

A TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK HATÁSAINAK VIZSGÁLATA LINEÁRIS DÖRZSHEGESZTÉS NÉL

THE INSPECTION OF EFFECT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS AT FRICTION STIR WELDING

Meilinger Ákos*, Dr. Török Imre**

ABSTRACT

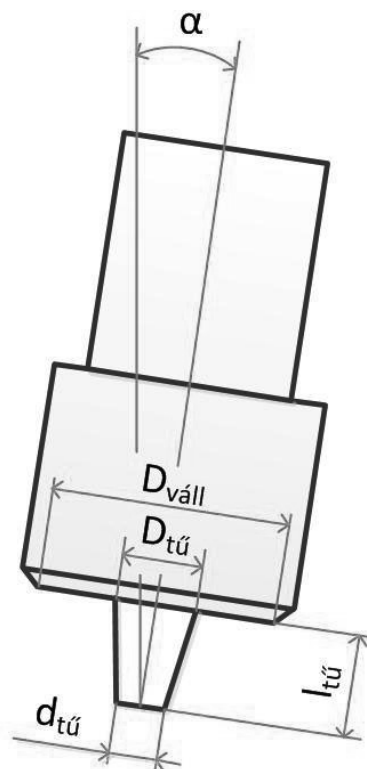
The friction stir welding (FSW) is a dynamically evolved solid-state welding process. There is more and more demand to use this process in the industry. For this reason different welding tasks mean greater challenge to the welding experts. The correct setting of technological parameters and analyzes of its effects is the key to solve these tasks. In addition the modern finite element modeling software can help in these tasks.

1. BEVEZETÉS

A lineáris dörzshegesztés (FSW) egy dinamikusan fejlődő szilárd fázisú sajtoló hegesztő eljárás. A gyors fejlődés többek között annak köszönhető, hogy egyre nagyobb igény lép fel az eljárás alkalmazására. Ebből adódóan, a különböző hegesztési feladatok egyre nagyobb kihívást jelentenek a hegesztő szakemberek számára. A technológiai paraméterek pontos beállítása, azok hatásainak vizsgálata kulcsfontosságú ezen feladatok megoldásában. Ezen kívül a mai modern végeeselemes szimulációs szoftverek is jelentős segítségül szolgálhatnak.

2. AZ ELJÁRÁS TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREI

Az eljárás elve szerint egy speciális kialakítással rendelkező forgó szerszámot beesüllyesztünk az egyesítendő anyagok illesztési vonalába, majd adott fordulatszámmal és előtolási sebességgel mozgatjuk. Tehát látható, hogy fontos technológiai paraméter a fordulatszám, az előtolás sebessége. Nem teljesen technológiai paraméter, de szoros összefüggésben áll velük a szerszám geometriája. A szerszám fő részeit az 1. ábra szemlélteti [1]:



1. ábra. A lineáris dörzshegesztő szerszám technológiai paramétereit befolyásoló részei

Tehát a technológiai paraméterek a következők [1]:

- fordulatszám (n , 1/min),
- előtolási- vagy hegesztési sebesség (v_h , mm/min),
- szerszám geometria:
 - a szerszám váll kialakítás,
 - a szerszám váll átmérője ($D_{váll}$, mm),
 - a szerszám tű kialakítása,
 - a szerszám tű átmérője ($D_{tű}$, $d_{tű}$, mm),
 - a szerszám tű hossza ($l_{tű}$, mm),
 - a szerszám dőlési szöge (α , °).

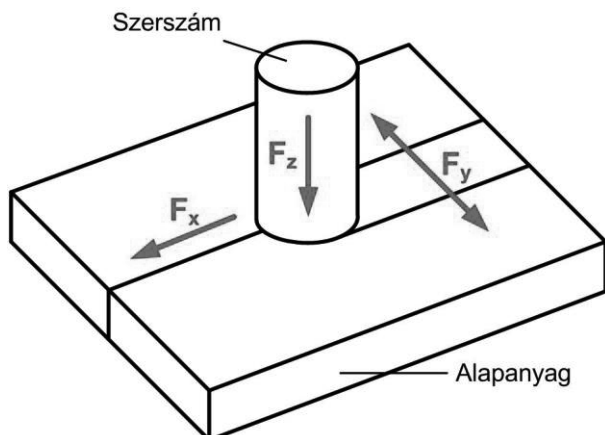
3. A TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK HATÁSAINAK MÉRÉSE

A lineáris dörzshegesztés közben a beállított technológiai paramétereken kívül tudjuk mérni a fellépő erőhatásokat és a hőmérsékletet a kötés különböző

*mérnök tanár, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

**egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

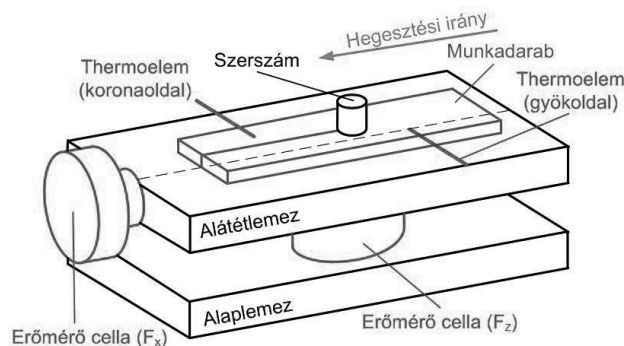
részein. Ezek a mérések jelentős mértékben hozzájárulnak a technológiai paraméterek pontos beállításához, így alapvető fontosságúak a jó minőségű kötés elkészítésénél. Mivel egy szilárd fázisú hegesztő eljárásról beszélünk, ezért jelentős erőhatásokkal számolhatunk hegesztés közben, melyek alapvetően meghatározzák a kötés minőségét, a hegesztés folytonosságát és a kötések reprodukálhatóságát. A 2. ábra mutatja a lineáris dörzshegesztés közben fellépő erőhatásokat:



2. ábra. A lineáris dörzshegesztés közben fellépő erőhatások

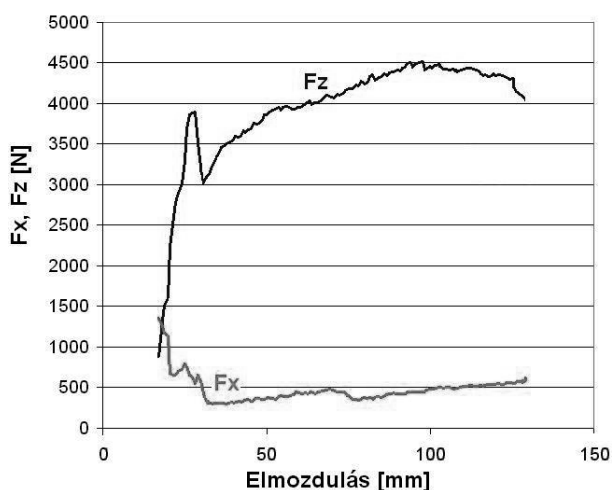
Amint az ábrán is látható, 3 fő irányban (F_x , F_y , F_z) lépnek fel erőhatások. Ezen erőhatások közül az F_z irányú a legnagyobb, ez szolgáltatja a sajtolóerőt a hegesztés során. Értéke leginkább a szerszám dőlésszögétől függ. Jólal kisebb mértékű az F_x irányú erő, amely nagyban függ a hegesztési sebességtől, a fordulatszámától és a szerszám geometriájától. Az F_y irányú erő szinte elenyésző értékű, leginkább a szerszám geometria növelheti vagy csökkentheti ezt a hatást.

A hőmérséklet mérése szintén fontos, leginkább a varrat gyök oldalán, hiszen a szerszám válla által létrehozott súrlódási hőnek egy kisebb része jut el a gyökig, így a gyök oldalán kötésihiba léphet fel [2]. A koronaoldalon is hasznos a hőmérséklet mérése hegesztés közben, hiszen jól szemlélteti a szerszám vállának hatását, esetleges módosításokról adhat adatokat. A koronaoldali hőmérsékletmérés meglehetősen nehézkes a rossz hozzáférhetőség miatt. Ezen vizsgálatokhoz egy speciális mérőberendezést készítettünk, amely összeállítása a 3. ábrán látható:



3. ábra. Az erőhatások és a hőmérséklet méréseire szolgáló mérőeszköz

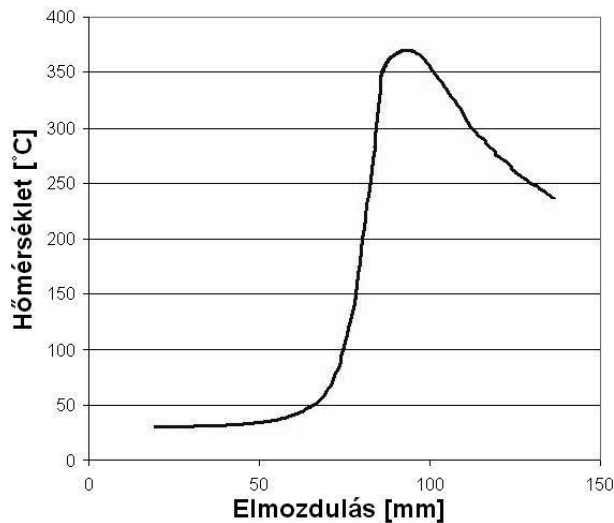
A 3. ábrán látható készülék tehát méri a korona- és gyökoldali hőmérsékletet, valamint az F_x és F_z erőket (az F_y erő méréséhez át kell szerelni az egyik erőmérő cellát, ugyanis a nagy erőhatások miatt érdemlegesen nem lehet mérni a 3 erőt egyszerre). A mérőberendezés 0,1 másodpercenként menti el az adatokat, és az idő, illetve az elmozdulás függvényében diagramon lehet ábrázolni az eredményeket. Erre mutat példát a 4. ábra:



4. ábra. A hegesztés közben fellépő erők mérésének eredménye

A 4. ábra is jól mutatja, hogy nem beszélhetünk konstans erőkről hegesztés közben, a lejátszódó hőfolyamatok változása hat az erőkre is. Nagy munkadarabnál jóval kisebb mértékű az erő változása hegesztés közben.

A hőmérsékletmérésnél felvehető diagramra mutat példát az 5. ábra:



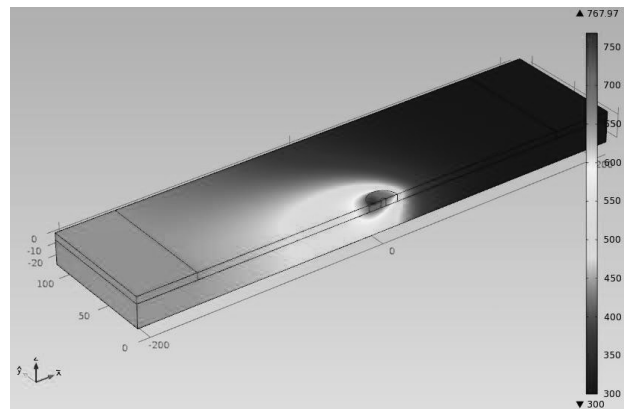
5. ábra. A hőforrás mozgásának hatása a gyökoldali hőmérsékletre

A diagramból meghatározhatjuk a maximális hőmérsékletet, melynek értékéből következtethetünk a gyökoldali hibákra (pl: kötésihiba). Ezen kívül meghatározhatjuk a hőforrás sebességét, illetve a koronaoldali hőmérséklet értékkel összevetve a hőmérsékletkülönbséget a két oldal között. Az anyag belsejében nagyon nehézkes a hőmérsékletmérés hegesztés közben, ezért ebben az esetben végeselemes szimulációt érdemes használni.

4. VÉGESELEMES MODELLEZÉS ALKALMAZÁSA LINEÁRIS DÖRZSHEGESZTÉSÉNél

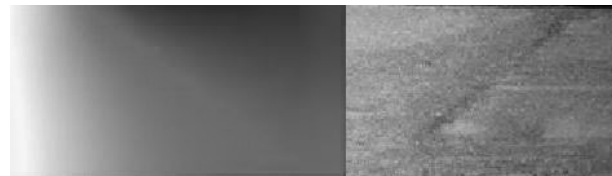
A mérések eredményeiből számtalan dologra lehet következtetni, de ahhoz, hogy lássuk a lejátszódó folyamatok összességét nagy segítségünkre lehet a végeselemes modellezés. Alapvetően a hegesztés végeselemes modellezése és szimulációja egy meglehetősen komplikált feladat. A lineáris dörzshegesztés tekintetében ez tovább bonyolódik, hiszen a hőfolyamatok mellett az anyag képlékenyen változik. Emellett jelentős hatással van az egész folyamatra a hegesztés során lejátszódó anyagáramlás is. A hőfolyamatok, a feszültségállapot és az anyagáramlás egy időben történő modellezése nagy kihívás, jelen állás szerint csak külön modulokban végezhető el egymástól függetlenül. Az elmúlt időszakban a végeselemes szimulációs szoftverek leginkább általános rendeltetésűek voltak, számtalan feladatra használhatóak, nem kifejezetten lineáris dörzshegesztésre fejlesztették ki őket. Manapság egyre gyakrabban jelennek meg olyan szoftverek, illetve a szoftvereken belül olyan modulok, amik egy speciális feladatra lettek kifejlesztve, és ez a tendencia a hegesztésnél is észrevehető. A lineáris dörzshegesztést eddig a „Deform 3D” nevű képlékenyalakítással

foglalkozó programban, az általános rendeltetésű „ANSYS” programban és a szintén általános „Abaqus” programban modellezték leginkább. Az elmúlt évben jelent meg a „COMSOL Multiphysics” program legújabb verziója, amiben egy beépített lineáris dörzshegesztő modell került kidolgozásra, jelentősen megkönnyítve ezzel az eljárás szimulációját. Leginkább a hőfolyamatok szimulációjára használható, a különböző technológiai paraméterek hatását szimulálja, ezzel jelentősen megkönnyíti az adott anyaghoz a technológiai paraméterek meghatározását, és kiváló kiindulópont a kísérletekhez. Példaként látható a 6. ábra, amely egy jól beállított technológiai paraméter kombináció szimulációját mutatja [2]:



6. ábra. A lineáris dörzshegesztés végeselemes szimulációja

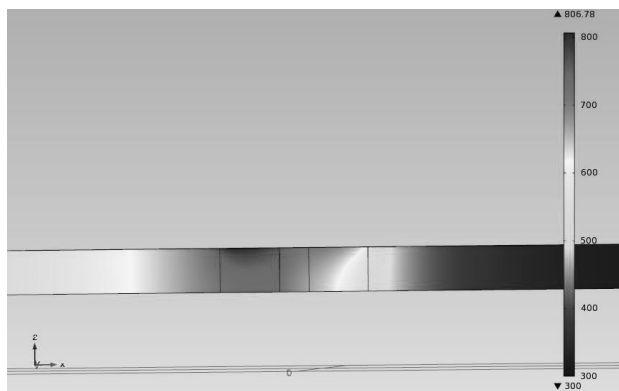
Amint az ábrán is látható, a szimuláció során a komplett hőmérsékletmezőt feltérképezhetjük, a munkadarab bármely pontjában megtudhatjuk a hőmérsékletet, sőt annak időbeli változását is, amit diagramban ábrázolni is lehet. Ez kiemelkedő fontosságú, ha a hőmérséklet szövetszerkezetre gyakorolt hatását akarjuk vizsgálni. Egy ilyen vizsgálatra mutat példát a 7. ábra, ahol az elkészült varrat makrosziszolata mellett látható a végeselemes szimuláció eredménye is:



7. ábra. A szimuláció és a kísérlet eredményének összehasonlítása

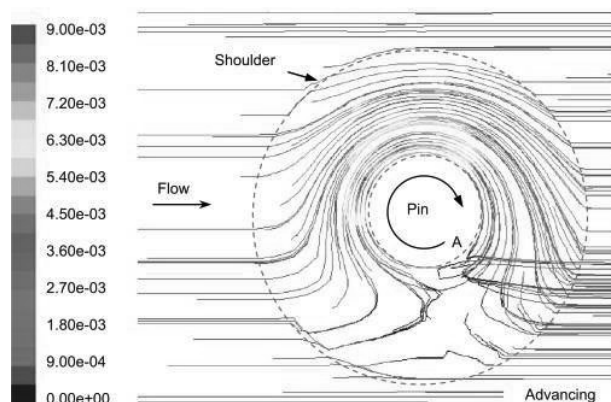
Az elkészült modell bármelyik síkjából metszetet készíthetünk. Az egyik leginkább hasznos metszet a kötés síkja, ahol jól látható a legnagyobb hőmérséklet helye, illetve mérhető a gyökoldali hőmérséklete. Ezen kívül jól látható, hogy a hőforrásunk sebessége milyen hőmérséklet mezőt eredményez a kötés síkjában, és ez összevethető az 5. ábrán bemutatott diagram

karakterisztikájával. Ilyen hosszmetzeti képet mutat a 8. ábra:



8. ábra. A kötés hosszmetzetében lévő hőmérsékletmező

A hőmérsékletmező vizsgálatán kívül fontos szimulálni az anyagáramlást lineáris dörzshegesztés során. A szerszám alakja befolyásolja döntően ezt az anyagáramlást, és számtalan szerszám kialakítás lehetséges. A szimulációval olyan speciális szerszámgeometriák által okozott anyagáramlás kísérletezhető ki, melyek kísérleti úton rendkívül hosszadalmasan határozhatók meg. A szerszámgeometria jelentősen befolyásolja a hegesztési sebességet, a fellépő erőhatásokat és a megkavart anyagterefogatot. Fontos vizsgálni a hegesztés során a horizontális és a vertikális anyagáramlást is, hiszen különböző hibák fordulhatnak elő ezek nem megfelelő mértékénél. Az anyagáramlási modell elkészítése meglehetősen nehézkes feladat, leginkább a speciális szerszámgeometria miatt, de még mindig sokkal gyorsabb, mint kísérleti úton meghatározni. Ilyen anyagáramlási modellre mutat példát a 9. ábra:



9. ábra. Az anyagáramlás modellezése lineáris dörzshegesztésnél [4]

Mind a termikus folyamatok, mind az anyagáramlás modellezése még számos kihívást rejt, de így is rendkívül hasznosan használható a technológiai paraméterek optimalizálásában és hatásaiknak elemzésében.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A lineáris dörzshegesztés technológiai paramétereinek optimalizálása és hatásának elemzése egy rendkívül összetett folyamat, amely még nem teljesen kiforrott, de számos hasznos adattal szolgálhat. Minden hegesztési feladat más és más, hiszen változhat a munkadarab falvastagsága, anyagminősége, illetve a szerszám geometriája. Ebből adódóan mindegyik feladatnál új mérésekre, illetve szimulációra lehet szükség a leginkább optimális paraméterek beállításához. Mivel ezen sokrétű feladatokra használható általános képletek, táblázatok még nem alakultak ki, ezért csak néhány alapelvet és a cikkben ismertetett módszereket használhatjuk a megoldásukra.

6. IRODALOM

- [1] **Meilinger Ákos:** A lineáris dörzshegesztés alkalmazása alumíniumötvözetek hegesztésénél, GÉP, 2012/1. p.: 7-10.
- [2] **Meilinger Ákos:** A lineáris dörzshegesztés technológiai paramétereinek megválasztása, Hegesztéstechnika, 2012/2. p.: 27-30.
- [3] **B.C. Liechty, B.W. Webb:** Modeling the frictional boundary condition in friction stir welding, International Journal of Machine Tools And Manufacture, 2008, p.: 1474 – 1485

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Külön köszönetet szeretnék mondani a Bay Zoltán Közhasznú Nonprofit Kft. BAY-LOGI Intézetének a végelemes szimulációs szoftver használatáért.