

HEGESZTÉSI SZIMULÁCIÓK TAPASZTALATAI

EXPERIENCES OF WELDING SIMULATIONS

Dömötör Dávid*, Tóth Dániel*, Farkas Róbert Dávid*, Horváth Dániel**, Dr. Hány András***

ABSTRACT

The goal of the research was to validate a real welding project using measurements and numerical simulation (Final Element Method). The purpose was to confirm that the welding task requirements match the measured behaviour (mainly the displacement and the Heat Affected Zone) and to document the verification process.



1. ábra A lemezek lefogatása

1. BEVEZETÉS

A projekt első szakaszának feladata volt a hegesztési környezet megismerése és a feladat szimulációs körülményeinek feltárása volt. Ezt kezdetekben a szükséges szakmai megalapozás, mint például a kapcsolódó hegesztésméleti szakirodalom kutatása, illetve a szimulációs szoftverek ipari piacon belül betöltött szerepének megismerése jelentette. Ezt követte a szimulációs műveletek kidolgozása és a szimulációk lefuttatása, majd kiértékelése. A kutatás sajátossága volt, hogy a szimulációs környezetet az előzetesen elkészített, valós ipari környezetben létrehozott darabok alapján kellett megalkotni. Ezáltal a kutatás fő eredménye, hogy a létrehozott szimulációs következtetések és a kidolgozott technológiai szimulációs modell alapján további kutatások és pontosabb szimulációk végezhetők a jövőben.

2. A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ VALÓS TERMÉK ADATOK

2.1. A hegesztés paraméterei

A kutatás feladata annak elemzése volt, hogy azonos technológiai paraméterek mellett, különböző MAG hegesztési technológiák (impulzusos és nem impulzusos) és eltérő hegesztőberendezések hogyan befolyásolják a hegesztett munkadarab deformációját és varratgeometriáját. [1]-[4]

A hegesztési teszthez használt **S235** lemezek mérete 125x100x10 mm volt, melyek összehegesztése tompa varrattal történt, a lemezek 60°-os leélezés került kialakításra.

Az eljárás során alkalmazott hegesztési paraméterek:

- Feszültség: 21 V
- Áramerősség: 130 A
- Huzal előtolás: 4,1 m/perc
- Huzal típus: G3SI 1,2
- Ívhossz korrekció: 1
- Gázáram: 13 l/perc

2.2. Az elmozdulások paraméterei és csiszolati képek

1. táblázat A vizsgálat során mért deformációk

	Megnevezés	Pont pozíció			Relatív elmozdulás (mm)	Hegesztési sebesség (cm/min)
		x	y	z		
I: 1. gép-impulzus	F1	0,184	0,083	2,847	2,862	16,30
	F2	0,086	0,032	1,268	1,271	16,30
	F3	0,241	0,05	1,853	1,869	17,86
	F4	0,089	0,093	0,431	0,45	17,86
	F5	0,198	0,552	0,034	0,587	18,29
II: 1. gép-nem impulzus	FS1	0,08	0,284	0,893	0,94	17,86
	FS2	0,02	0,038	0,652	0,653	17,05
	FS3	0,291	0,154	0,666	0,743	17,44
	FS4	0,127	0,022	0,623	0,636	18,29
	FS5	0,161	0,174	0,53	0,581	16,67
III: 2. gép-impulzus	V1	0,507	0,516	0,963	1,204	17,44
	V2	0,284	0,159	0,584	0,669	19,74
	V3	0,122	0,247	0,191	0,335	19,23
	V4	0,005	0,042	1,267	1,268	17,44
	V5	0,22	0,239	0,216	0,39	19,23

* ZalaZONE Ipari Park Zrt. duális mérnök hallgató – Pannon Egyetem

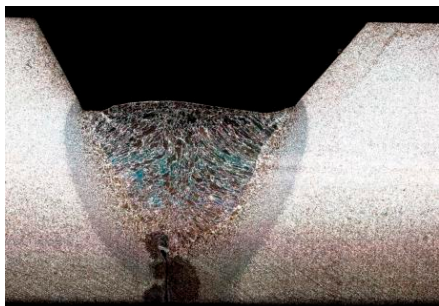
** TC-Zone Mérnöki Kft., vezető mérnök

*** ZalaZONE Ipari Park Zrt. vezérigazgató

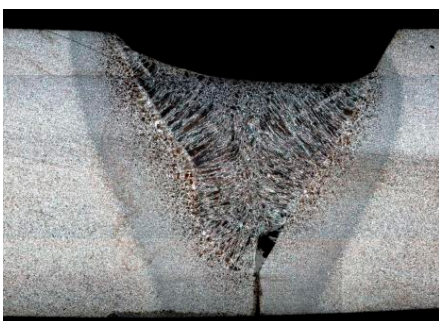
Az elkészült varratok mikroszkópos vizsgálatának képei a 2-4. ábrákon láthatók.



2. ábra 1.gép impulzusos varratgeometria



3. ábra 1.gép nem impulzusos varratgeometria

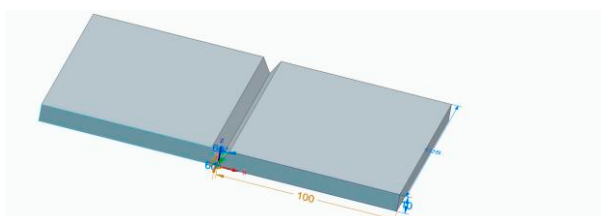


4. ábra 2.gép impulzusos varratgeometria

3. SZIMULÁCIÓ KIVITELEZÉSE

3.1. A modellek megalkotása

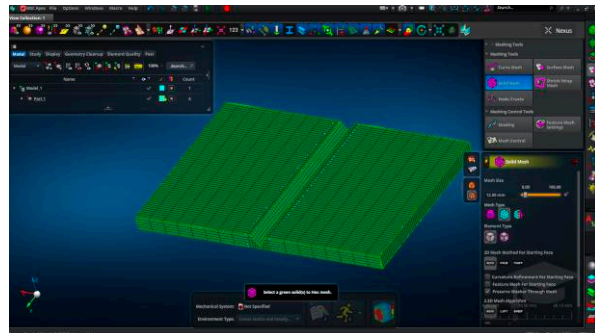
A szimulációhoz szükséges termékmodelleket létre lehet hozni CAD tervező programok segítségével, a jelen esetben ez a *SolidEdge* szoftverrel történt. Fontos volt, hogy ezeket .stl vagy .STEP/ .STP fájlformátumba kellett kimenteni a szimulációs szoftverhez.



5. ábra Az adott lemezek geometriája, összeillesztett állapotban

3.2. A modellek hálózása [Meshing]

A modellek hálózásához a *Hexagon: MSC Apex 2024.1. Student Edition* szoftverét volt ideális alkalmazni, mivel a szimulációhoz használt Simufact Welding ezzel kompatibilis, illetve ez a hálózó szoftver kifejezetten a FEM [Final Element Method] szoftverekhez készült.



6. ábra Modell a hálózási folyamat végétével

A létrehozott, lehálózott modellt .bdf formátumban szükséges exportálni az alkatrészeire, ügyelve a helyes SI mértékegység megadására. (A Simufact a továbbiakban a .bdf formátumú modelleket jól tudja kezelni.) A varrat és a hőhatásövezet mentén célszerű minél részletesebb hálózást megadni, mivel a főbb termikus- és azokból létrejövő fizikai/ mechanikai hatások ott jönnek létre [5]-[7]. Annál pontosabb számítást tud létrehozni a szimuláció, minél kisebbek, minél részletesebbek az egyes kvantált részek, ugyanakkor így értelemszerűen nő a számítási idő. A nagyobb rácsozatú hálózás a geometria hátralévő részén, a szimuláció gyorsabb lefuttatását segíti elő. Az eljárás során reprezentatív szimulációkkal tesztelve került meghatározásra, hogy melyik modell adja a legpontosabb és mégis viszonylag gyors szimuláció lefutást.

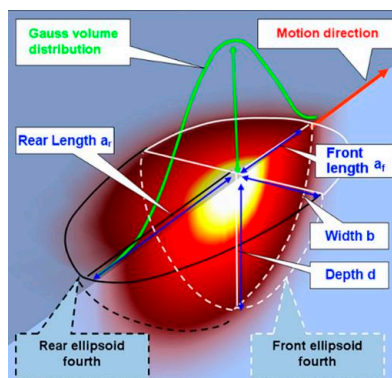


7. ábra Varratgeometria hálózása

3.3. A szimuláció felépítése

A kutatási projekt során alkalmazott Simufact program a gyártani kívánt termékek hegesztési szimulációjával hozzájárul a technológia költséghatékonyságához a gyakorlatban. A szoftver segítségével különféle anyagok hegesztése szimulálható és kimutatható azok hegeszthetősége, valamint elemezhető a geometriai elváltozások mértéke. A

Simufact Welding előnye, hogy több évtizede tesztelt és jóváhagyott hőforrásokat használ. Ezek a hőforrás modellek lényegében az olvadt fémfűrdő belsejében létrejövő energiaeloszlás matematikai leírásai.



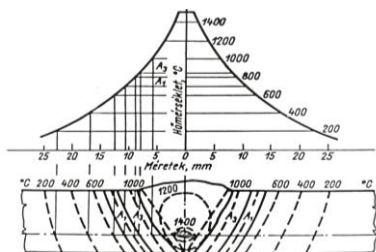
8. ábra Ívhegesztéshez használt Goldak modell paraméterei

Méretük meghatározása a szoftver ajánlása szerint, a valós geometriák méretei alapján történt, ahol:

- b = a hegfűrdő szélességének a fele
- d = varrat magassága
- $a_f = 0,6 \cdot b$
- $a_r = 2 \dots 2,5 \cdot b$ [8]

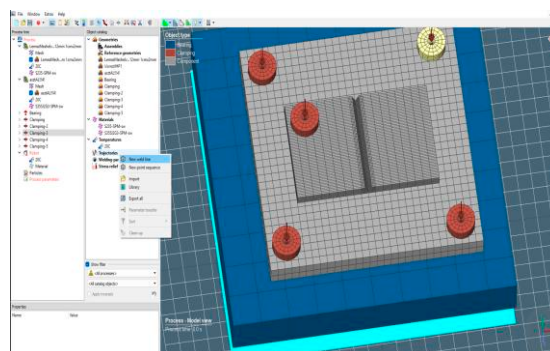
A kialakuló varratgeometria során a következő, szakirodalmi alapú technológiai sajátosságokat vettük figyelembe:

„A hegesztés során olyan hőmérséklet- eloszlással van dolgunk, amelyet a 8. ábrán tüntettünk fel. A vonalkázott folt a hőforrás, ill. a folyékony állapotban lévő anyag pillanatnyi elhelyezkedését jelenti. E körül a legmelegebb folt körül helyezkednek el a kisebb hőmérsékletű izotermák, amelyeket a varrat keresztmetszetének síkjában szemléltetünk. A varrat közelében az alapanyag az ugyancsak bejelölt A_3 hőmérséklet fölé melegszik; itt az alapanyag ausztenitesedik, mégpedig annál durvább szemcsenagysággal, minél nagyobb a hőmérséklet. A réstől távolabb a felmelegedés csak A_1 -et haladja meg, A_3 -at azonban már nem. Ebben a részben az alapanyag perlitje ausztenitté alakul, a ferrit oldódása azonban nem fejeződik be; az alapanyagban az A_1 izotermán is kívül eső részében átalakulás nincsen, itt legfeljebb olyan változás lehetséges, amely A_1 -nél kisebb hőmérsékleten megy végbe (szegregációs folyamatok, öregedés) [9].”



9. ábra A hőmérséklet eloszlása az ívhegesztés körül

A szimulációban létrehozott, a valósággal közel megegyező környezet tartalmazta annak technikai és fizikai paramétereit egyaránt.



10. ábra Geometriák és szimulációs környezet felépítése munkafolyamat közben

3.4. A szimuláció futtatása

A futtatni kívánt szimulációk csoportokra bontása a hegesztési típus, hatásfok, hegesztési sebesség szerint történt. A hegesztés során (oszillátorral) monitorozott áramerősség átlaga, illetve egységes feszültség a 2. táblázatban került összefoglalásra.

2. táblázat

Fő jellemzők	1. gép, Impulzusos			1. gép, Nem impulzusos			2. gép, Impulzus		
Hegesztési paraméter	Áramerősség: 138,63A Feszültség21V			Áramerősség: 139,6A Feszültség21V			Áramerősség: 177,08A Feszültség21V		
Hatásfok	0,75	0,8	0,85	0,75	0,8	0,85	0,75	0,8	0,85
Mért Hegesztési sebesség (v _c) [cm/min]	16,3	16,3	16,3	16,67	16,67	16,67	17,44	17,44	17,44
	17,44	17,44	17,44	17,44	17,44	17,44	19,23	19,23	19,23
	18,29	18,29	18,29	17,86	17,86	17,86	19,47	19,47	19,47
Átlagos Hegesztési sebesség (v _c) [cm/min]	17,322	17,322	17,322	17,462	17,462	17,462	18,616	18,616	18,616

További paraméterként, minden esetben a:

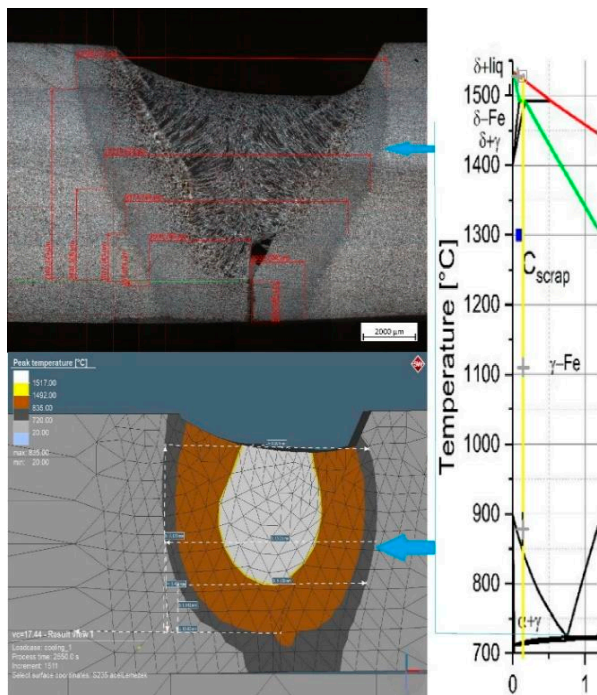
- huzalelőtolási sebességet: 4,1 [m/ perc],
- huzalátmérőt: 1,2 [mm],
- védőgázáramot: 13 [l/perc]

értékre állítottuk be.

A szimulációban egyéb eltérések már csak a varratgeometriákban, illetve a hegesztőhuzal dőlési szögében voltak.

4. EREDMÉNYEK VALIDÁLÁSA

A legjobban sikerült szimulációs eredményeket, melyek deformációban a legkisebb hibaszázalékos eltérést adták összehasonlítva a valós eredményekkel további vizsgálatoknak vetettük alá (hőhatásövezet mérete, beolvadás aránya, fázisátalakulások léptéke). A termikus határokat [8] és [10] szakirodalmak alapján határoztuk meg.



11. ábra A csiszolati- és szimulációs hőhatásövezet összevetése méretekkel

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Mivel a tényleges darabok nem kimondottan erre a hegesztési szimulációs projektre készültek, ezért származtak ebből adódó eltérések, ezek megfontolásai a következők:

- csiszolati képek kimondottan ott készültek, ahol értékelhető hegesztés történt, így azok ideális keresztmetszete került be a szimulációs varratsorra;
- a gyakorlatban készült darabon kézi hegesztést alkalmaztak, amely kevésbé jó minőségű, mint például egy hegesztőroboté;
- kapott 3 db csiszolati kép közül nem volt előzetes információ, hogy azok melyik konkrét hegesztési sebességhez tartozó varrathoz tartoztak, így számos reprezentatív szimulációra volt szükség.

Ezen szimulációk (összesen 42 db) összesen: 723 óra 57 perc 27 másodperc [~30nap] lefutási időt-, és több mint 2TB tárhelyet vettek igénybe.

6. SUMMARY

Since the industrial parts were not specifically prepared for this welding simulation project, there were some challenges and deviations, considerations are:

- the sample images were prepared specifically where the evaluable weld occurred, so their ideal cross-section was used along the simulated weld line;
- manual welding was used, which results in less stable quality than, for example, a welding robot;
- furthermore, among the 3 sample images we received, there was no information forehand, which specific weld belongs to which welding speed, so many representative simulations were needed.

These simulations (42 in total) took a total of 723 hours 57 minutes 27 seconds [~30 days] of runtime and more than 2 TB of storage.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen projekt a ZalaZONE Ipari Park Zrt. és a Pannon Egyetem Zalaegerszegi Egyetemi Központ támogatásával készült. Kiemelt köszönet illeti Dr. Hány András, Horváth Dánielt, Szabó Rolandot, Balogh Diánát és Decsi Pétert a mentorálásért és segítségért.

8. IRODALOM

- [1] Bermejo M. A. V. (2015): Effect of welding position on properties of duplex and superduplex stainless steel circumferential welds; International Institute of Welding; 2015
- [2] Gáspár, M. (2019): Effect of Welding Heat Input on Simulated HAZ Areas in S960QL High Strength Steel; 2019
- [3] Kristóf, Cs. (2017): Ívhegesztés hőbevitelének meghatározása és mérése, Hegesztéstechnika XXVII. Évf. 2017. 3. szám
- [4] Kumar A., Debroy T. (2007): Heat Transfer and Fluid Flow during Gas-Metal Arc Fillet Welding for Various Joint Configurations and Welding Positions; The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International; Vol. 38A pp. 506-519; 2007
- [5] M. Matuszewski, R. Koňár, D. Harmanik, and A. Zaborski, „Computational methods of heat affected zone determination during Arc Weld surfacing”, METAL 2020, 2020, p. 381–386. doi: 10.37904/metal.2020.3531.
- [6] Y.-H. Han, H.-B. Lim, T.-S. Shin, és H.-I. Yang, „Prediction of Welding Deformation Using the Thermal Elastic–Plastic Finite Element Method by Considering Welding Interpass Temperature”, Materials, köt. 17, sz. 15, o. 3656, júl. 2024, doi: 10.3390/ma17153656.
- [7] C. Pyo, J. Kim, és J. Kim, „Estimation of Heat Source Model’s Parameters for GMAW with Non-linear Global Optimization—Part I: Application of Multi-island Genetic Algorithm”, Metals, köt. 10, sz. 7, o. 885, júl. 2020, doi: 10.3390/met10070885
- [8] Simufact Engineering GmbH: Simufact Welding Tutorial, 2018.
- [9] Dr. Verő József, Dr. Káldor Mihály: Vasötvözetek fémtena, MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, Budapest, 1987, ISBN: 963 10 7160 X
- [10] G. Elzbieta és J. Winczek, „Numerical study of thermal and structural strains in multipass GMAW surfacing and rebuilding”, 2015.