FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1998. március 20-21.

Könnyűfém ellenállásponthegesztésének technológia-optimalizálása összetett célfüggvénnyel

Szabó Péter

Abstract

This four pages contain the results of a research work, in which the strength index numbers of spot welded joints of unalloyed aluminium-sheets and the relationship between technology and strength under the given circumstances were examined. The task of the work was to determine the effects of the welding parameters for the final strength, having different surface conditions. And the final aim was to optimise the technology of resistance spot welding based on mathematical-statistical method.

Bevezetés

Az utóbbi években az autóipar egyre nagyobb mennyiségben használja fel az alumíniumot gépkocsi-karosszériák elemeként, elsősorban a jelentős súlycsökkenés miatt. Míg az USA-ban 1991-ben 87 kg alumínium jutott egy gépkocsira, addig az előrejelzések alapján a 2000. évre ez a szám meghaladja majd a 137 kg-ot. Jelentős áttörés akkor következett be, amikor az Audi a világon elsőként mutatta be az alumíniumötvözet-karosszériájú A8-as modelljét. A súlycsökkenés mellett azonban a biztonsági előírásoknak megfelelő szilárdságot és terhelhetőséget is biztosítani kell. Korábbi fejlesztések az alumínium-karosszériára való átállás területén már a japán Honda cégnél is megfigyelhetők voltak, más autógyárak viszont a fejlesztés jelentős költségigénye miatt nem tudtak eredményeket felmutatni ezen a területen. Jelen munkámban az alumínium ponthegesztésénél a hőbevitelt leginkább meghatározó paraméterek hatását vizsgáltam. A hegesztést háromféle felületi minőség esetén végeztem el, a tisztítás mértékétől függően. Célul tűztem ki továbbá az ellenállásponthegesztés technológiájának matematikai alapokon nyugvó optimalizálását.

A kísérletek körülményei

Kísérletemben ötvözetlen alumíniumlemez használtam. A ponthegesztett kötések elkészítéséhez olasz gyártmányú, TECNA 8007 típusjelű, programozható, egyfázisú váltóáramú, helyhez kötött kivitelű pont- és dudorhegesztőgépe állt rendelkezésemre.

Optimalizációs paraméterként elsőként a kötés (szabványos) nyíró-szakítóerejét (F_n) választottam. A hegesztőeljárás elsőrendű (faktorjellegű) változói - elektródaerő: F_e (kN); szekunder áramerősség: I_h (kA);

hegesztési idő: t_h (s) - a faktorok. A másodrendű változókat a kísérlet alatt állandó értéken tartottam. A kísérleti terv (1. Táblázat) összeállításához a faktorok tervközépponti értékének és variációs intervallumának kijelölése szükséges. A variációs intervallum értékét előkísérletek alapján úgy határoztam meg, hogy a kísérleti beállítások kellően nagy tartományt fogjanak át, ugyanakkor beállítható kombinációt és kivitelezhető hegesztést eredményezzenek. Alsó korlátként az össze nem hegedést, felső korlátként az elektród lemezekhez való hozzáhegedését választottam. Az egyes kísérleti beállításokban három-három párhuzamos mérést hajtottam végre.

1. Táblázat

A kísérleti terv

Elsőrendű változók	Mértékegység	Alsó szint	Tervközépponti érték	Felső szint
I_w	kA	15	20	25
t_w	s	0.08	1.4	0.2
F_e	kN	2	3	4

A csonkakúp végződésű elektródok véglap átmérőjét $d_e = 5\sqrt{s} = 5\sqrt{1,5}$ összefüggés alapján 6 mm-ben határoztam meg. A ponthegeesztett kötések az elektródbenyomódásokat százados mérőórával határoztam meg, majd a próbatesteket ZD 20 típusú hidraulikus szakítógépen elszakítottam. A szakítás sebessége minden esetben azonos és a szabványos határértéknél ($v_{sz}=0,167$ mm/s) kisebb volt.

Az optimumkeresési feladatok megoldására a Box-Wilson féle módszert alkalmaztam, amely kedvező kísérletszámmal, tervszerűen közelíti meg a tényleges szélsőértéket. A felállított modell megfelelőségét statisztikai próbákkal ellenőriztem. A szórásnégyzetek homogenitásvizsgálata a Fisher féle F próbával és a Cochran féle G próbával történt. A szignifikancia eldöntésére a Student próba (t próba) szolgált. A modell adekvátságát a Fisher féle F próbával vizsgáltam. A felsorolt próbák kedvező eredménye igazolta az optimalizációs eljárás helyességét.

Korábbi, acélra elvégzett kísérletek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a gradiens irányában a nyírószakítóerők valóban nőttek, a célfüggvény maximumának meghatározása egy bizonyos lépésszám után azonban a hegesztő elektródok egymáshoz hegedése miatt nem volt kivitelezhető. Fontos azonban megemlíteni, hogy a hegesztő elektródok lemezhez hegedése előtti paraméter-kombinációkkal hegesztett kötések esetén a nyírószakítóerő értékek jóval meghaladták az ezen esetre előírt legmagasabb osztályú értékeket. Ezen okok miatt célszerű az optimalizálást úgy végrehajtani, hogy először meghatározzuk a vizsgált paramétereknek azt az intervallumát, melyekhez tényleges hegesztett kötés tartozik. Ezen értékeket előkísérletek alapján lehet meghatározni, melyek jelen esetben a következő értékekre adódtak.

$$\bullet I_w=15\dots25 \text{ kA}; t_w=0.08\dots0.2 \text{ s}; F_e=2\dots4 \text{ kN}$$

Eredmények és következtetések

Először az elsőrendű változók végső kötéskialakításra gyakorolt hatását vizsgáltam különböző felületi minőségek esetén. és a következő eredmények adódtak:

- A szekunder áramerősség (I_w) hatása sokkal jelentősebb, mint a másik két faktoré. A „tisztítás nélküli” illetve a „zsírtalanított” esetben a leghatékonyabb irány egyértelműen a szekunder áramerősség értékének növelését jelenti.
- A hegesztési főidő pozitív hatású, az elektródaerő negatív, de ezek hatása csak az „oxideltávolításos” esetben jelentős.

Az ellenállásponthegesztés tárgyú kísérleti program ezen fázisának befejezése után az ötvözetlen alumíniumlemezek átlapolott kötéseire vonatkozóan a következő megállapításokra jutottam:

- Nagyobb szekunder áramerősség érték nagyobb nyíró-szakítóerő értéket eredményez mindhárom esetben.
- A szekunder áramerősség alsó értékével hegesztve, az előírtnál magasabb nyíró-szakítóerő értéket tudunk elérni.
- A matematikai-statisztikai eljárás alapján a különböző esetekben az optimális paraméter-kombinációk a következők (2. táblázat).

2. táblázat

A különböző esetekhez tartozó optimális paraméter-kombinációk

Felületi minőség	Tisztítás nélkül	Zsírtalanítással	Oxideltávolítással
I_w [kA]	25	25	24.74
t_w [s]	0.14	0.14	0.16
F_e [kN]	3	3	1.88

A táblázat kapcsán fontos megemlíteni, hogy a tisztítás nélküli esetben a statisztikai próbák rossz eredményt mutattak. Az együtthatók szórása rendkívül nagy volt és a modell nem volt adekvát, így a tisztítás nélküli modell nem alkalmazható. Az, hogy az áramerősség és hegesztési főidő értékek között nincs jelentős eltérés az a szűk paramétertartománnyal magyarázható. Nagyobb tartomány esetén a különbség valószínűleg szembetűnőbb lett volna.

A másik két esetben a legszembetűnőbb különbség az elektródaerő értékekből adódik. A nagyobb érték esetén az elektród terhelése nagyobb, így jobban szennyeződik, többször kell méretre köszörülni. A gazdasági szempontokat is figyelembe véve ebből az a következtetés vonható le, hogy az ötvözetlen alumínium ellenállásponthegesztése csak az oxidréteg eltávolítása után ajánlott.

Az eredmények értékelésekor azonban további jelentős következtetéseket lehet levonni. A 3,5-5 kN tartományba eső nyíró-szakítóerők esetén - amelyek nagyobbak a kézikönyvekben előírt értékeknél (1,2-3,6 kN) - a benyomódások elfogadhatatlanul mélyek ($h \sim 0,5$ mm), durva felületi jelenséggé hatnak és esztétikailag kifogásolhatók. Ezen okok miatt az a következtetés vonható le, hogy a törőerőre való optimalizálás a ponthegesztett kötéseknel nem szerencsés, összetett szemléletű célfüggvény definiálása kedvezőbb eredményt szolgáltat.

Optimalizálás többszemponútú célfüggvénnyel

Céltulajdonságnak a szilárdsági paraméter (F_n) megtartása mellett az esztétikai szempontot kifejező benyomódást (h) választottam. Az a cél, hogy minél kisebb benyomódás mellett a kötés minél szilárdabb

legyen. Mivel a vizsgálati tartományban az I_h és t_h hőbevitelt meghatározó faktorok függvényében F_n növekvő függvény, a szélsőértékes görbe előállításához a hőbevitellel csökkenő h függvényre van szükség. Ezt a benyomódásnál megmaradó lemezvastagság: $s_m = s - h$ jól kifejezi. Az új célfüggvény tehát: $Y = F_n \cdot (s - h)^k$, ahol a $k \leq (\geq) 1$ benyomódási kitevővel a két céltulajdonság relatív súlya változtatható.

Az új célfüggvénynek az egyes kísérleti beállításokban mért és számított értékei alapján megállapítható, hogy az összetett célfüggvény legnagyobb értékét a következő beállítás adja, amit az adott feladatban a legkedvezőbb paraméterkombinációnak tekintek.

$$\bullet I_w = 25 \text{ kA}; t_w = 0.08 \text{ s}; F_e = 2 \text{ kN}$$

Összehasonlítva az egy- és többszemponútú optimalizálást látható, hogy az esztétikailag elfogadhatatlan és a fröcskölést is jelentős mértékben meghatározó mély benyomódást a hegesztési idő csökkentésével lehet elérni. Ezen esetben az elektróda terhelése, ezáltal kopása is kisebb lesz, amivel nagysorozatú gyártás esetén jelentős időt és költséget lehet megtakarítani.

Összefoglalás

A kísérletek elvégzése után a következő megállapításokra jutottam:

1. A Box-Wilson féle módszert alkalmazva a kísérleti eredmények feldolgozására, célszerű az optimumot a kísérleti terv alapjául szolgáló intervallumban keresni úgy, hogy a leghatékonyabb irány egységvektorának egészszámú többszörösével lépegetünk a tervközéppontból addig, amíg az intervallumok szélsőértékeit el nem érjük.
2. Az ellenállásponthegesztés technológiájának optimalizálására a törőerő egymagában nem alkalmas, mert a teherbírási optimum a nehezen elkészíthető, esztétikailag erősen kifogásolható paramétertartományba esik. Ez a megállapítás acélra és ötvözetlen alumíniumra egyaránt igaz.
3. Összetett célfüggvény alkalmazása esetén 5-10%-os nyíró-szakítóerőcsökkenés 15-20%-os benyomódáscsökkenést eredményez. Ebben az esetben a nyíró-szakítóerők még mindig nagyobbak az előírt értékeknél.

Irodalomjegyzék

- [1]: Balogh A.: A new concept for optimisation of welding technology, Publ. Univ. of Miskolc, Series C. Mechanical Engineering, Vol. 46 (1996) No.1. pp. 65-76
- [2]: Bosman, A. W. M.: Resistance Welding Aluminium and its Alloys, IIW Conference, 31 Aug - 7 Sept 1996, Budapest, Hungary