot Welds: Finite Element Simulations, X-Ray Measurements and Influence on Fatigue Behaviour
Fatigue Design 1998, Vol. I.
pp.: 179-190
- [6] Czibere Tibor: Vezetékes hőátvitel
Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998

Szabó Péter, doktorandusz

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

Tel: 36-46-565-111/18-44; Fax: 36-46-363-929

E-mail: metszp@gold.uni-miskolc.hu