

FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

A NAGY TELJESÍTMÉNYŰ FOGYÓELEKTRODÁS VÉDŐGÁZAS ÍVHEGESZTÉSEKNÉL KIALAKULÓ FORGÓÍVES JELENSÉG MODELLEZÉSE

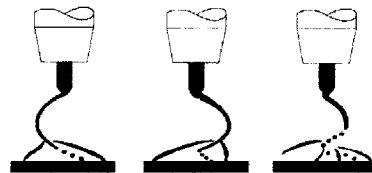
Adorján Gábor Dr. Kiss Antal

In this paper intraduce a modell which appropriate for modelling of phenomenon of rotational arc at high efficiency metal arc gas welding (T.I.M.E. process). Advance of our modell is that we can joint it into various FEM systems in very easily way .The support of our modell we can examine the main parameters of rotational arc and its influence on the weldment penetration, shape, depth, width and heat effected zone properties.

Bevezetés

A mai felfokozott minőségi és gazdasági követelményeknek nemcsak a hegesztett fémszerkezetek tervezésénél, méretezésénél, hanem annak hegesztéstechnológiai kivitelezésénél, tehát az anyag - eszköz - eljárás - hegesztő szakember komplex rendszer megválasztásánál is érvényesülnie kell. Tekintettel arra, hogy az alapanyagok egyre nagyobb hányadából készül hegesztéssel félkész vagy kész termék, s ez utóbbiak ára többszöröse a kiinduló anyagénak, ezért egyre inkább szükség van a nagy hatásfokú és nagy termelékenységű, de ugyanakkor kiváló minőséget is adó eljárások kifejlesztésére, illetve továbbfejlesztésére a hegesztés területén.

Az elmúlt 50 év során számos olyan új, korszerű, a kívánt célokra legjobban megfelelő hegesztő eljárás került kidolgozásra, melyek maximálisan kielégítették a koruknak megfelelő gazdasági, minőségi követelményeket. Ebből a szempontból a kidolgozott hegesztő eljárások közül kiemelkedő jelentőséggel bírnak az olyan nagy termelékenységű eljárások, mint a védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztés különböző eljárás változatai. Ezen eljárás változatok a minőség és termelékenység növelését vagy a technológiai lehetőségek jobb kihasználása révén vagy a hegesztéshez használt hozaganyagok, huzalok, védőgázok és berendezések célirányos fejlesztésével érték el. A félvezető technika és az elektronika széleskörű elterjedése nyomán a hegesztés villamos berendezései is jelentős fejlődésen mentek keresztül, és ezzel nagyobb lehetőséget adva nemcsak az automatizálásra, de új eljárások kidolgozására is. Erre jó példa az utóbbi években megjelent *T.I.M.E. Process* melynek forgóíves változatával 40-45 m/min huzalelőtolási sebesség mellett akár 20-22 kg/h leolvastási teljesítmény is elérhető.



1.ábra
A forgóíves anyagátmenet

1.) A hagyományos ív által keltett hőáramsűrűség mező leírása

A hegesztett kötéssel szembeni legfontosabb elvárások a kötés szilárdsága, a kristályosodási és hidegrepedésektől való mentesség és a ridegtöréssel szembeni biztonság. Ahhoz, hogy ezen követelményeket a varrat maradéktalanul kielégítse az adott hegesztéstechnológiát tervező szakembernek ismernie kell a fent említett folyamatokat meghatározó alapvető tényezőket – hegesztési hőfolyamat izotermáit (a maximális hőmérsékletek nagyságát és helyét), a hevítési és hűlési sebességet, - vagyis csak a hegesztési hőfolyamatok elemzése alapján, a hegesztési hőfolyamatban végbemenő változások pontos ismeretében történhet a technológiai tervezés.

Az ömlesztő hegesztő eljárásoknál a hegfürdő létrehozásához (a hozaganyag és alapanyag) megolvastatásához szükséges hőenergiát kémiai, vagy villamos energiából állítják elő. A primer energia hővé alakításának módszere, valamint a képződő hőnek a munkadarabra, illetve a hozaganyagba juttatásának módja jelentősen befolyásolja az energia hasznosításának mértékét, a hegesztő eljárás termelékenységét, a hőtávitel energiasűrűségét és ezen keresztül a varrat geometriáját, a varraton belül az alapanyag-hozaganyag részarányát.

Az ív teljes hőteljesítménye közelítőleg az elektromos teljesítményével azonos, ha a kémiai reakciók hőhatásától eltekintünk. Az ív által a tárgynak időegység alatt átadott effektív hőmennyiség (hőáram) az alábbi összefüggéssel számítható.

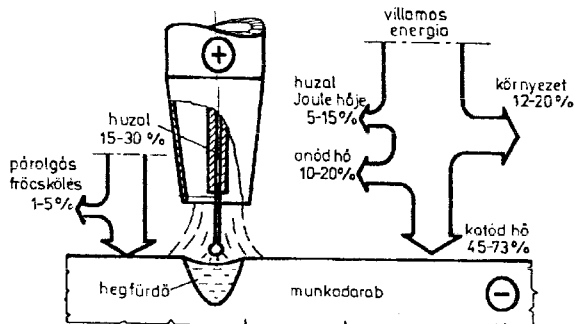
$$\Phi = \eta_i \cdot U \cdot I \quad \left[\frac{J}{s} \right] \quad (1)$$

ahol: U ívfeszültség,

I a hegesztésnél alkalmazott áramerősség,

η_i hatásfoktényező, mely az ív által termelt teljes- és a tárgyba bevezetett hőmennyiség viszonyát fejezi ki.

A hőhasznosítás elsősorban a hegesztőeljárástól, a varratgeometriától és az előmelegítés hőmérsékletétől függ.



2. ábra

A különböző hegesztőeljárások termikus hatásfoktényezői

Hegesztési eljárás	η_i
Gázhegesztés	0,15 - 0,35
Volfrámelektrodás ívhegesztés	0,42 - 0,68
Bevontelektrodás ívhegesztés	0,73 - 0,85
Fogyóelektrodás védőgázás ívheg.	0,70 - 0,87
Fedettívű hegesztés	0,9 - 0,98

1. táblázat

Fogyóelektrodás védőgázás ívhegesztés energiamérlege

A különböző hegesztőeljárások termikus (η_i) hatásfoktényezőinek értékeit a fenti táblázat tartalmazza. Általános szabály, hogy az ívhossz növekedésével az η_i csökken, míg az ív tárgyba merülésével kis mértékben nő. Tapasztalatok szerint fémelektrodával végzett hegesztéseknél az áram neme, polaritása és erőssége a hatásfoktényezőt csak jelentéktelen mértékben befolyásolja.

A hegesztéshez kapcsolódó hőfizikai számításoknál csupán az alkalmazott hőforrás hatását veszik figyelembe. A számításoknál eltekintenek attól a töredéknyi hőközléstől, amit a hegfürdőből kiégő elemek oxidációja, illetve attól a hőelvonástól, amit a hegfürdő párolgása jelent. A hőforrás által közölt hő a hegesztett tárgyban hővezetéssel távozik a hegesztett hely környezetéből. A hegesztő ív fajlagos hőmennyisége (hőáramsűrűsége q , $J/s \cdot cm^2$) az aktív folt középpontjában a legnagyobb, mivel itt az elektron- és ion- bombázás következtében a hő közvetlenül a fémfelületen válik ki, míg az aktív folt környezetében a fém hevítése hővezetéssel és részben az ív sugárzó hőjével történik. A hegesztett felületen az ívtalpponttól távolodva a fajlagos hőmennyiség közelítőleg a Gauss-féle normál eloszlás függvényét követi az alábbi egyenlet szerint:

$$q(r) = q_{\max} \cdot e^{-kr^2} \quad (2)$$

ahol: $q(r)$ a fajlagos hőmennyiség a középpont-tól r távolságban,

q_{\max} a fajlagos hőmennyiség legnagyobb értéke az aktív folt középpontjában,

k a hőforrás koncentrátságát kifejező tényező melynek értéke $k=1 \dots 10 \text{ } 1/cm^2$



3. ábra

A hőáramsűrűségnek a hegesztett felületre számított integrálja, (vagyis a $q(r) = q_{\max} \cdot e^{-kr^2}$ függvénynek – mint meridián görbének – a függőleges tengely körüli megforgatásával nyert harang felület alatti integrálja) adja az ív hőáramát (Φ , J/s), azaz a munkadarabra az adott felületen át időegység alatt bevitt hőmennyiséget.

a.) Egy véges r_x sugarú körfelületen bevitt hőáram:

$$\Phi_{r_x} = \int_{(A)} q \, dA = q_{\max} \cdot \frac{\pi}{k} \cdot \left[1 - e^{-kr_x^2} \right] \quad (3)$$

b.) A teljes felületen időegység alatt bevitt összes hőmennyiség (figyelembe véve, hogy $r_x \rightarrow \infty$):

$$\Phi = \lim_{r_x \rightarrow \infty} \Phi_{r_x} = q_{\max} \cdot \frac{\pi}{k}, \quad (4)$$

2.) A forgóív által keltett hőáramsűrűség mező matematikai modellezése

Forgóíves hegesztéskor az ív részét képező és a munkadarabon létrejövő aktív folt a huzalelektróda szimmetria tengelyéből kitérve egy (az ívfeszültségtől függő) R sugarú körpályán mozog. Ekkor a munkadarabba bejutó hőáramsűrűséget az ívtalpponttal együtt-mozgó Gauss-féle harangfelület reprezentálja. Ugyanakkor – egyszerűsítésként - az adott pontban, adott időpillanatban a hőáramsűrűség eloszlást reprezentáló Gauss-görbét önmagára nézve tengelyszimmetrikusra vesszük fel és eltekintünk attól, hogy a görbe külső részén az ill. az ív felőli belső részén az egyenlőtlen hevítési és hűlési viszonyok miatt a hőmérséklet eloszlást leíró görbeszakaszok egymástól kissé eltérő alakúak.

Az O pont körül R sugarú körön ω szögsebességgel forgó harangfelület esetén, a felület egy P pontjában az adott t időpillanatban a hőáramsűrűség az alábbi módon definiálható:
Egy tetszőleges t időpillanatban fennáll, hogy:

$$\vec{r} = r_u + \rho = R e_u + \rho e_\rho \quad (6)$$

ebből felírható:

$$\vec{\rho} = (\vec{r} - R e_u) e_\rho = \vec{\rho}(t, R, \gamma) = \rho_x \vec{i} + \rho_y \vec{j} \quad (9)$$

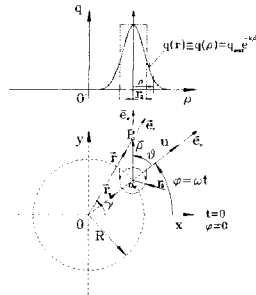
ahol

$$\rho = |\rho| = \sqrt{\rho_x^2 + \rho_y^2} \quad (10)$$

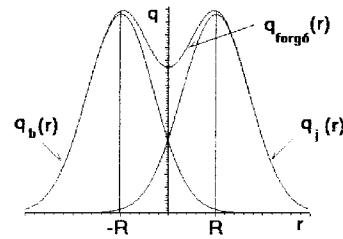
a fentiek figyelembevételével a hőáramsűrűség függvény az alábbi formát ölti:

$$q(r) = q(\rho) = q_{f_{\max}} \cdot e^{-k \cdot \rho^2} \quad (11)$$

ez utóbbi összefüggés segítségével meghatározhatjuk a forgóív által keltett hőáramsűrűség mezőt tetszőleges t időpillanatban az egész A_u felületre (4. ábra).



4. ábra



5. ábra

Ha az ív kellően nagy szögsebességgel forog körbe (egy körülfordulás alatt a hűlés mértéke elhanyagolható), akkor a körbe forgó harang felület által létrehozott hőáramsűrűség mező helyettesíthető egy olyan burkoló felülettel, amely alatti hőáram (Φ) azonos a forgó ív által - egy körbefordulás alatt - felületbe juttatott hőárammal.

A forgóívre jellemző hőáramsűrűség eloszlás burkolófelületének közelítő meghatározásánál figyelembe vesszük, hogy a valóságban az ív nagy fordulatszámmal forog (500- 700 1/s), ezért helyénvaló az a feltételezés, hogy a haranggörbének az R sugarú körön való körülhaladása által meghatározott térbeli alakzat burkoló felületével arányos felülettel helyettesítjük a forgóív hőáramsűrűségét. Ehhez a helyettesítő burkoló felület - a függőleges síkmetszetén vett - meridián görbéjének a jobb és baloldali $R, -R$ helyeken lévő Gauss-görbe $-\infty < r < +\infty$ tartományon való egyenletét határozzuk meg először, és ebből származtatjuk a térbeli burkolófelület meridián görbéjének (5. ábra) az egyenletét.

$$q_{\text{forgó}}(r) = C \cdot q_{\max} \cdot \left[e^{-k(r-R)^2} + e^{-k(r+R)^2} \right] \quad (14)$$

3.) A C konstans meghatározása

Alapelv: az (14) közelítő függvény szerint számítható hőáramból ($\Phi_{\text{forgó}}$) az ív körülforgási ideje ($t_{\text{periódus}}$) alatt a bejutó hőmennyiség megegyezik az állóívból – a (5) függvény szerint számítható hőáramból – ugyanazon idő alatt bejutó hőmennyiséggel.

$$Q_{\text{forgó}} = Q \quad (15)$$

$$\Phi_{\text{forgó}} \cdot t_{\text{per.}} = \Phi \cdot t_{\text{per.}} \quad (16)$$

$$\text{mivel } \Phi = q_{\max} \cdot \frac{\pi}{k} \text{ így } \Phi_{\text{forgó}} = q \cdot \frac{\pi}{k} \quad (17)$$

Ennek részletes kifejtéséhez felírható a helyettesítő felület hőáramára az alábbi összefüggés:

$$\Phi_{forgó} = \int_{(A)} q_{forgó}(r) dA = C \cdot q_{max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lim_{r_x \rightarrow \infty} \left[\int_{r=0}^{r_x} e^{-k \cdot (r-R)^2} \cdot r dr + \int_{r=0}^{r_x} e^{-k \cdot (r+R)^2} \cdot r dr \right] \quad (18)$$

A $\Psi(y) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^y e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ hibaintegrált bevezetésével és a (18) integrál részletes kifejtésével kapott eredményt

$$\Phi_{forgó} = C \cdot q_{max} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{1}{k} \cdot e^{-k \cdot R^2} + R \cdot \sqrt{\frac{\pi}{k}} \cdot \left[2 \cdot \Psi(\sqrt{2 \cdot k} \cdot R) - 1 \right] \right] \quad (19)$$

behelyettesítve a (17)-be megkapjuk a C konstans értékét:

$$C = \frac{1}{2 \cdot k \cdot \left[\frac{1}{k} \cdot e^{-k \cdot R^2} + R \cdot \sqrt{\frac{\pi}{k}} \cdot \left[2 \cdot \Psi(\sqrt{2 \cdot k} \cdot R) - 1 \right] \right]} \quad (20)$$

A hőáramsűrűség közelítő összefüggése tehát a forgóív esetén, a (14) és (20) alapján:

$$q_{forg.}(r) = C \cdot q_{max} \cdot \left[e^{-k \cdot (r-R)^2} + e^{-k \cdot (r+R)^2} \right] = \frac{q_{max} \cdot \left[e^{-k \cdot (r-R)^2} + e^{-k \cdot (r+R)^2} \right]}{2 \cdot k \cdot \left[\frac{1}{k} \cdot e^{-k \cdot R^2} + R \cdot \sqrt{\frac{\pi}{k}} \cdot \left[2 \cdot \Psi(\sqrt{2 \cdot k} \cdot R) - 1 \right] \right]} \quad (21)$$

A hőáramsűrűség mező más szemléletű megközelítését teszi lehetővé, ha bevezetjük a forgási sugár és a hagyományos ívnél használt helyettesítő henger sugarának hányadosaként képzett $\kappa = R/r_0$ változót, és figyelembe vesszük a korábban meghatározott $k = 1/r_0^2$ összefüggést is. Ezek figyelembevételével a (20-21) egyenletek az alábbi formát öltik:

$$C = \frac{1}{2 \cdot e^{-\kappa^2} + 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \kappa \cdot \left[2 \cdot \Psi(\sqrt{2} \cdot \kappa) - 1 \right]} \quad (22)$$

$$q_{forg.}(r) = C \cdot q_{max} \cdot \left[e^{-\left(\frac{r-\kappa}{r_0}\right)^2} + e^{-\left(\frac{r+\kappa}{r_0}\right)^2} \right] \quad (23)$$

$\Psi(\sqrt{2} \cdot \kappa)$ hibafüggvény és a C értékeit adott κ esetén a 2. táblázat tartalmazza:

$\kappa = R/r_0$	0	0.5	1	1.5	2	2.5
$\sqrt{2} \cdot \kappa$	0	0.71	1.41	2.12	2.82	3.54
$\Psi(\sqrt{2} \cdot \kappa)$	0.5	0.76	0.92	0.98	0.99	0.99
C	0.5	0.4	0.27	0.19	0.14	0.11

2. táblázat

4.) Összefoglalás

Jelen tanulmányban bemutattunk egy, a fogyóelektródás forgóív ivhegesztés hőáramsűrűség mezejének vizsgálatára alkalmas modellt, illetve a modell segítségével definiálható összefüggéseket. A bemutatott modell ezidáig az egyetlen olyan modell a hegesztés szakterületén, mely egyrészt alkalmas a nagy teljesítményű fogyóelektródás ivhegesztéseknél fellépő forgóív jelenség modellezésére, másrészt végelelemes rendszerekbe adoptálható. A Sysweld végelelemes programrendszer segítségével végzett futtatások alapján tapasztalatunk, hogy a modell segítségével sikeresen vizsgálható a forgóív jelenség illetve a forgóív hegesztés különböző jellemzői, ill. paraméterei (pl.: a beolvadási zóna szélessége, mélysége, alakja, a varrat hőhatásövezetében lezajló szövetszerkezeti változások, stb).

Adorján Gábor- Dr. Kiss Antal

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

H 3515 Miskolc-Egyetemváros, E-mail: metador@gold.uni-miskolc.hu, metkis@gold.uni-miskolc.hu