Kolozsvár, 1997, március 21-23

Optimalizációs módszerek alkalmazása vékonylemezek ellenállásponthegesztésére

Szabó Péter

1. Bevezetés

A mérnök munkája során sokszor kerül olyan helyzetbe, hogy mennyiségek maximumát vagy minimumát keresi. Ez a szélsőérték valamilyen szempontból mindig a legkedvezőbb megoldást, az optimumot takarja. A vékonylemezes konstrukciók geometriailag meglehetősen bonyolultak, a sok alkatrész kapcsolatához sok, általános térbeni helyzetű hegesztett kötés elkészítése szükséges. Ezen a területen az ellenállásponthegesztés alkalmazása nagyon előnyös és ugyanakkor elkerülhetetlen is. A kedvező kötésminőség szempontjából viszont az ellenállásponthegesztés technológiáját optimalizálni célszerű.

2. Célkitűzés

Az igényesebb konstrukciók tervezéséhez egyre több információ szükséges az ellenálláspontkötések teherbírásáról. Kutatómunkámban a pontkötések szilárdsági mérőszámait, adott körülmények mellett a technológia-szilárdság kapcsolatát vizsgáltam. Célul tűztem ki az ellenállásponthegesztés technológiájának matematikai alapokon nyugvó optimalizálását egy- és többszemponthegesztés célfüggvény felhasználásával. A végső célom a legkedvezőbbnek bizonyuló munkarenddel készített mintán a méretezési nyírószakítóerő értékének meghatározása volt.

3. A kísérletek körülményei

Kísérletemben az Fe 235 B (MSZ 500) anyagú fényes lemezt használtam, melynek kémiai összetétele és jellemző mechanikai tulajdonságai az [1] irodalomban találhatók. A próbatestet az MSZ 6691/1-75 szabvány alapján alakítottam ki. A ponthegesztett kötések elkészítéséhez olasz gyártmányú, TECNA 8007 típusjelű, programozható, egyfázisú váltóáramú, helyhezköthető kivitelű pont- és dudorhegesztőgépe állt rendelkezésemre. A ponthegesztőgép lényeges műszaki paraméterei az [1] irodalomban találhatók.

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.

4. Hagyományos optimalizálás

A regressziószámítási feladat elvégzését általában három főlépésre bonthatjuk:

- a kapcsolatot legjobban megközelítő regressziós függvény analitikus alakjának kiválasztása;
- a regressziós függvény paramétereinek meghatározása;
- a kapcsolat szorosságának a mérése.

A matematikai eljárásról bővebben a [1], és [2] irodalomban.

Ha a regressziós függvény analitikus alakjára nézve semmiféle támpontunk nincs, csak annyit tudunk, hogy lineáris nem lehet, akkor többnyire másod- vagy harmadfokú polinomot választunk [4]. A regressziós együtthatókat a legkisebb négyzetek elvén, a kapott mérési eredmények értékének felhasználásával számíthatjuk ki a kísérleti beállítások számának megfelelő változó- és tagszámú lineáris egyenletrendszerből.

A regressziós együtthatókkal felírt egyenletekből jól kivehető, hogy a polinom alakjától függetlenül az egyes paraméterek hatása a szilárdságra ugyanolyan irányú, csak más mértékű. Azt, hogy melyik polinom fejezi ki legjobban a paraméterek kapcsolatát, vagyis a korreláció jóságát a residuumnégyzetek összege határozza meg. Minél kisebb ez az érték, annál jobban közelít a polinom. A leírtak alapján az Y_1 regressziós polinom (1) az, amely legjobban közelíti a paraméterek közötti kapcsolatot.

$$Y_1 = (-15,94) - 5,81F_e + 19,61t_h + 4,72I_h + 0,861F_e t_h + 0,22F_e I_h - 0,51t_h I_h - 0,05F_e t_h I_h + 0,28F_e^2 - 7,99t_h^2 - 0,1579I_h^2 ; \quad (1)$$

A függvényekből kiolvasható, hogy a nyíró-szakítóerő szempontjából a kötés szilárdságát kedvező irányba befolyásoló paraméterek a hegesztési főidő (t_h), és az áramerősség (I_h). Az összeszorítóerő értékének növelése viszont kedvezőtlenül hat. Megfigyelhető továbbá, hogy a nyomás-hegesztési főidő, valamint a nyomás-áramerősség, azaz a vegyes tagok kedvezően befolyásolják a célfüggvényt, ugyanakkor az áramerősség-hegesztési főidő tag már nem, annak ellenére, hogy külön-külön még növelték a célfüggvény értékét. Fontos még megjegyezni, hogy a négyzetes tagok már ellenkező előjelűvé váltak az elsőfokú tagokhoz képest. A kapcsolatot legjobban közelítő regressziós függvény birtokában meghatározható az a paraméterkombináció, amely a maximális nyíró-szakítóerő értéket adja: $F_{e\max}=2$ kN; $t_{h\max}=0,8$ s; $I_{h\max}=14,8$ s. A maximális nyíró-szakítóerő a nagy elemszámú kísérlet alapján: $F_{n\max}=20,03$ kN.

5. Optimalizálás Box-Wilson féle módszerrel

Az optimumkeresési feladatok megoldására 1951 óta ismeretes a Box-Wilson féle módszer [1], amely kedvező kísérletszámmal, tervszerűen közelíti meg a tényleges szélsőértéket. A módszer a többtényezős kísérletek és a hatékony irányok kombinációjára épül. Lényege, hogy az ismeretlen folyamat változóit

(paramétereit) egyidejűleg változtatja és a kapott eredmények matematikai statisztikai feldolgozásával biztosítja a legnagyobb gradiens irányában való haladás lehetőségét és ezzel a célfüggvényérték növelését.

A gradiens irányában a nyíró-szakítóerők valóban nőttek egészen 18,7 kN maximum értékig, de az ezt követő lépés már a hegesztő elektródok lemezhez hegedése miatt nem volt eredményes. A 16-19 kN közötti nyíró-szakítóerőkhöz elfogadhatatlanul mély benyomódás ($h>1,0\text{ mm}$) és nagy elektródkopás tartozik, ezért arra a következtetésre jutottam, hogy a törőerőmaximumra való optimalizálás a ponthegeesztett kötéseknel nem szerencsés, feltétlenül összetett szemléletű célfüggvény definiálására van szükség.

6. Optimalizálás többszempontú 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 $k \leq (\geq) 1$ 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 2. jelű (ld. 1. táblázat) beállítás adja, amit az adott feladatban a legkedvezőbb paraméterkombinációnak tekintek.

1. táblázat
A kísérleti terv és végrehajtása utáni mérési eredmények

Sorszám	Az elektróderő értéke [kN]	Az áramerősség értéke [kA]	A hegesztési idő értéke [s]	A benyomódások átlagértéke [mm]	A benyomódások szórása [mm]	A nyíró-szakítóerő átlagértéke [kN]	A nyíró-szakítóerő szórása [kN]
2	2	16	0,2	0,493	0,0404	16,30	0,200

7. A hagyományos és a Box-Wilson féle optimalizációs módszer összehasonlítása

A két módszer között alapvető különbségeket lehet felfedezni. A Box-Wilson féle módszernél lineáris regresszió alapján határozható meg a regressziós egyenlet, majd annak transzformálásával a fizikai változókkal felírt egyenlet. Ebből az egyenletből felírható a leghatékonyabb irány egységvektora. A tervközéppontból a leghatékonyabb irányban az egységvektor egészszámú többszörösevel haladva újabb kísérletek végezhetők a célfüggvény maximumának megtalálására.

A hagyományos optimalizálásnál azonban először a paramétertartományokat kell lehatárolni. A kiválasztott paraméterértékek kombinációjával felépített kísérleti terv felállítása, majd a kísérletek végrehajtása után következik a regresszióanalízis. Mivel a regressziós függvény analitikus alakjára nézve semmiféle támpont nincs, ezért közelítésre egy másodfokú polinom választandó, melynek szélsőértékét kell az adott tartományon belül meghatározni.

A kétféle optimalizálásból egyértelműen kiderül, hogy az ellenállásponthegesztés technológiájának optimalizálásakor a teherbírási optimum a nehezen elkészíthető, esztétikailag erősen kifogásolható paraméter tartományba esik. Az elsőrendű paraméterek közül az összeszorítóerő és a hegesztési főidő értékére ugyanaz az optimum adódott és az áramerősség-értékek is elég közel vannak egymáshoz.

8. Összefoglalás

Egy hosszabb távú ellenállásponthegesztés tárgyú kísérleti program első részének befejezése után a 2 mm vastag mélyhúzzható lágyacéllemezek átlapolt kötéseire vonatkozóan a következő megállapításokra jutottam:

1. A ponthegesztett kötések terhelhetőségének vizsgálatát jelen helyzetben célszerű az egy pont kötések nyíró-szakító vizsgálatára alapozni; ez a vizsgálat egyben lehetővé teszi a méretezési nyíró-szakítóerő meghatározását is.
2. Az ellenállásponthegesztés technológiájának optimalizálására a törőerő egymagában nem alkalmas, mert a teherbírási optimum a nehezen elkészíthető, esztétikailag erősen kifogásolható paramétertartományba esik.
3. A technológia optimalizálására komplex célfüggvényt javaslok, amely a szilárdsági és esztétikai szempont egyidejű figyelembevételével reális optimumot eredményez. A javasolt célfüggvény:
$$Y = R_n \cdot (s-h)^k$$
 alakú.
4. A komplex szempont alapján legkedvezőbbnek talált technológiai variánssal készített $n=100$ elemű mintán meghatározott méretezési nyíró-szakítóerő nagysága mindössze 1,37% relatív szórás mellett 15,87 kN volt, ami megfelel az amerikai RWMA által kidolgozott és nemzetközileg is elfogadott besorolási rendszer A betűvel jelölt legjobb minőségi osztályának.

Irodalomjegyzék

- [1]: Szabó P.: Hegesztéstechnológia optimalizálása összetett célfüggvény segítségével, Országos TDK Konferencián (Sopron, 1995) díjnyertes dolgozat, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar, 1994. p.:1-33.
- [2]: Szabó P.: Vékony lágyacéllemezek ellenállásponthegesztési feladatának optimalizálása nemlineáris polinommal (TDK dolgozat), Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar, 1995. P.:1-26.,
- [3]: Dowdy, S.; Wearden S.: Statistics for Research, John Wiley and Sons, New York, 1983.
- [4]: 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

Szabó Péter, Doktorandusz,

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Tel: (46)-365-111 / 18-44