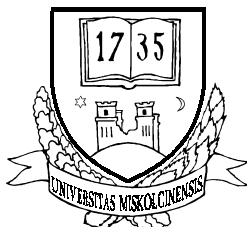


MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR



VÉKONYLEMEZEK ELLENÁLLÁS-PONTKÖTÉSEINEK MINŐSÉGCENTRIKUS OPTIMALIZÁLÁSA

PhD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:

SZABÓ PÉTER

OKLEVELES GÉPÉSZMÉRNÖK, EWE

GÉPÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK DOKTORI PROGRAM,
GYÁRTÁSI FOLYAMATOK ALPROGRAM,
MECHANIKAI TECHNOLÓGIÁK RÉSZPROGRAM

DOKTORI PROGRAMVEZETŐ:

DR. PÁCZELT ISTVÁN

AZ MTA RENDES TAGJA

A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA

DOKTORI ALPROGRAM VEZETŐ:

DR. DUDÁS ILLÉS

A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA

DOKTORI RÉSZPROGRAM VEZETŐ:

DR. TISZA MIKLÓS

A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA

TUDOMÁNYOS VEZETŐ:

DR. BALOGH ANDRÁS Ph.D.

MISKOLC, 2002

Bíráló bizottság tagjai***Elnök:***

Dr. Jármai Károly a műszaki tudomány doktora

Tagok:

Dr. Artinger István a műszaki tudomány doktora

Dr. Romvári Pál a műszaki tudomány kandidátusa

Dr. Szeidl György a műszaki tudomány kandidátusa

Dr. Szigeti Ferenc a műszaki tudomány kandidátusa

Hivatalos bírálók:

Dr. Farkas József a műszaki tudomány doktora

Dr. Gremsperger Géza a műszaki tudomány kandidátusa

1. Bevezetés

Az ipari termelésben, egy termék előállításakor alapvető célként ma már nemcsak az anyagvizsgálati eljárásokkal kimutatható hibáktól mentes hegesztett kötés létrehozása a feladat, hanem a legkedvezőbb kötésminőség, a legnagyobb teherbírás, a leghosszabb élettartam biztosítása az adott gazdasági, élet- és környezetvédelmi feltételek figyelembevételével. Az adott optimalizálási feladat megoldására matematikai statisztikai módszereket, kísérlettervezési stratégiákat és optimalizációs technikákat vehetünk igénybe. Ahhoz, hogy egy kísérletet a leghatékonyabban hajtsunk végre, a kísérlet tervezéséhez és az eredmények elemzéséhez tudományos megközelítést kell alkalmazni. A statisztikai kísérlettervezés azt jelenti, hogy a megfelelő adatokat kísérletekkel kell gyűjteni, majd az adatokat statisztikai módszerekkel kell elemezni. A kísérlettervezés filozófiája szerint nem kell mindenáron a változékonyságok okainak kiküszöbölésére törekedni, mert nem biztos, hogy megéri, inkább együtt kell velük élni és a kimenő termék minőségi jellemzőjét befolyásoló faktorok olyan szintjeit kell beállítani, amelyek körüli ingadozások nem adódnak át a minőségi jellemzőre. A kísérlettervezés módszereit ílymódon használhatjuk optimalizálásra. Segítségükkel arra kaphatjuk meg a választ, hogy az egyes faktorokat mely szintekre kell beállítani ahhoz, hogy a minőségi jellemző a legkisebb ingadozás mellett minél kisebb, minél nagyobb, vagy a névleges értéken legyen.

A kísérlettervezés és a technológia-optimalizálás összetett folyamat. Legfontosabb lépéseként a minőségi jellemző, azaz a célfüggvény helyes megválasztása szükséges. Az optimális hegesztéstechnológiai munkarend kidolgozásában komoly problémákat okozhat a helytelen célfüggvény választás. Ilyen esetekben korrekciós műveleteket kell végrehajtani, hogy a célfüggvénygörbe optimumát megtaláljuk. Az ellenállásponthegesztés mérnöki szempontból rendkívül összetett folyamat, ezért olyan célfüggvényt kell felállítani, amely megbízható és összehasonlítható eredményeket szolgáltat a kötés minősége szempontjából (minőség-centrikus optimalizálás), továbbá figyelembe tudja venni a kötés kialakulása során fellépő jelenségeket.

2. Célkitűzés

Kutatómunkám célja a vékonylemezek ellenállás-ponthegesztett kötésének minőség-centrikus optimalizálása. A disszertáció címében adott témát a következő részletezés szerint dolgoztam ki:

- Vékony lágyacéllemez ellenállás-ponthegesztéssel készített átlapolt egy-pontkötésének minősítésére kísérlettervezési módszerek alkalmazása.
 - Az alkalmazott kísérlettervezési módszerek alapján kapott eredmények értékelése és összehasonlítása a kísérleti úton meghatározott minőségi kötés létrejöttét eredményező paraméterkombinációval.
 - Többszempontú optimalizálási módszerek alkalmazása komplex kötéstulajdonságok elérésére, illetve alkalmas célfüggvények kidolgozása a kötés mechanikai, geometriai vizsgálata, illetve metallográfiai elemzések alapján.
- Az ellenállás-ponthegesztés technológiájának optimalizálására alkalmazható rendszer kidolgozása és erre alkalmas célfüggvény felállítása.
 - A kötések roncsolásos vizsgálatánál kialakuló tönkremeneteli módok és a technológiai folyamat hatásának elemzése a tönkremeneteli módokra. A tönkremenetelt meghatározó tényezők hatásainak vizsgálata. E tényezőkből alkalmas célfüggvény felállítása és a minősítő feltételek kidolgozása.
 - Az optimális minőségi kötés létrehozásának feltételei.
- A pontkötés kialakulása kezdeti fázisának vizsgálata végeselemes modellezéssel és hagyományos metallográfiai technikákkal, célzottan a kemény munkarendű hegesztés alkalmazási arányának növelésére és a hegesztés során lejátszódó folyamatok leírására.
 - Elméleti úton szilárdságtani peremérték feladat megfogalmazása és numerikus megoldása végeselemes technikákkal, a TOCHNOG végeselemes szoftvercsomag felhasználásával a lencsefejlődés bemutatására.
 - Az elméleti eredmények kísérleti igazolása metallográfiai technikák alkalmazásával.

3. Az elvégzett vizsgálatok, alkalmazott módszerek

A kísérlettervezési módszerek alkalmazásával kapott eredmények és a belőlük levonható következtetések:

1. A kísérleti eredmények Box-Wilson féle módszerrel történő feldolgozása során azt tapasztaltam, hogy a leghatékonyabb irányban a nyíró-szakítóerő értékek addig nőttek, amíg az adott paraméterkombinációval készíthető hegesztés – a hegesztő elektród, vagy a hegesztőgép tönkremenetelét elkerülendő – már nem volt kivitelezhető. Hangsúlyozni kell továbbá, hogy a gradiens irányban az elektród-benyomódás értékei jelentősen megnöttek, illetve az elektród jelentős mértékben szennyeződött és kopott. Ezért arra a következtetésre jutottam, hogy a nyíró-szakítóerő maximumra való optimalizálás (maximalizálás) az ellenállás-ponthegeesztett kötéseknel nem szerencsés. Más jellegű, vagy összetett szemléletű célfüggvény definiálására van szükség.
2. A Taguchi féle módszerrel elvégzett számítások eredménye megerősítette a Box-Wilson féle módszerrel kapott eredményt. E módszer alapján történő elemzés eredményei megerősítik azt az 1. pontban megfogalmazott megállapítást, miszerint a nyíró-szakítóerőre történő optimalizálás nem a legjobb stratégia. Megoldásként vagy más jellegű célfüggvényt kell keresni, vagy a már meglévőt kell oly módon korrigálni (összetett célfüggvény), hogy az eredményül kapott paraméterkombinációval megfelelő kötést lehessen létrehozni. Hangsúlyozni kell, hogy nem hibás eredményekről van szó. A kísérletek valóban azt mutatják, hogy a hőbevitel növelésével nő a célfüggvényérték. A nyíró-szakítóerő értékét nem egyértelműen csökkenti a jelentős benyomódás, ami viszont más szempontokból elfogadhatatlan. Az összetett célfüggvény másik alkotójának így célszerű a maradó anyagvastagságot definiálni, amely a hőbevitel függvényeként szigorúan monoton csökkenő függvény. E két alkotó szorzatfüggvénye várhatóan maximumos lesz.
3. Az összetett célfüggvény alapján történő optimalizálás eredménye technológiai szempontból sokkal kedvezőbb. A kapott paraméterkombináció már beleesik a megfelelő kötést biztosító optimális tartományba, azonban a kezdeti nagy hőfejlődést

és az ezzel együtt járó fröcskölést még nem kerültük el. Ennek magyarázata, hogy a két célfüggvény értékeinek intervalluma nagyságrendileg jelentősen eltér egymástól, így a módszer nem szolgáltatott reális optimumot. Megoldásként a Harrington féle módszer szolgálhat, mely egyrésztől összehasonlíthatóvá teszi a különböző jellegű mennyiségeket, másrésztől kifejezetten összetett szemléletű optimalizálásra dolgozták ki.

4. A Harrington féle módszer segítségével elméletileg minden korábban felmerült probléma kiküszöbölhető, mégsem szolgáltatta a kísérleti eredmények alapján legjobbnak tekintett paraméterkombinációt. Ennek oka, hogy a geometriai átlagolás következtében a kisebb „d” (kívánatossági függvény) értékek súlya jelentős.
5. Az előző megállapítások alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a kísérlettervezés és a technológia-optimalizálás legfontosabb lépéseként a minőségi jellemző, azaz a célfüggvény helyes megválasztása szükséges. Olyan célfüggvényt kell felállítani, amely komplex módon, egyidejűleg veszi figyelembe az alábbi követelményeket:
 - minél nagyobb terhelhetőség,
 - minél kisebb elektród-benyomódás,
 - lehetőség szerint a fröcskölés elkerülése.
6. Mivel e szempontok jellemző adatai különböző mértékegységekkel szerepelnek, így azokat összehasonlíthatóvá kell tenni. A korábbi fejezetekben bemutatott kísérlettervezési eljárások eredményei alapján erre csak akkor van lehetőség, ha a megfelelő célfüggvény-alkotókat valamilyen formában súlyozzuk. Ezek a súlyok viszont nem általánosíthatóak, hiszen a hegesztéstechnológia erősen berendezésfüggő (áramnem, hűtés módja, összeszorítás módja, a berendezés reagálása a különböző villamos és mechanikai jelenségekre, stb.), továbbá a különböző geometriai és anyagvizsgálati mérőszámokkal jellemzett ellenállás-ponthegeesztett lencsék számos különböző paraméter-kombinációval érhetők el. További problémát jelent még, hogy az összetett célfüggvény alkotók értékeinek meghatározása ugyanazon próbatesten

nem, vagy csak bizonyos hibával lehetséges (pl. elszakított próbatesten lemérni a geometriai jellemzőket).

Minőségcentrikus optimalizálás

1. Az ellenállás-ponthegeztés összetett folyamatának eredményeként kialakuló kötésnek a nyíró-szakítóvizsgálat alatti tönkremenetelét elemezve olyan célfüggvényt definiáltam, amely figyelembe veszi az ellenállás-ponthegeztés minőségi követelményeit (minimális deformáció, maximális szilárdság, fröcskölésmentes kötéskialakulás).
2. A javasolt célfüggvény a következő alakú:

$$Y = \frac{k \cdot T_a}{s}$$

ahol: Y: a célfüggvény,
 k: a törési ív hossza,
 T_a: alaktényező,
 s: a munkadarab anyagvastagsága.

A célfüggvény értékére vonatkozóan az alábbi megállapítások tehetők:

- Y<0, akkor a kötés az illesztés síkjában nyíródik el,
- Y=0, a kötés kigombolódásának alsó határa,
- 0<Y<1, a kötés kigombolódik az alapanyagból,
- Y=1, a kötés kigombolódásának felső határa,
- Y>1, a szakadás a varrat szélétől távolabb, a hőhatásövezetben következik be.

E jellemző értékek alapján az ellenállásponthegeztett kötés minősíthető. Csak az a kötés megfelelő, amely az alapanyagból kigombolódik, azaz $0 \leq Y \leq 1$.

3. Kísérleti adatok, valamint metallográfiai vizsgálatok eredményei alapján az alábbi következtetések vonhatók le:
 - a. Az Y=0 esetén a lencse már kigombolódik, de a kötés közel van a nem megfelelő állapothoz,

- b. A minimális deformáció szempontjából szintén az $Y=0$ érték optimális,
- c. Technológiai szempontból viszont az $Y=1$ érték lenne indokolt, mivel ekkor a kötés közel van ugyan az „összeheged + fröcsköl” állapothoz, de a kötés szilárdsága mindenképpen megfelelő lesz,
- d. Szilárdsági szempontból szintén az $Y=1$ érték az optimális,
- e. A **minőségi kötés** nem más, mint a kigombolódási tartomány közepe, azaz $Y = 0,5 \pm 10\%$. E tartományhoz tartozó kötések már kigombolódnak, így szilárdsági szempontból megfelelnek, viszont a benyomódás szempontjából sem szenvednek jelentős deformációt, illetve a varrat szélénél zárógyűrű alakul ki, amely megakadályozza az olvadt fém kifröccsenését.
- f. A kísérleti eredmények alapján a célfüggvény nagyon érzékeny a hegesztési főidő értékére. Javasolt az extra kemény munkarend alkalmazása, azaz néhány periódusnál többel csak akkor hegesszünk, ha a hegesztési áramerősség értékének növelésével nem érjük el a minőségi kötés tartományát.
- g. További vizsgálatokat igényelt annak tisztázása, hogy a modell a tórusz külső, vagy belső átmérőjét tekinti a célfüggvényben szereplő heglencse átmérőjének a több szerző által leírt tórusz formában kialakuló lencseképződés esetén. További kérdésként merül fel, hogy a külső átmérő szerepeltetése esetén, azonos átmérő-értékeknél, vajon a lencse és a tórusz alakú varrat egyenértékű-e. A heglencsekialakulás folyamatának tisztázására szilárdságtani peremérték feladatot állítottam fel, melyet végesselemes módszerrel oldottam meg.

Szilárdságtani peremérték feladat, numerikus megoldás

Ellenállás-ponthegesztés során a felmelegedés és az állandóan ható elektród-összeszorító erő együttes hatására az anyag érintkezési felülete megnő, emiatt az érintkezési ellenállás jelentősen lecsökken, majd gyakorlatilag megszűnik. Ekkor feltételezzük, hogy az érintkezés a teljes – az elektród-lemez érintkezési felülettel megegyező – felületen megy

végbe. Jelen modell ezen az érintkezési felületen végbemenő folyamatokat vizsgálja extra kemény-, kemény- és lágy hegesztési munkarend esetén.

A hőmérséklet növekedésével növekvő anyagellenállás következtében a legnagyobb hőfejlődés - az érintkezési ellenállás megszűnése után - továbbra is a lemezek érintkezési környezetében lesz. Ennek megfelelően a lemez-lemez érintkezési felületre hőforrást definiáltam, amely a szükséges hőmennyiséget biztosítja.

Az összehegesztendő darabok érintkezési felületei között létrejövő hőfejlődés alatt a lemez tágul, amely az alkalmazott erőhatással ellentétes irányú. A kezdeti szakaszban az elektród-lemez érintkezési felület „z” irányú elmozdulása (elektród-benyomódás) így elhanyagolható, mivel a jelentős tágulás csak a megolvadás során következik be, amikor a teljes anyagtérfogat jelentős hőmérsékletet ér el, illetve mivel a benyomódás csak ez után következik be. Mivel a modellezés célja a különböző munkarendek alatt lezajló folyamatok jellegéből adódó különbségek meghatározása, így a modellezés során ezt a közelítést elfogadhatónak ítélem.

Fémtiszta, tökéletesen sima felületeket feltételezve elsősorban arra voltam kíváncsi, különböző munkarendek esetén milyen hatással lehetnek a mechanikai- és hőterhelések a kialakuló kötésre, és hogyan befolyásolják a kötés kialakulásának menetét. Ehhez adott munkarendek esetén meghatároztam a hőmérséklet és a képlékeny alakváltozás jellegét.

Az ellenállás-ponthegeztésben résztvevő elemek által alkotott rendszer tengelyszimmetrikus volta miatt lehetőség nyílik egy egyszerűsített 2D-s modell felépítésére. Az egyszerűsítés lehetősége abból adódik, hogy a valóságban 3D-s feladatot egy olyan 2D-s forgásszimmetrikus feladatként kezeljük, melyben a lemez geometriáját és terheléseit is forgásszimmetrikusnak tételezzük fel. A forgásszimmetrikus modellezés azt jelenti, hogy az adott henger-koordináta rendszerben minden meridián metszetben azonos állapotot számítunk. Mivel elsősorban a lemezben végbemenő folyamatokra vagyunk kíváncsiak, így az elektród-lemez érintkezési felületen olyan peremfeltételeket definiáltam, amelyekkel az elektród helyettesíthető.

4. Új tudományos eredmények

1. Kísérlettervezési módszerek alkalmazásával és a kapott eredmények összehasonlításával bizonyítottam, hogy technológia-optimalizáláskor a minőségi jellemzők meghatározása a legfontosabb lépés a célfüggvény előállításakor.
 - 1.1. A kísérleti eredményekből kimutattam, hogy a nyíró-szakítóerő maximumra való optimalizálása (maximalizálás) az ellenállás-ponthegesztett kötéseknel nem elegendő.
 - 1.2. Az ellenállás-ponthegesztett kötések minősítésére, egy olyan célfüggvényre van szükség, amely a minőség-centrikus optimalizálás feltételeit komplex módon, egyidejűleg veszi figyelembe.
2. A vékony lágyacéllemezek ellenállás-ponthegesztett kötésének jellemzőiből az
$$Y = \frac{k \cdot T_a}{s}$$
 összefüggéssel minősítő feltételt adtam meg.
 - 2.1. Az ellenállás-ponthegesztett kötések tönkremenetelének elemzésével a kötés minősítésére célfüggvényt állítottam fel.
 - 2.2. Az ellenállás-ponthegesztett kötés szakadása során létrejövő törési ívek összehasonlítása alapján felépített célfüggvény technológia-optimalizálásra az ellenállás-ponthegesztő berendezéstől függetlenül alkalmas.
 - 2.3. Megadtam az optimális minőségi kötés fogalmát.
3. Az ellenállás-ponthegesztett kötés lencse-kialakulási folyamatának ún. kezdeti szakaszára szilárdságtani peremérték feladatot állítottam fel. Végeselemes technikákkal a modell elméleti vizsgálatát végeztem el, és a feladat numerikus megoldását adtam meg. Az eredményeket kísérletileg metallográfiai módszerekkel igazoltam.
 - 3.1. Kemény munkarend esetén a képlékeny alakváltozás az érintkezés területén a legnagyobb. Kimutattam, hogy a hőmérséklet a kerületi pontokon csak néhány fokkal nagyobb, mint a középpontban.

3.2. Lágy munkarend esetén a képlékeny alakváltozás a középpontban és a kerületi pontoknál gyakorlatilag azonos időben indul meg. A középpont hőmérséklete több száz fokkal magasabb a kerületi pontok hőmérsékleténél.

3.3. Ellenállás-ponthegeztéskor az optimális minőségi kötés extra kemény munkarenddel állítható elő.

5. Eredmények hasznosítása, továbbfejlesztés lehetőségei

Jelen kutatómunka eredményei vékony lágyacéllemezek ellenállás-ponthegeztett átlapolt egy-pontkötésére vonatkoznak. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a valóságos hegeztett szerkezetek több pontot tartalmaznak, így további vizsgálatokat igényel:

- A több-pontkötések elkészítéskor fellépő technológiai jellegzetességek (pl. sönt-hatás) bemutatása.
- Az igénybevétel szempontjából soros-, illetve párhuzamos pont-elrendezések esete.
- Különböző anyagvastagságok ellenállás-ponthegeztett kötése.
- Más, a lágyacéltól eltérő anyagtulajdonságok hegeztésének esete.
- Különböző anyagok között létrehozott pontkötés esete.

Eredményül így egy olyan komplex minősítő rendszer kidolgozására nyílna lehetőség, mellyel az ellenállás-ponthegeztett kötések megbízhatóan minősíthetők lennének.

A kutatás eredményei felhasználhatók egy, az ellenállás ponthegeztési folyamatok technológizálását segítő szakértői rendszer kidolgozása során. Jelen kísérletsorozatot adott anyagminőség, adott anyagvastagság esetén végeztem el és igazoltam a módszer alkalmasságát optimalizálásra. A minőségcentrikus optimalás elve azonban ugyanaz, pl. 1,5 mm-es lemezvastagság, illetve pl. az 1.4003 anyagminőség esetén is.

Az értekezés eredményei a műszaki gyakorlatban is alkalmazhatók. Az összetett szemléletű optimalizálás során megfogalmazott törvényszerűségek technológiatervezésnél jól alkalmazhatók (Bombardier Transportation Holding - Vasúti járművek gyártása).

A Miskolci Egyetemen és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen is további kutatások folynak e témakörben, melyek választ adhatnak a felvetett továbbfejlesztési kérdésekre.

6. Az értekezés témakörében megjelent publikációk

- [1] Szabó P.
Hegesztéstechnológia optimalizálása összetett célfüggvény segítségével
TDK dolgozat, Miskolci Egyetem, 1994. pp. 1-33
- [2] Szabó P.
Vékony lágyacéllemezek ellenállás-ponthegesztési feladatának optimalizálása nemlineáris polinommal
TDK dolgozat, Miskolci Egyetem, 1995. pp. 1-26
- [3] Szabó P.
Ellenállás-ponthegesztés technológiájának optimalizálása többszempontú célfüggvény segítségével
Gépgyártástechnológia, XXXVI/9-10. (1996. Szept-Okt), pp. 55-59
- [4] Szabó P.
Optimisation of Technology of Resistance Spot Welding by Using Multi-objective Function
Gép, IL. évfolyam, 1997. 1. szám, pp. 39-42
- [5] Szabó P.
Computer Aided Optimisation of Welding Technology
MicroCad '97 Nemzetközi Számítástechnikai Konferencia kiadványa, Mechanikai Technológiák, pp. 61-67
- [6] Szabó P.
Optimisation of Technology of Resistance Spot Welding Using Non-linear Polynomial
Gépgyártástechnológia, XXXVII/3 (1997. Márc), pp. 13-16
- [7] Szabó P.
Optimalizációs módszerek alkalmazása vékonylemezek ellenállás-ponthegesztésére
Műszaki Tudományos Füzetek, Kolozsvár, 1997. pp. 57-60

-
- [8] Szabó P.
Vékony Al-lemezek ellenállás-ponthegesztésének optimalizálása Box-Wilson féle módszerrel
Doktoranduszok Fóruma 1997 kiadványa, pp. 62-66
- [9] Szabó P.
Effects of the welding parameters on final properties in resistance spot welding of commercial Al sheet-joints
COPERNICUS IIIrd Annual Meeting (AMME' 97) Proceedings, pp. 260-263
- [10] Szabó P.
Resistance spot welding of unalloyed Al sheet-joints in different surface conditions
MicroCad '98 Nemzetközi Számítástechnikai Konferencia kiadványa, pp. 91-95
- [11] Szabó P.
Könnyűfém ellenállás-ponthegesztésének technológia-optimalizálása összetett célfüggvénnyel
Műszaki Tudományos Füzetek, Kolozsvár, 1998. pp. 237-240
- [12] Szabó P.
Az ellenállás-ponthegesztés metallográfiai vizsgálatokra alapozott optimalizálása
Műszaki Tudományos Füzetek, Kolozsvár, 1999. pp. 81-84
- [13] Szabó P.
Az ellenállás-ponthegesztett kötés minősítése
Hegesztéstechnika, XI. évf. 4. sz. pp. 30-36
- [14] Szabó P.
Vékonylemezeken ellenállás-ponthegesztett kötésének kialakulási folyamata
Doktoranduszok Fóruma '99 Szekciókiadványa, pp. 71-77
- [15] Szabó P., Hegman N., Klementis O.
Finite Element Modelling of Resistance Spot Welding
MicroCad 2000 Nemzetközi Számítástechnikai Konferencia Szekció-kiadványa, Mechanikai Technológiák, pp. 27-31
- [16] Szabó P.
Az ellenállás-ponthegesztés véges elemes modellezésének sajátosságai
Műszaki Tudományos Füzetek, Kolozsvár, 2000. pp. 201-206

-
- [17] Szabó P., Balogh A.
Finite Element Modelling of Formation Process on Resistance Spot Welded Joint
3rd GTE-MhtE-DVS International Conference on Welding 2000, pp. 313-317
- [18] Szabó P., Balogh A.
Az ellenállás-ponthegesztett kötés kezdeti szakaszának véges elemes modellezése
Gép, LI. Évfolyam, 2000. 6. Szám, pp. 119-121
- [19] Szabó P., Tisza M., Fülöp T., Adorján G., Kiss A., Magyar Z., R. Rowshan, ifj. Tisza
Modellezés és szimuláció a Mechanikai Technológiákban
Gépgyártástechnológia, XL. évf. 8. szám, 2000. augusztus, pp. 13-18
- [20] Szabó P.
Az érintkezési felület deformációja az ellenállás-ponthegesztési folyamat korai stádiumában
Gép, LIII. Évf. 2002/2-3, pp. 26-29
- [21] Szabó P.
Deformation of Contact Area During the Early Stage of Resistance Spot Welding
MicroCad 2002, Material Science Engineering, Production Systems and Processes Section, pp. 35-41
- [22] Szabó P., Balogh A.
Modelling of Resistance Spot Weld Nugget Formation During Long and Short Time Welding Using FEM, Publ. Univ. of Miskolc, Series C, Production Processes and Systems (Közlésre elfogadott teljes terjedelmű közlemény)