

Doktoranduszok Fóruma

Agárdi Anita, László Kovács: <i>Clustering based optimization</i>	1
Árvai László: <i>Beltéri helymeghatározási módszerek és alkalmazásai</i>	13
Cservenák Ákos: <i>Vezető nélküli targonca mérési rendszerének fejlesztése</i>	24
Drótos Dániel: <i>Szoft processzorok alkalmazása beágyazott rendszerekben</i>	31
Ebenezer Komla Gavua, Gábor Kecskeméti: <i>Formalizing cloud auto-scaling algorithms with the abstract state machine model</i>	37
Erdős Antal, Dr. Jármái Károly: <i>Présgép nyitott szelvényű gerendájának vizsgálata</i>	44
Erdősy Dániel: <i>BLDC motor elektromágneses szimulációja</i>	58
Zsombor Fülöp, Dr. Attila Szilágyi: <i>On the transverse vibrations of belt drives using elastic/perfectly plastic friction law along the pulley</i>	64
Gégény Dávid: <i>Approximációs hálókat közöti kapcsolat jellemzése</i>	77
Hardai Ibolya, Illés Béla, Bányainé Tóth Ágota: <i>Intelligens gyártórendszer logisztikai szempontú optimalizálása</i>	86
Ghanim Hussein Ali Ahmed, László Kovács: <i>Ontology support domain model for e-tutoring system</i>	93
Kállai Viktória, Szepesi L. Gábor: <i>Rektifikáló oszlop dinamikus szimulációja</i>	100
Nasraldeen Arnol Adam Khleel, Károly Nehéz: <i>Mining Software Repository: An Overview</i>	108
Hmoumen Marouane, Tamás Szabó: <i>Crane payload position measurement vision-based system</i>	115
Matusz-Kalász Dávid: <i>Napelemről táplált vízszivattyú mezőgazdasági felhasználásának lehetősége</i>	122
Mihály Krisztián, Kulcsár Gyula: <i>Párhuzamosan futó projektek többcélú ütemezési modellje és implementálása SAP rendszerben</i>	127
Haidar Faisal Helal Mobark, János Lukács: <i>Heat input influence on fatigue crack growth characteristics of high strength steel graw joints</i>	132
Owais Mujtaba Khanday, Dr. Samad Dadvandipour: <i>Application of SVM and MLP classifiers for handwritten character recognition</i>	140
Pusztai Tamás, Siménfalvi Zoltán: <i>Rugóterhelésű biztonsági szelep felhajtóerejének meghatározása CFD szimulációval</i>	148

Rónai László: <i>Intelligens robotmegfogó elektronikai rendszerének tervezése</i>	157
Spisák Bernadett, Szávai Szabolcs, Siménfalvi Zoltán: <i>Hegesztés vizsgálata numerikus módszerekkel</i>	163
Walelign Tewabe Sewunetie, László Kovács: <i>A comparative survey of automatic question generation techniques</i>	173
Wallyson Thomas, Zsombor Fülöp, Attila Szilágyi: <i>Passive damping techniques for vibration suppression in boring operation with long overhangs</i>	177
Mohammad Zaher Akkad, Tamás Bányai: <i>Industry 4.0 in waste management</i>	183

HEGESZTÉS VIZSGÁLATA NUMERIKUS MÓDSZEREKKEL

Spisák Bernadett¹, Szávai Szabolcs², Siménfalvi Zoltán³

¹doktorandusz hallgató, junior kutató^{2,3} PhD, egyetemi docens,
²osztályvezető

^{1,3} *Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Gépészmérnöki és Informatika
Kar,*

² *Gép- és Terméktervezési Intézet, Gépészmérnöki és Informatika Kar*

^{1,2} *Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.*

Szerkezetintegritás és Gyártástechnológia Osztály

¹*vegysb@uni-miskolc.hu*, ²*szabolcs.szavai@bayzoltan.hu*, ³*vegysi@uni-
miskolc.hu*

ABSZTRAKT

A hegesztési maradó feszültségek fontos szerepet játszanak a szerkezetek üzemeltetése közben bekövetkező degradációban és idő előtti tönkremenetelükben. Ezért a cikkben egy hegesztési varrat szimulációjához szükséges lépések kerülnek bemutatásra, ezek közül is főként a hőforrás validálásának a menete, mivel ez szükséges a jövőben elvégzendő további szimulációkhoz.

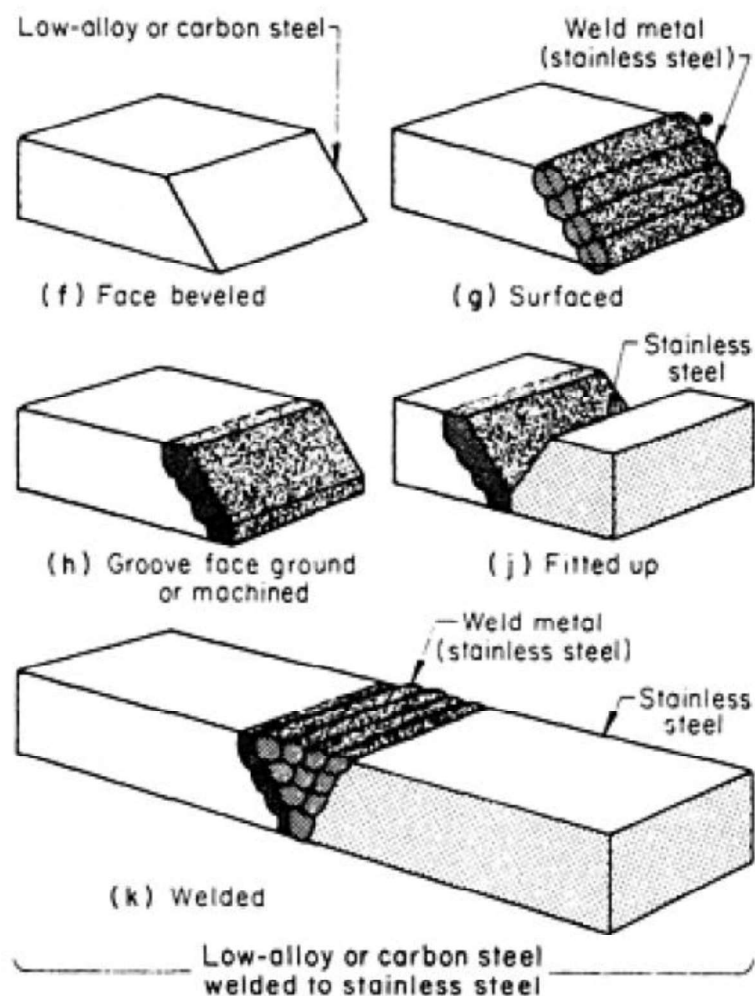
1. BEVEZETÉS

A hegesztési maradó feszültségek fontos szerepet játszanak a szerkezetek üzemeltetése közben bekövetkező degradációban és idő előtti tönkremenetelükben. Erre jó példa a magas hőmérsékleten üzemelő, gázhűtéses reaktorokban keletkező kúszásos repedésterjedés, vagy a nyomottvízes reaktorban létrejövő feszültségkorróziós repedés, amit a szerkezetben fellépő feszültségek okoznak. Az üzemelés során keletkező problémák gyakran a hegesztett kötés utólagos javításainál jönnek létre, mivel ezeken a területeken nagy maradó feszültségek keletkezhetnek az alkalmazott technológiai eljárás következtében, amellett hogy a maradó feszültséget csökkentő utó hőkezelés is csak korlátozottan valósítható meg. A hagyományos hegesztési eljárásokkal készített szabványos kialakítású varratok esetén a maradó feszültségek meghatározására már léteznek kidolgozott módszerek. Azonban a megbízható előrejelzésük még nehéz, főleg bonyolult szerkezeteknél, ahol a technológia széles akár többretegű nem szabványos varratkialakítást igényel, mint például a javító hegesztések esetén, vagy a nagy hegesztési deformációval rendelkező, vékonyfalú szerkezetek esetén. Mindamellett a maradó feszültségekre még hatással lehetnek az üzemelés során jelen lévő igénybevételek is, melyre jelenleg még nincs elfogatható módszertan kifejlesztve, ugyanakkor a probléma numerikus eljárásokkal jól vizsgálható. A numerikus szimulációknak ilyen összetett technológia esetén megvannak a korlátai, ezért az adott cél elérése érdekében a sztenderd eljárások továbbfejlesztése szükséges, mely magában foglalja a technológiai paraméterek implementálását és az alkalmazott anyagmodelleket is. Ehhez szükséges egy valós varrat vizsgálata, amelyhez megfelelően elkészített hegesztési utasítás tartozik. A következőkben a hegesztési utasítás alapján szükséges számítások bemutatására kerül sor. A maradó feszültségek illetve üzemeltetés során keletkező terhelések vizsgálata előtt,

szükséges a hegfürdő méretek validálása azért, hogy ellenőrizhető legyen, hogy az alkalmazott vonalenergia megfelelő mértékben beolvasztja-e az alapanyagot. A cikkben egy heterogén hegesztett kötés esetén a hőforrás validálásának menetét ismertetjük, mivel ennek bemutatása szükséges a jövőben elvégzendő további szimulációkhoz.

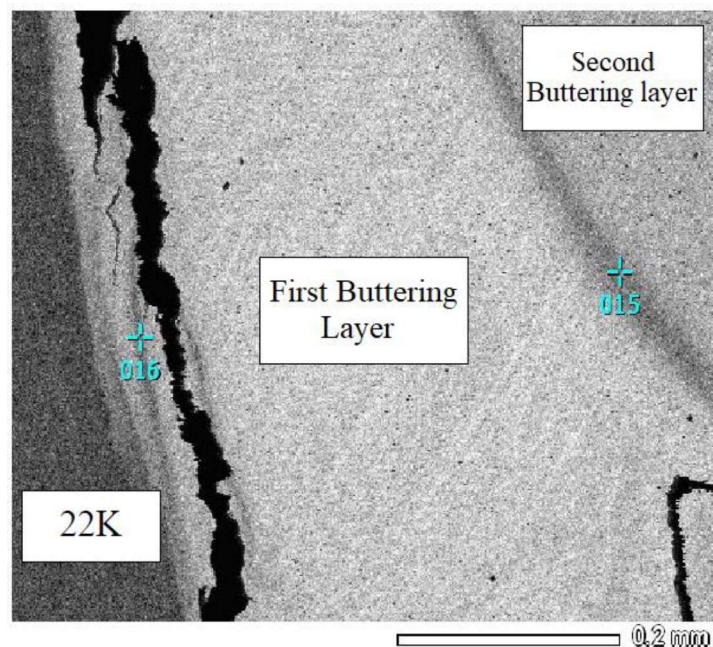
2. HETEROGÉN HEGESZTETT KÖTÉS

A heterogén hegesztett kötések esetében két különböző fémet hegesztünk össze. Erre példa a ferrites és ausztenites korrózióálló acél összehegesztése. Menetét az 1. ábra mutatja be. Első lépés a szénacélon vagy gyengén ötvözött acélon egy vajazó réteg elhelyezése, amely megfelelő korrózióálló acél (kis mennyiségben tartalmaz Cr-t). Ennek száma változó általában 2-3 vajazóréteget használnak. Szükséges feszültségmentesítő eljárások alkalmazása a komponensen. Ezt követően végezhető csak el a két anyag összehegesztése, ahol a vajazóréteget az ausztenites acéllal hegesztjük össze.



1. ábra
Heterogén hegesztett kötés [1]

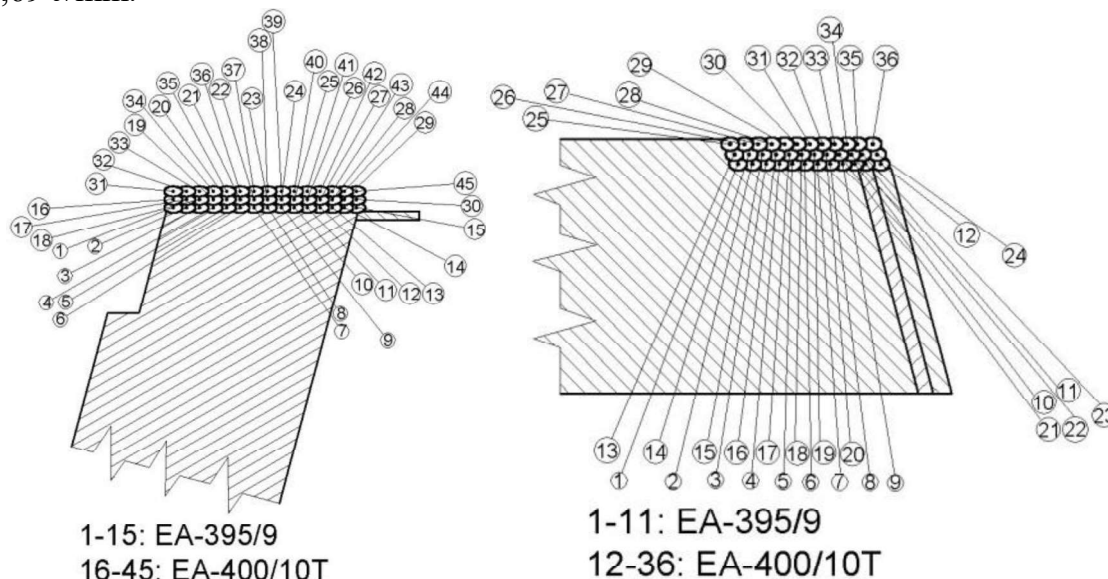
Ilyen heterogén hegesztett kötések a nukleáris iparban is megtalálhatók, ahol számos esetet feljegyeztek, hogy a varrat mentén repedések észlelhetők, a vizsgálatok alapján feszültségkorróziós repedések alakultak ki ezeken a területeken. Ez megjelenhet BWR (boiled water reactors) és PWR (pressurized water reactor) esetében is. Egyik példa a VVER 440-es üzemekhez kapcsolható, ahol a gőzfejlesztő tranzienis varratában jött létre ilyen típusú repedés, amelyet a 2. ábra szemléltet. Ebben az esetben a javítási költségek nagyon magasak lennének, ezért szükséges annak meghatározása, hogy a repedés mennyi idő alatt ér el egy kritikus értéket, amelyhez szükséges a korábban említett maradó feszültségek illetve üzemi terhelések hatásának a vizsgálata, mivel feszültségkorróziós repedés egyik alapfeltétele a feszültségek jelenléte. Ehhez szükséges a varrat hegesztési szimulációjának elkészítése. A következőkben az ehhez szükséges lépések kerülnek bemutatásra.



2. ábra
Gőzfejlesztő tranzienis varrata [2]

3. HEGESZTÉSI PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

A hegesztési szimuláció elkészítéséhez szükséges az egyes paraméterek meghatározása. A gőzfejlesztő kollektor vizsgált varratában 22K minőségű nemesíthető szerkezeti acél (névleges karbon tartalma: 0,22 %) és ausztenites korrózióálló acél (08H18N10T jelű, 18/10 – es csoportba tartozó, 0,08% karbon tartalmú, titánnal stabilizált acél) van összehegesztve, ahol két párnaréteget különíthető el. Az első párnaréteg (3. ábra bal oldal) három varratsorból tevődnek össze, ahol a párnaréteget EA-395/9 hegesztőanyagból helyezték fel a szénacélra, ehhez 45 varratsorra van szükség, ahol az első varratsor vastagsága 3 ± 1 mm, így a teljes felrakott réteg vastagsága 9 ± 1 mm. Az első varratsorra (1-15 varrat) alkalmazott áramerősség és feszültség: 125-135 A, 24-25 V. Az áram neve és polaritása: DCEP, a vonal-energia 0,61 J/mm. Az első párna réteg többi varrataira (16-45 varrat) érvényes hegesztés-technológiai adatok a következők: alkalmazott áramerősség és feszültség: 140-150 A, 25-26 V, áram neve és polaritása: DCEP, a vonal-energia 0,69 J/mm. Ezt követi a második párna réteg (3. ábra jobb oldal), ami eltérően az előző szakasztól csak 36 varratsort foglal magába, a teljes felrakott valamint az első varratsor vastagsága megegyezik az előző esettel. A hegesztés-technológiai adatok az 1-11 varratra: alkalmazott áramerősség és feszültség: 125-135 A, 24-25 V, áram neve és polaritása: DCEP, a vonal-energia 0,61 J/mm. A hegesztés-technológiai adatok az 12-36 varratra: alkalmazott áramerősség és feszültség: 140-150 A, 25-26 V, áram neve és polaritása: DCEP, a vonal-energia 0,69 J/mm.

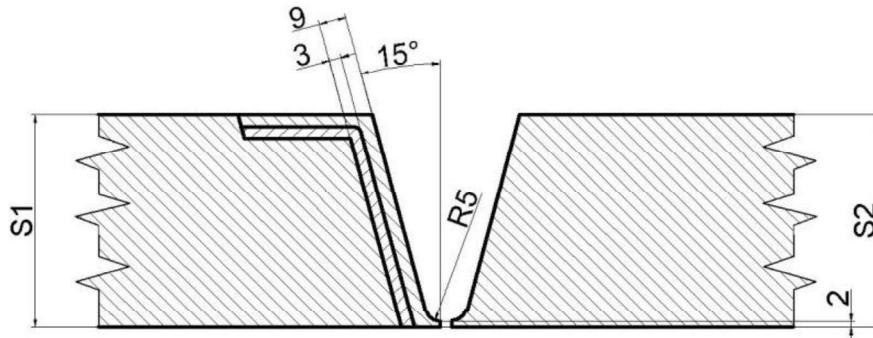


3. ábra

GF kollektor alsó tranzien varrat első párna rétege (bal oldalon), második párna rétege (jobb oldalon)

A két párna réteg hegesztését követően készül el a gyök varrat majd a kötést biztosító fedő rétegek kerülnek a helyükre. A csónk varrat felüli oldalai a hegesztési kötéseknek megfelelően elő munkáltak. A két csónk elhelyezkedését a 4. ábra mutatja be. A kötő rétegre alkalmazott hegesztés-technológiai adatok a következők.

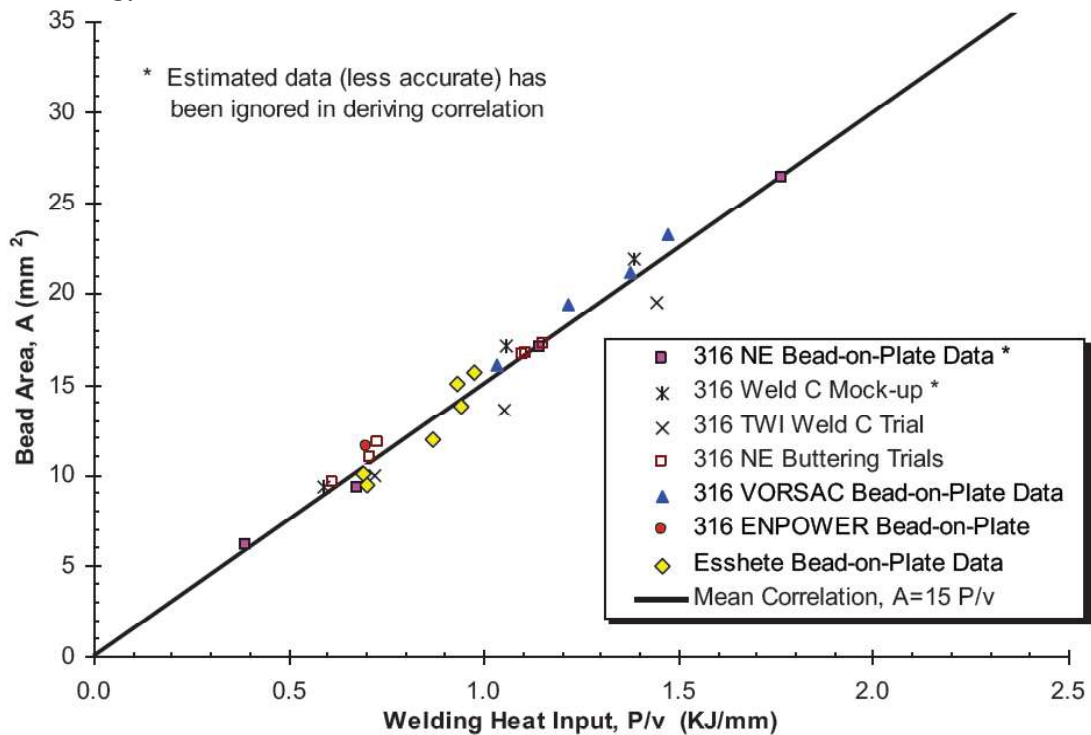
A gyök varratra: áramerősség és feszültség: 70-80 A, 24-25 V, áram neme és polaritása: DCEN, a vonal-energia 0,61 J/mm. A töltő és takaró varratok esetében a következő technológiai adatok érvényesek: áramerősség és feszültség: 140-150 A, 25-26 V, áram neme és polaritása: DCEP, a vonal-energia 0,69 J/mm.



4. ábra

S1 és S2 jelű csőcsenk elhelyezkedése, a kötés kialakítása

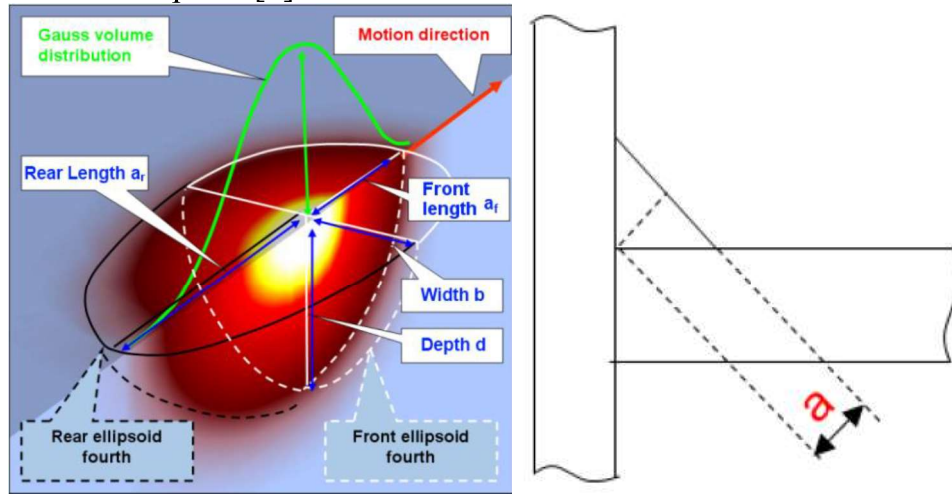
Az alsó tranziens varratok hegesztésének számítógépi szimulációjának felépítéséhez, az előzetesen elkészített hegesztési utasítások szolgáltak alapul. A hegesztési utasítások részletesen tartalmazzák az alaplemezek, a párna rétegek és kötés geometriáját valamint a hegesztés technikai jellemzőket, amelyek a modell peremfeltételeinek meghatározása szempontjából is fontosak, mivel ennek segítségével határozható meg a hőforrás mérete. Az 5. ábra a hőbevitel és a hőforrás méretének arányát mutatja be, amely alapján a gőfejlesztő tranziens varrata esetén is meghatározható egy közelítő érték a hőforrás méretére.



5. ábra

Hőbevitel és a hőforrás méretének aránya AISI 316-os típusú illetve Esshete 1250 korrózióálló acél hegesztéséhez [3]

A hegesztési szimulációk során leggyakrabban a J. Goldak és társai által kifejlesztett modellt alkalmazzák, ahol a hőforrás eloszlása az energiasűrűség Gauss-féle eloszlásán alapszik [4].



6. ábra

Hőforrásmodell (bal), „design throat” (jobb)

Az első koncepció a hegesztés szimulására ellipszis alakú hőforrás használatán alapult, azonban a kapott eredmények nem egyeztek meg az elvégzett kísérletekből származó eredményekkel, a hőmérséklet gradiens a hőforrás előtt nem volt annyira lapos amilyenre számítottak. Ezért az új modellben két ellipszis kombinálását ajánlották Goldak és társai. Az energiaeloszlást a hőforrás előtt a következő egyenlettel lehet leírni [4]:

$$q(x, y, z, t) = \frac{6\sqrt{3}f_f Q}{b a_f d \pi \sqrt{\pi}} e^{-3x^2/b^2} e^{-3y^2/d^2} e^{-3[z+v(\tau-t)]^2/a_f^2} \quad (1)$$

Illetve a hátsó ellipszisre is felírható egy hasonló egyenlet:

$$q(x, y, z, t) = \frac{6\sqrt{3}f_r Q}{b a_r d \pi \sqrt{\pi}} e^{-3x^2/b^2} e^{-3y^2/d^2} e^{-3[z+v(\tau-t)]^2/a_r^2} \quad (2)$$

ahol:

f_f az elülső részbe található hő hányada,

f_r a hátsó részbe található hő hányada,

Q bevitt energia [W],

τ lemaradási tényező a hőforrás pozíciójának definiálására $t=0$ időpillanatban,

v hegesztés sebessége [m/s],

a_f hőforrás elülső részének hossza,

a_r hőforrás hátsó részének hossza,

b hőforrás szélessége,

d hőforrás mélysége.

Itt az egyenletek egy fix koordináta rendszerben vannak felírva. A fix és a mozgó rendszer között a transzofránció a következő egyenlettel valósítható meg:

$$\xi = z + v(\tau - t). \quad (3)$$

Ezekből az egyenletekből látható, hogy a szimuláció elvégzéséhez szükséges a hőforrás elülső részének hossza, a hátsó részének a hossza, a szélessége illetve a mélysége. A mélység és a szélesség mikroszkópos kép alapján meghatározhatók, és a további értékek a következő képletekkel számíthatók:

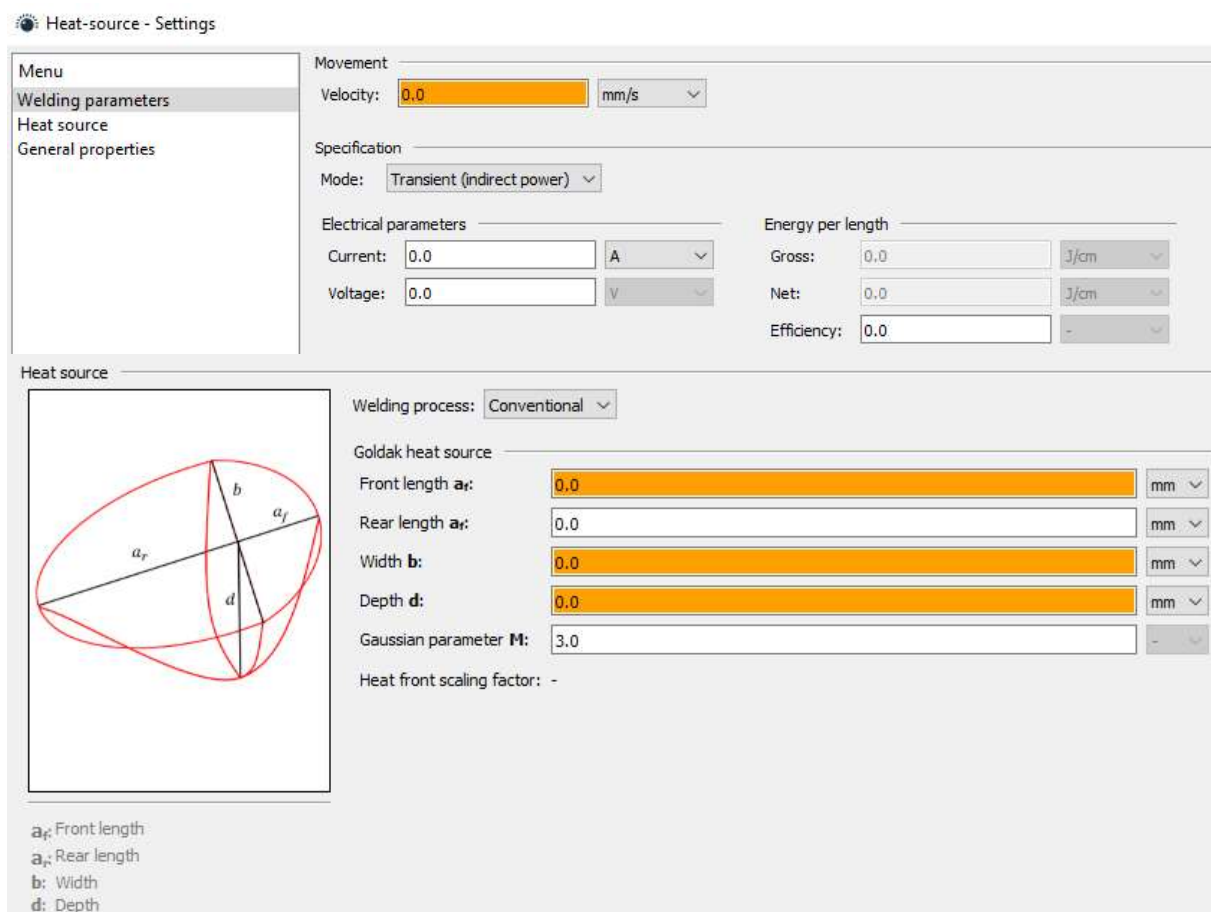
$$a_f = 0.6b, \quad (4)$$

$$a_r = 2.0 \dots 2.5b. \quad (5)$$

Abban az esetben, ha nem tudjuk meghatározni pontosan a hőforrás szélességét és mélységét, akkor az úgynevezett „design throat” paraméter alkalmazható ezeknek közelítésére, amely a 6. ábra jobb oldalán látható. Így a szélesség és a mélység a következőképpen számítható:

$$d = a + 2.0 \dots 5.0 \text{ mm}, \quad (6)$$

$$b = a + 1 \dots 2 \text{ mm}. \quad (7)$$

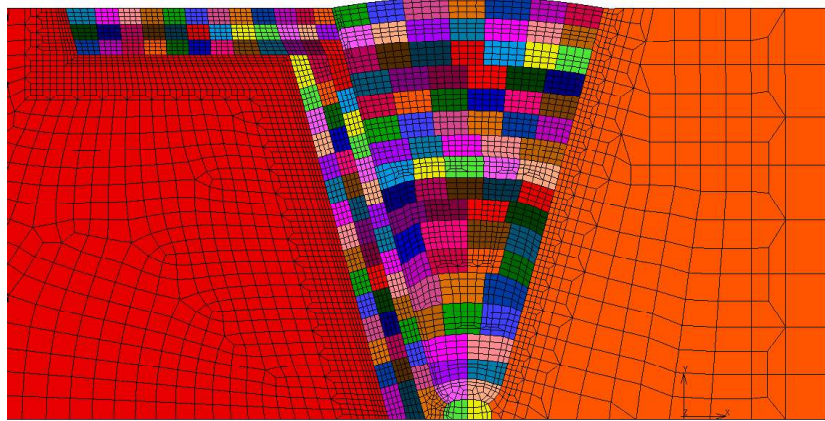


7. ábra
Hegesztési paraméterek

A további paramétereket, amelyek szükségesek a szimuláció elvégzéséhez a 7. ábra szemlélteti, ezeknek az értékeit már a korábbiakban ismertettük.

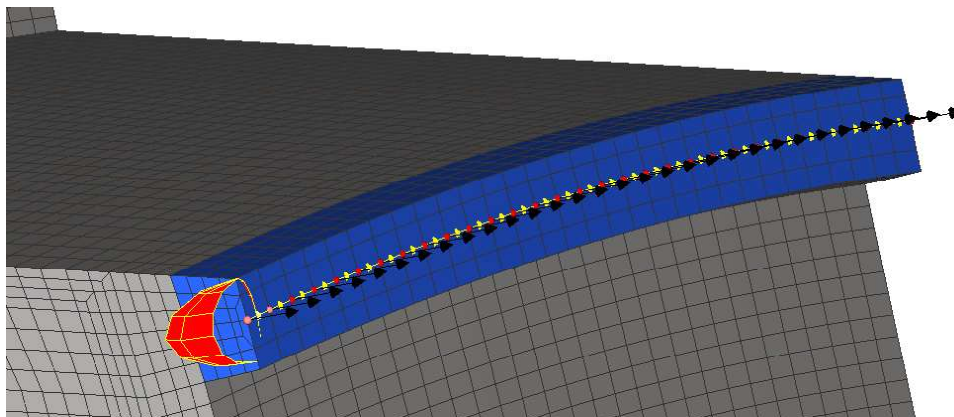
4. HEGESZTÉS SZIMULÁCIÓ

A hőforrás geometriájának meghatározását követően a varrat végelem hálóját készítettük el, amelyet a 8. ábra szemléltet. Látható, hogy a varrat kialakítás mellett a modell tartalmazza a párnarétegeket is. Ezt követően a 3D-s modell felépítését a Simufact Welding 8.0 szoftverben készítettük el.



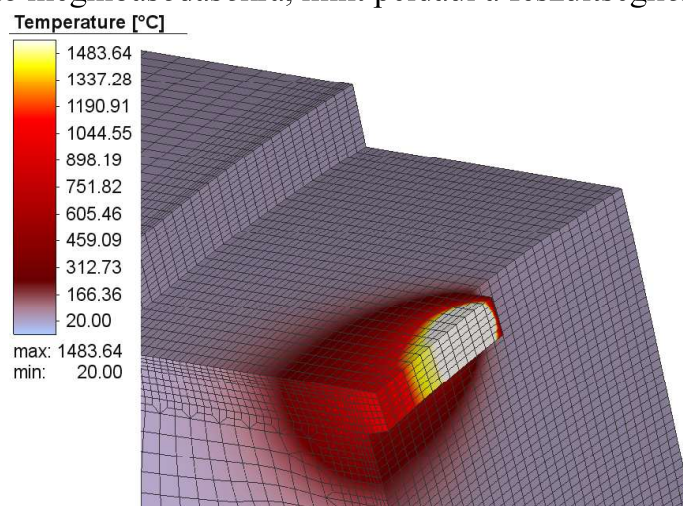
8. ábra
Varratok végelem hálója

A beállítások során a következő lépéseket szükséges elvégezni. Minden egyes varrat esetén külön robotot kell beállítani, amely során szükséges a hegesztés útvonalának a megadása, ezt mutatja be 9. ábra, ahol a párnaréteg felrakóhegesztése látható. A varrat geometriai kialakítására több lehetőség is rendelkezésre áll, például egy meglévő alak importálása vagy a méretének a megadása adott paraméterek segítségével, amellyel a program automatikusan legenerálja a szükséges kitöltést. Ezt követően kell beállítani a hegesztési paramétereket, amely magába foglalja a hegesztési sebességet, az áramerősséget, a feszültséget illetve a hatásfokot, amelyek segítségével a program meghatározza a vonalenergia értékét. A következő lépésben pedig a Goldak féle hőforrás méreteinek a megadása szükséges. Ezek a korábban bemutatott képletekkel számolhatók, illetve az adott korlátozások között változtathatók. Ezek variálásával kialakítható a megfelelő belovadás.



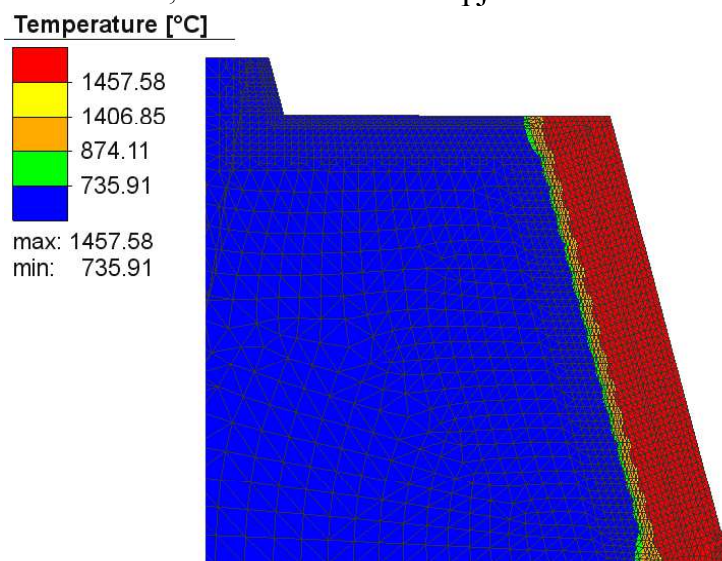
9. ábra
Hegesztés útvonala

Ezen paraméterek beállítását illetve a hűlési idők megadását követően a model futtatásra kész. A 10. ábra egy varrat esetében a hőforrás előrehaladását mutatja be, ebből leellenőrizhető, hogy a hűtési idő elegendően hosszú e, mivel abban az esetben ha a darab nem kap elegendő időt a hűlésre akkor, a ferrites anyag kilágyulhat, illetve króm karbid kiválások öhetnek létre, amely hatására az anyag érzékenyebbé válik különböző meghibásodásokra, mint például a feszültségkorróziós repedésre.



10. ábra
Hőforrás előrehaladása

A 11. ábra az első párnaréteg esetén mutatja be a beolvasztott területeket, a Goldak féle ellipszisek méreteinek változtatásával látható, hogy az alapanyagot beolvasztása sikeresen megtörtént. Abban az esetben ha ez nem valósul meg, akkor azokon a területeken, ahol a hőmérséklet nem érte el az acél olvadáspontját a későbbi szimulációk során nagymértékű maradó feszültségek jönnének létre, ezért mindenképpen fontos a hegesztési paraméterek illetve a hőforrás méretének a helyes megválasztása a valós, elkészített minta alapján.



11. ábra
Beolvasztott terület az első párnaréteg esetén

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben a hegesztési szimulációkban szükséges paraméterek meghatározását mutattam be, majd ezt követően a hőforrás paraméterek validálásának a szimulációját részleteztem, amely szükséges ahhoz, hogy megfelelően tudjuk meghatározni a hegesztésből származó maradó feszültségek értékét.

További cél az, hogy hegesztés során keletkező maradó feszültségére vonatkozó szimulációk továbbfejlesztése. Az üzemelés során jelen lévő igénybevételek befolyással vannak a maradó feszültségekre, így a szerkezet élettartamát lecsökkenthetik. Így ezen terhelések maradó feszültségekre gyakorolt hatásnak leírása fontos, amelyből meghatározható, hogy az eredeti maradó feszültség profilok hogyan fognak megváltozni különböző működési körülmények között, így a különböző szerkezetek élettartama pontosabban meghatározható lesz.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka „AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-19-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”



IRODALOMJEGYZÉK

- [1] ASM Handbook Volume 6 **Welding Brazing and Soldering**
- [2] **Анализ и исследование характера и причин повреждений сварных соединений №111(ПГВ-1000) и №23(ПГВ-440)** Москва, март 2012
- [3] BOUCHARD, P. J., **Validated residual stress profiles for fracture assessments of stainless steel pipe girth welds**, Int Jnl Press Vess and Piping 84(4), 195-222 (2007)
- [4] GOLDAK, J., CHAKRAVARTI, A., BIBBYA, M., **New Finite Element Model for Welding Heat Sources Metallurgical Transactions B**, (1984) 15: 299. <https://doi.org/10.1007/BF02667333>