

SZAKASZOS HŐBEVITEL KÖVETKEZMÉNYEINEK VIZSGÁLATA ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTÉSKOR

EFFECTS OF PULSED ENERGY INPUT ON RESISTANCE SPOT WELDING

Juhász Dániel*, Dr. Balogh András**

ABSTRACT

In the last decades due to the remarkable development of electronics application of pulsed energy input played more and more significant role both in fused and pressure welding processes. When the heat input is not continuous, it is possible to control the quantity of heat energy to be introduced into the base material. By means of controlled energy input the welding of thin sections and limitedly weldable materials as well as welding in out-of-flat position welding became possible.

In paper authors summarise the characteristics of pulsed energy input for resistance spot welding, outline the technological effects of its application. Conclusions drawn from theoretical considerations are validated by experimental way using unlimitedly weldable mild steel and a high strength steel requiring controlled heat input.

Kulcsszavak: ellenállás-ponthegesztés, szakaszos hőbevitel, hegesztési tartomány, nagyszilárdságú acél

1. BEVEZETÉS

A több lépcsős energia-bevitel előnye abban rejlik, hogy a hegesztés során az anyagba bevitt hőenergia mennyisége előre-pontosan tervezhető és megvalósítható. Ellenállás-ponthegesztéskor az adagokban történő energia-bevitellel, a szünetek közötti hőelvezetés hatását kihasználva, a folyamatos hőbevitelű (egyimpulzusos) ponthegesztéshez képest, a hegesztendő anyagba anélkül tudunk több energiát bejuttatni, hogy a hegesztés során az anyagot helyileg túlhevítsük. Ennek eredménye a hegesztési munkatartomány (*welding lobe*) bővülésében és/vagy stabilizálódásában jelentkezik [9].

A tömeggyártás termelékenysége és gazdaságossága érdekében fontos, hogy az automatizált gyártósorok hegesztő robotjai hosszú ideig, beavatkozás nélkül tudjanak dolgozni, a gyártási folyamatot a ponthegesztő elektródok kopásából, szennyeződéséből, és egyéb hatásokból származó munkapont-eltolódás miatt ne kelljen megszakítani. A mozgó elemek a tömegük csökkentése érdekében a kedvező szilárdság/tömegarányú nagyszilárdságú szerkezeti anyagok felhasználását igénylik. A nagyszilárdságú anyagok a kedvező mechanikai tulajdonságaikat többnyire különleges alakítástechnológiák, illetve különböző ötvöző elemek révén nyerik, ezek a hegesztéskor bekövetkező edződés veszélyét fokozzák/fokozhatják. Hegeszthetőségi tartományuk ennek következtében igen szűk tartományra koncentrálódik, amelytől való csekély eltérés már igen kis darabszám hegesztése után bekövetkezhet, hibás varratot, selejt munkadarabot eredményezve. Az automatizált gyártás, valamint a nagyszilárdságú szerkezeti anyagok felhasználása szempontjából a hegesztési munkatartomány bővítésének és stabilizálásának fontossága tehát kiemelt jelentőséggel bír.

*Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, e-mail: juhasz.daniel@uni-miskolc.hu

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, e-mail: balogh.andras@uni-miskolc.hu

lárdságú szerkezeti anyagok felhasználását igénylik. A nagyszilárdságú anyagok a kedvező mechanikai tulajdonságaikat többnyire különleges alakítástechnológiák, illetve különböző ötvöző elemek révén nyerik, ezek a hegesztéskor bekövetkező edződés veszélyét fokozzák/fokozhatják. Hegeszthetőségi tartományuk ennek következtében igen szűk tartományra koncentrálódik, amelytől való csekély eltérés már igen kis darabszám hegesztése után bekövetkezhet, hibás varratot, selejt munkadarabot eredményezve. Az automatizált gyártás, valamint a nagyszilárdságú szerkezeti anyagok felhasználása szempontjából a hegesztési munkatartomány bővítésének és stabilizálásának fontossága tehát kiemelt jelentőséggel bír.

2. A SZAKASZOS HŐBEVITEL JELLEMZŐI ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTÉSÉNél

Ellenállás-ponthegesztés során a munkadarabok hegesztéséhez szükséges hőenergia magában a hegesztendő munkadarabban keletkezik. Ebből kifolyólag szakaszos hőbevitelű eljárás és hatásmechanizmusa az ömlesztő hegesztéseknél ismert, nem folytonos hőbevitelű technikáktól alapvetően el fog térni [7, 8, 9, 10].

2.1. Az ellenállás-ponthegesztés hőforrása

Az ellenállás-hegesztés hőforrása a villamos árammal átjárt vezetők hatásos ellenállásán fejlődő ellenálláshő. A Joule-Lenz törvény értelmében a szilárd fázisú villamos vezetőt a rajta átfolyó áram a teljes térfogatában hevíti, a következő nagyságú energiával:

$$E = \int_{t=0}^{t_h} I(t)^2 \cdot R_e(t) \cdot dt \quad (1)$$

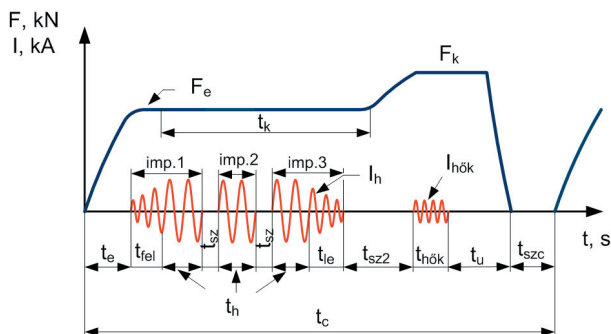
ahol:

- E, J : a villamos ellenálláson fejlődő energia,
- I, A : az ellenálláson átfolyó áram erőssége,
- R_e : az eredő ellenállás nagysága,
- t, s : idő,
- t_h, s : hegesztési idő.

A fejlődő hőenergia nagysága tehát az áramerősségtől, ellenállástól és az időtől függ. Az összefüggésből jól látszik, hogy a hegesztő áram a többi tényezőnél magasabb kitevővel szerepel, vagyis a fejlődő hőenergia nagyságára legerőteljesebb hatással ez lesz [1, 6].

2.2. A szakaszos hőbevitel

Az (1) összefüggésből következik, hogy az ellenállás-ponthegesztés során az impulzustechnika alkalmazásával a hegesztő áram által a munkadarabban keletkező hő nagyságát, ezáltal a kötés kialakulásának körülményeit tudjuk befolyásolni. Az impulzusárammal történő ellenállás-ponthegesztés folyamatát 1. ábrán látható ciklusdiagramon (munkarendi ábra, folyamatábra) kísérhetjük figyelemmel [7, 8, 9, 10].



1 ábra. Az ellenállás-ponthegesztés összetett ciklusdiagramja váltakozó áramú hegesztésnél

Az előszorítási idő (t_e) alatt az elektródok összezárnak és a beállított szorítóerővel a két megtisztított felületű lemez között kontaktust létesítenek. Amikor az elektróderő (F_e) elérte a kívánt nagyságot, az áramátfolyási szakasz kezdődik. A hegesztő áram a beállított felfutási idő (t_{fel}) után az előválasztott értéket eléri. A szabályozható áramfelfutás célja a hegesztendő anyag hővezetési képességének megfelelő hevítési sebesség biztosítása az esetleges repedések elkerülése érdekében [1, 6].

A szakaszos hőbevitelt a hegesztő főidőn belül (t_h) a szünetidőkkel (t_{sz}) megszakított váltakozó áramimpulzusok hozzák létre. Megfigyelhető, hogy fel- és lefutás csak az első és utolsó áramimpulzusnál állítható, a közbensők-nél nem.

A ciklusdiagramban a lefutási idő (t_c) szerepe a hűlési sebesség szabályozása, ezzel az arra hajlamos anyagok esetében a hűlés során bekövetkező edződési veszély csökkenthető [6].

A következő szakaszban az áram lefutását követően a heglencse dermedésekor az elektróderő megnövelhető (szokásos érték a hevítési elektróderő 2...3-szorosa). A művelet célja a hegesztés során az ömledék kristályosodásakor keletkező folytonossági hibák (szívódási üregek, gázpórusok) mennyiségi csökkentése, ha lehetséges teljes kiküszöbölése, valamint a szemcsefinomítás. Ez a szakasz a kovácsolási erő szakasza (F_k), ideje a kovácsolási idő. A kovácsolási szakasz magában foglalja a hőkezelés szakaszát ($t_{hök}$, $I_{hök}$). A ponthegesztés során alkalmazott hőkezelési művelet a ponthegesztett szerkezet költséges utóhőkezelését hivatott kiváltani, hátránya azonban, hogy a hegesztési ciklus időtartamát megnöveli, amelynek következményeként időegység alatt kevesebb ponthegesztett kötés készíthető [1, 6].

2.3. A szakaszos hőbevitel hatása a ponthegesztett kötésre

A több lépcsőben történő energiabevitel és az egyes hőimpulzusok közötti szünetek nagysága biztosítja az anyagban keletkező hőmennyiség egyenletesebb eloszlását, aminek hatásaként vastagabb lemezek és edződésre hajlamos anyagok, illetve különleges ötvözetek hegesztése is megvalósíthatóvá válik [3, 4, 6].

Folyamatos hőbevitelű ponthegesztés esetén a kívánt nagyságú hőenergia bevitel az anyagba egyszerre valószínűleg. A hegesztőáram bekapcsolásakor az átfolyó áram hatására az anyag hőmérséklete gyorsan nő (a hevítési sebesség elérheti a néhány 1000 °C/s-ot), egy meghatározott időpillanatban a munkadarabok közötti érintkezési felületen meghaladja a szolidusz hőmérsékletet és az anyag helyileg megolvad. A hevítési folyamat végére a megolvadt fém hőmérséklete általában 10...15%-kal haladja meg a likvidusz hőmérsékletet. Az áram kikapcsolásakor kezdődik az ömledék kristályosodása. A heglencsét határoló szilárd anyag hőmérséklete az olvadéktól távolodva rohamosan csökken, nagy a hőmérsékletgradiens, emiatt a heglencse gyorsan hűl, a kristályosodás sebessége a 42 mm/s-os nagyságot is elérheti [1].

A több impulzusos hőbevitel esetén a lejátszódó folyamat a fent ismertetettől némiképp eltér. A hőbevitel több lépésben, adagokban történik. Az egyes hőimpulzusok között lehetőség nyílik az anyagban a hőelvezetésre, az olvadék hűlni-, az őt határoló szilárd anyagréz pedig melegezni tud, vagyis csökken a heglencse és a környező anyagréz közötti hőmérséklet-különbség, csökken a hőmérsékletgradiens. Az újabb hőadag(ok) bevitelénél a olvadék egyre lassabban hűl, a vele közvetlen érintkezésben lévő szilárd anyagréz pedig tovább melegszik, míg eléri a szolidusz hőmérsékletét és megolvad, aminek következtében a folyadék fázis folyamatosan egyre nagyobb térfogatokra terjed ki. Az impulzusszám (N_i) növelése tehát a pontátmérő növekedését vonja maga után [2, 7, 8, 9, 10, 12].

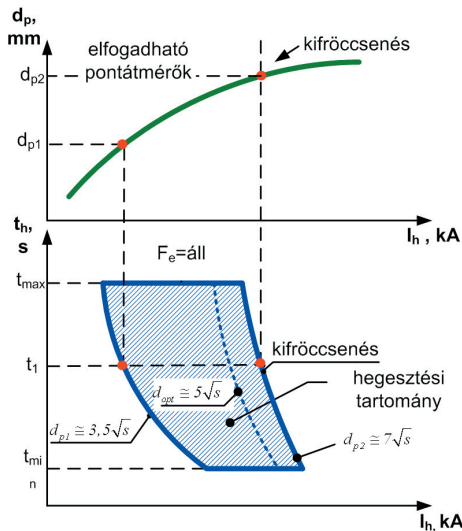
2.4. A szakaszos hőbevitel hatása a ponthegesztés technológiájára

Az MSZ EN ISO 14327:2004 szabvány szerint egy ponthegesztési feladat megoldására számításba vehető hegesztő idő (t_h) és hegesztő áram (I_h) kombinációkat az állandó elektróderőhöz (F_e) tartozó hegesztési tartomány, az elektróderő és hegesztőáram (I_h) kombinációkat pedig az állandó hegesztő időhöz (t_h) tartozó hegesztési munkatartomány (*welding lobe*) jelöli ki.

Hőimpulzusos ellenállás-ponthegesztéskor ugyanazt a hőmennyiséget több szakaszban, szünetek közbeiktatásával generáljuk. Az egyes hőimpulzusok közötti szünetidőben a hevített térfogat az anyagban végbemenő hővezetéssel a következő hőimpulzus kezdetéig valamelyest hűlni tud. Ennek következményeként a *welding*

lobe jobb oldali határát kijelölő kifröccsenés (2.ábra) várhatóan nagyobb hőáram alkalmazása során fog bekövetkezni, mint folyamatos hőbevitelű (egyimpulzusos) ponthegesztés alkalmazásakor.

Hőimpulzusos ellenállás-ponthegesztés során tehát az állandó elektróderő esetére érvényes hegesztési áram-idő tartomány szélesedésével számolhatunk, egyidejűleg a kifröccsenés határvonalát jelző szaggatott vonal jobbra tolódása várható [7, 8, 9, 10].



2. ábra. Ponthegesztési áram-idő tartományok származtatása állandó elektróderő esetére (a pontátmérőre vonatkozó képletek tájékoztató jellegűek)

3. A SZAKASZOS HŐBEVITEL ALKALMAZÁSÁNAK HATÁSA AZ ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTÉS MUNKARTOMÁNYÁRA

Az ellenállás-ponthegesztés munkatartományának ismerete egy ponthegesztési feladat sikeres megvalósításának elengedhetetlen feltétele. A hosszú idejű, megszakítás nélküli, automatizált gyártási folyamatok, illetve a nehezen hegeszthető anyagok esetében a folyamat-stabilitás kérdése kulcsfontosságú, a hegesztési tartomány alakjával és méretével függ össze. A technológiai folyamat stabilitásának javítása a tartományok szélesítésével és/vagy bővítésével biztosítható. A 2.3. és 2.4. pontokban tett elméleti megfontolások szerint erre a szakaszos hőbevitel alkalmazása kiváló lehetőségnek kínálkozik. A következőkben a szakaszos hőbevitel hegesztési tartományra gyakorolt hatását kísérleti úton vizsgáljuk.

3.1. A hegesztési tartományok felvételének kísérleti körülményei

A kísérletek végrehajtására a Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszékének Hegesztő Laboratóriumában került sor, TECNA 8007 típusú egyfázisú, váltakozóáramú, programozható pont- és dudorhegesztő gép alkalmazásával.

A kísérlethez szükséges anyag megválasztásánál tekintettel voltunk arra, hogy az ellenállás-ponthegesztést legnagyobb arányban a gépjárműgyártásban, a karosszéria elemek hegesztésekor alkalmazzák. A gépkocsi karosszéria elemeket jellemzően mélyhúzással állítják elő, éppen ezért a kísérleti vizsgálatok alapanyagául az MSZ EN ISO 10130:2007 szabványnak megfelelő DC 01 jelű, $s=1$ mm vastagságú acélt választottuk.

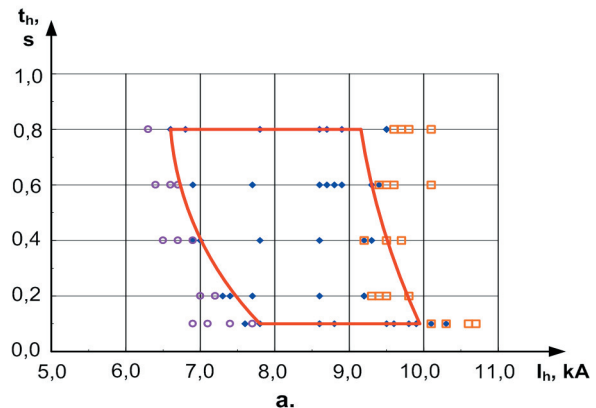
A hegesztés az MSZ EN 25184:1995 szabvány B típusának megfelelő csonkakúp végződésű alsó és felső elektróddal történt. Az elektródok homloklapjának átmérőjét a lemezvastagság függvényében a (2) összefüggés alapján számítottuk ki.

$$d_e = 5 \cdot \sqrt{s} = 5 \cdot \sqrt{1} = 5 \text{ mm} \quad (2)$$

3.2. A hegesztési tartományok kísérleti felvétele

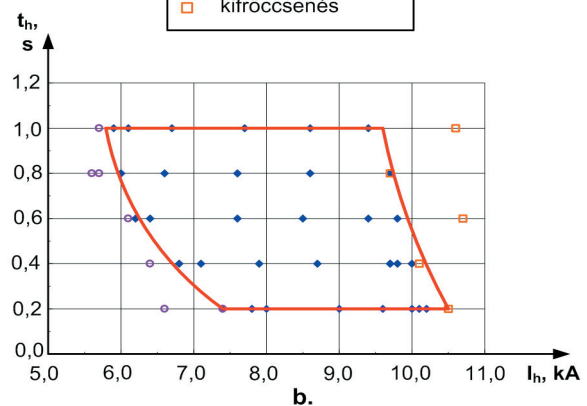
A hegesztési tartományok meghatározási módja a kísérleti eredményekből történő felvétel. A kísérletes felvétel körülményeit MSZ EN ISO 14327:2004 szabvány tartalmazza.

3.2.1. Állandó elektróderőre érvényes hegesztési tartomány



Jelmagyarázat:

- elégtelen hegedés
- ◆ megfelelő kötés
- kifröccsenés



3. ábra Állandó elektróderőre érvényes hegesztési tartomány DC 01 jelű, $s=1$ mm-es lemezre vonatkozóan a.: folyamatos hőbevitelre; b.: szakaszos hőbevitelre

Az állandó elektróderőre vonatkozó hegesztési tartomány kísérleti felvételek az elektróderő értékét a lemezvastagság függvényében az RWMA (*Resistance Welding Manufacturing Alliance*) ajánlása alapján $F_e=2$ kN-ra választottuk.

A hegesztési idő értékének minimumát az extrakemény munkarendre jellemző $t_h=5$ per-nál ($t_h=0,1$ s, ha $f=50$ Hz) határoztuk meg, a hegesztő idő maximumát a lágy munkarend tartományába eső $t_h=40$ per értéknél ($t_h=0,8$ s) maximáltuk.

Szakaszos hőbeviteli módként szimmetrikus kétimpulzust alkalmaztunk, az egyes hőimpulzusok közötti szünetidő (*cold time*) értékét előkísérletek eredményei alapján $t_{sz}=0,3$ s értékben vettük fel.

Szimmetrikus kétimpulzus alkalmazásakor a TE-550 jelű szabályozó egységgel szerelt TECNA 8007 típusú ponthegeztőgép a beállított hegesztő időt az egyes hőimpulzusokra vonatkoztatja. A hegesztési tartomány felvétele során ezt a jelenséget figyelembe vettük.

A kísérleti eredményekből meghatározott DC 01 jelű, $s=1$ mm-es vastagságú lemezre érvényes, állandó elektróderőre vonatkozó hegesztési tartományokat egymással összehasonlítva, jól szembejön, hogy a szakaszos hőbeviteli tartomány, a folyamatos hőbeviteléhez viszonyítva mind az alsó-, mind a felső határát tekintve észrevehető módon szélesedett. A legkisebb $t_h=0,2$ s-os hegesztési idő beállításakor a szélesedés főként a hegeszthetőség felső határára nézve történt, oly módon, hogy míg folyamatos hőbeviteli ponthegeztéskor már $I_h=9,8$ kA-es nagyságú hegesztőáram kifröccsenést okozott, addig a szimmetrikus kétimpulzusos hőbevitel esetén ez az érték az $I_h=10$ kA-es nagyságot meghaladta. Ez a tendencia a további hegesztő időkhöz tartozó áram-értékeket vizsgálva is látható, azzal a különbséggel, hogy az időt növelve nemcsak a tartomány felső határa tolódik el a nagyobb és kedvezőbb értékek irányába, hanem az alsó határ áram-értékeinél is egyre jelentősebb szélesedés jelentkezik, mégpedig az alacsonyabb értékek irányában.

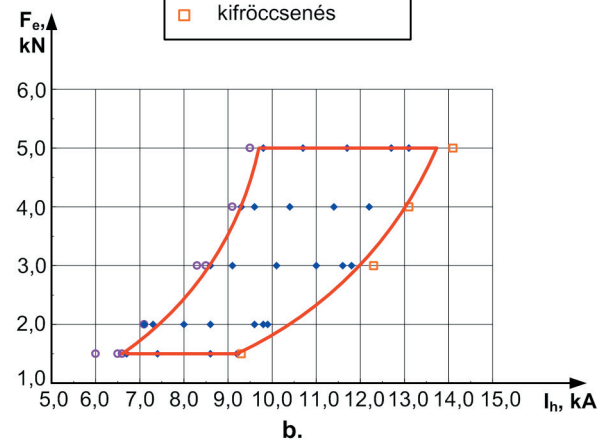
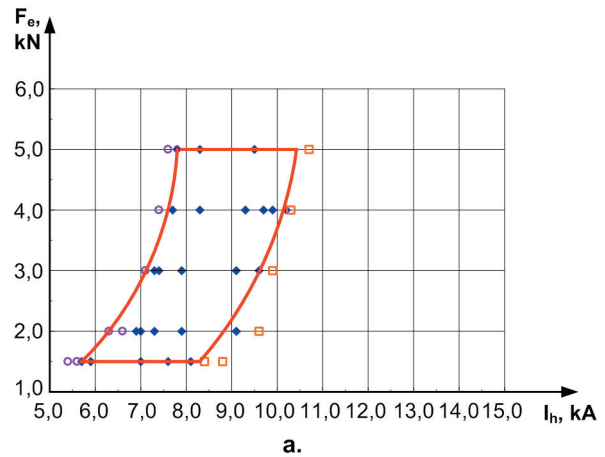
3.2.2. Állandó hegesztési időre érvényes munkatartomány

A konstans hegesztési idő értékét a lemezvastagság függvényében az RWMA ajánlása alapján $t_h=0,2$ s-os nagyságban rögzítettük.

A kísérlet végrehajtásakor az elektróderő értékének minimumát $F_e=1,5$ kN-os értéknél vettük föl, az elektróderő maximumát $F_e=5,0$ kN-os értékben határoztuk meg. Szakaszos hőbeviteli módként szimmetrikus kétimpulzust alkalmaztunk, az egyes hőimpulzusok közötti szünetidő (*cold time*) értékét, a korábban tett megfontolásnak eleget téve, $t_{sz}=0,3$ s-ra választottuk.

A kísérleti eredményekből meghatározott DC 01 jelű, $s=1$ mm-es vastagságú lemezre érvényes, $t_h=0,2$ s-os állandó hegesztő időre vonatkozó hegeszthetési tartományokat egymással összehasonlítva, itt is jól látható az a hatás, amelyet a hőciklusok közé megfelelően választott nagyságú szünetidő eredményezett.

A szakaszos hőbeviteli tartomány, a folyamatos hőbeviteléhez viszonyítva jobbra tolódott, valamint mind az alsó, mind a felső határánál észrevehető módon bővült.



4. ábra. Állandó hegesztési időre érvényes hegesztési tartomány DC 01 jelű, $s=1$ mm-es lemezre vonatkozóan a.: folyamatos hőbevitelre; b.: szakaszos hőbevitelre

Sorszám	Hőimpulzusok száma (N)	Hőimpulzusonkénti hegesztő főidő (t_{h1}), s	Hegesztő áram (I_h), kA
1	1	0,6	9,0
2	2	0,3	8,9

1. táblázat. Az alkalmazott ponthegeztési paraméterek

A legkisebb $F_e=1,5$ kN-os elektróderőt működtetve, a hegeszthetőség alsó határa, mintegy 1 kA-es nagysággal jobbra tolódott, emellett az az intervallum, amely megfelelő pontkötéseket eredményezett a körülbelül 2,5 kA-es nagyságról 3 kA-es-re szélesedett.

Az eltolódás a nagyobb elektróderők irányában egyre intenzívebben folytatódott. Míg folyamatos hőbeviteli

ellenállás-ponthegesztés esetén $F_e=5,0$ kN-os elektróderőt alkalmazva a tartomány alsó határa 8 kA körül volt, addig szakaszos hőbevitellel hegesztve ez majdnem 10 kA-re növekedett. A megfelelő pontkötést eredményező áramintervallum ilyen elektróderőnél a folyamatos hőbevitelnél adódó nem egészen 3 kA-ról, 4 kA-es nagyságúra, (vagyis 33,3%-kal) szélesedett.

4. NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉL FINOMLEMEZ PONTHEGESZTÉSE SZAKASZOS HŐBEVITELLEL

A nagyszilárdságú acélok ömlesztőhegesztéséhez hasonlóan a ponthegesztése is csak igen szűk energia tartományban lehetséges. A gyártás során az elektródkopás, szennyeződés, továbbá egyéb hatások következtében e keskeny intervallum igen nehezen tartható. A hegesztési tartománytól való csekély eltérés is nem megfelelő kötést, selejt szerkezetet eredményezhet. A szakaszos hőbevitel nyújtotta előnyök (munkatartomány-szélesítés, a hegesztendő darabban kialakuló kedvezőbb hőmérséklet-eloszlás) különösen az ilyen nehezen hegeszthető anyagok esetében érvényesülnek [9, 5, 11].

4.1. Kísérleti körülmények

A kísérletekhez felhasznált anyag az EN 10137-2 szabvány szerinti S 690Q jelű, nemesített, $s=10$ mm vastagságú nagyszilárdságú szerkezeti acél volt.

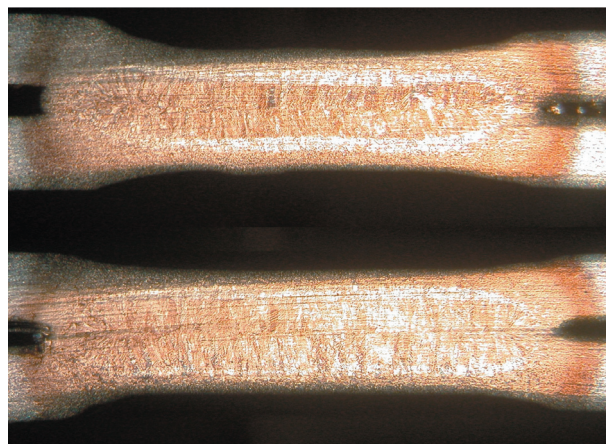
A rendelkezésre álló anyag vastagsága az ellenállás-ponthegesztéssel feldolgozható, szokásos mérettartományon ($s \leq 3$ mm) kívül esett, ezért azokból $s=1$ mm vastagságú próbatesteket készítettünk. A próbatestek megtervezésekor abból indultunk ki, hogy a szükséges legkisebb mértékű forgácsolással lehessen ponthegesztésre alkalmas darabokat előállítani. A ponthegesztett próbák kizárólag laboratóriumi szövetelemzés és keménység-eloszlási vizsgálat céljára készültek, ezért a próbatestek hosszát és szélességét 50x50 mm-es nagyságban állapítottuk meg.

Szakaszos hőbevitelként az idáig alkalmazott szimmetrikus kétimpulzust használtuk, az egyes hőimpulzusok között $t_{sz}=0,3$ s-os szünetidőt állítottunk be. A kísérletek technológiai paraméterei az 1. táblázatban találhatóak.

4.2. A pontkötések metallográfiai vizsgálata

Az 5. ábrán látható makroképek jól tükrözik az 2.3. pontban ismertetetteket, az ábra alsó részén lévő, szimmetrikus két hőimpulzussal készített kötés megömlött része nagyobb, mint a felső részen bemutatott folyamatos hőbevitel alkalmazása mellett ponthegesztett varraté. A két varrat hőhatásövezetének méretében is különbözik egymástól. A folyamatos hőbevitellel készített pontkötés hőhatásövezete az olvadékból kristályosodott kötérszészhez viszonyítva láthatóan nagyobb távolságra terjed ki,

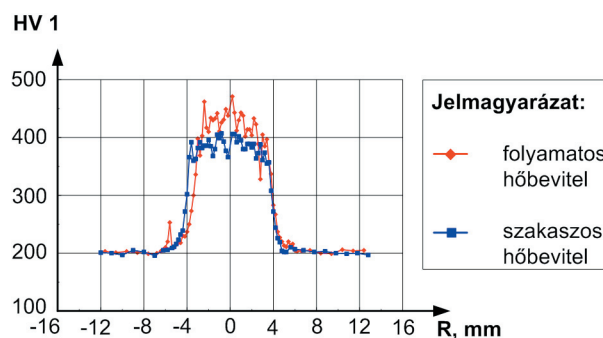
mint az ugyanezen paraméterek alkalmazásával készített szakaszos hőbevitelű pontvarraté. A két kötés egymástól láthatóan az elektródok benyomódásának nagyságában is eltér egymástól, ennek mértéke észrevehetően felső (folyamatos hőbevitellel hegesztett) próbatesten nagyobb.



5. ábra. A szakaszos és folyamatos hőbevitellel készített pontkötések összehasonlítása (felül a folyamatos hőbevitellel készített, alul a szakaszos hőbevitellel készített próbatest makroképe látható) $N=40\times$

4.3. A folyamatos és szakaszos hőbevitel alkalmazása mellett kialakuló keménység-eloszlás

A hegesztéshez felhasznált anyag a CR ISO 15608:2000 szabvány szerinti csoportosításban a 3-as főcsoportba tartozik. A hegesztett kötés megengedhető maximális keménység értékéről az EN ISO 15614:2004 szabvány rendelkezik, ezek alapján az S 690Q acélban a megengedhető maximális keménység, hőkezeletlen állapotban 450 HV.



6. ábra. Keménységeloszlás a ponthegesztett kötésben

A keménységmérést a MITUTOYO MVK-H1 típusú mikrokeménység-mérő berendezéssel végeztük.

A próbatesteken a keménységmérést a varratban és a hőhatásövezetben $Dx=0,2$ mm-enként a lemezvastagság felénél végeztük. A kapott eredmény az 6. ábrán látható. Az ábrát elemezve megfigyelhetjük, hogy folyamatos hőbevitelnél a maximális keménység 471 HV 1 érték volt, ez a nagyság az EN ISO 15614:2004 szabvány sze-

rinti ajánlás felső határát meghaladja, így a folyamatos hőbevitellel hegesztett kötés már nem minősíthető megfelelőnek. Szakaszos hőbevitel esetén a keménységcsúcsok alig haladták meg a 400 HV 1-es értéket, vagyis bebizonyosodott, hogy a varrat hülési sebessége a két hőimpulzus közé iktatott szünetidőnek köszönhetően valóban lassabb volt, mint folyamatos hőbevitelű ponthegesztésnél, ennek jótékony hatása pedig a kevésbé rideg szövetszerkezetben jelentkezett.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakaszos hőbevitel széleskörű elterjedése a hegesztések terén jelentős előnyökkel jár. Ellenállás-ponthegesztés esetén a nem folytonos energiabevitel alkalmazásának hatásai az elméleti megfontolások és a kísérleti vizsgálatok alapján az alábbiakban foglalhatók össze:

1. a szakaszos hőbevitel hatásmechanizmusának elemzéséből megállapítottuk, hogy növekvő impulzusszám növeli a kialakuló pontátmérők nagyságát, ezt a nagyszilárdságú acélon végzett kísérleti eredmények is alátámasztják;
2. lágyacéllemezeken elvégzett vizsgálatok bizonyították, hogy folyamatos hőbevitel helyett szakaszost alkalmazva a ponthegesztés munkatartomány (welding lobe) bővül;
3. a nagyszilárdságú acélon végzett kísérletek eredményeinek alapján kijelenthető, hogy a szakaszos hőbevitel kedvező megoldást jelent az ilyen, ellenállás-ponthegesztéssel nehezen hegeszthető korszerű anyagok hegesztési problémáira.

SUMMARY

Extensive spread of discontinuous energy input in welding is thought advantageous. On the basis of theoretical considerations and experimental results effects of applying pulsed energy in case of resistance spot welding can be summarised as follows.

1. *on the basis of affecting mechanism of pulsed energy input it was stated that the rising number of pulses increases the formed nugget diameter, this conclusion is confirmed by results of spot welding experiments carried out for high strength steel;*
2. *investigations made on mild steel sheets proved that the use the pulsed energy input instead of continuous one the welding lobe (in computer language: the welding window) widens;*
3. *From the experimental results concerning the high strength steels it can be established that the pulsed (discontinuous) energy input offer a favourable solution on the welding problems of such advanced but difficult weldable materials.*

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk a Gépipari Tudományos Egyesületnek, amiért meghívásuk alapján Juhász Dániel a 30. Balatoni Ankéten előadást tarthatott a GTE Hegesztési szakosztályának Nyomástartó Edények és Csövezetékek Hegesztése szakbizottsága Diplomaterv pályázatán első díjat nyert, Dr. Balogh András témavezetésével készített diplomatervének témájából.

HIVATKOZÁSOK

- [1] ORLOV, B. D.: Ellenállás-hegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980
- [2] GOULD J. E.: An Examination of Nugget Development during Spot Welding, Using Both Experimental and Analytical Techniques, Welding Journal, 1987. January, p.: 1s-10s
- [3] KILLING, R.: Welding Processes and Thermal Cutting, DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf, 2001 (English Edition, Vol. 1)
- [4] GIRISH, P., KELKAR, P.: Why use multiple-impulse resistance welding?; <http://www.weldingconsultant.com/ImpulseWelding.pdf>, 2004
- [5] POGGIO, S.; PONTE, M.; GAMBARO, C.; ADAMOWSKI, J.: Resistance Spot Welding of Advanced High Strength Steel DP600 <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/LINK/45.pdf>;
- [6] SZUNYOGH L.: Hegesztés és rokontechnológiák; Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007 (in Hungarian)
- [7] JUHÁSZ D.: Ellenállás-ponthegesztés munkatartományának szélesítési lehetősége több impulzusos hőbevitellel, TDK dolgozat, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, (konzulens: Dr. Balogh András), 2008; p.:1-49
- [8] JUHÁSZ D., BALOGH A.: Possibilities for Widening of RSW Weldability Lobe by Multi-Pulse Welding, XXIII: microCAD, Nemzetközi Tudományos Konferencia, 2009, L szekció: Anyagtudomány és Mechanikai Technológiák, p.: 37-42
- [9] JUHÁSZ D.: Szakaszos hőbevitel következményeinek vizsgálata ellenállás-ponthegesztéskor, Egyetemi diplomaterv, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, (tervezésvezető: Dr. Balogh András), 2009, p.:1-135 (in Hungarian)
- [10] BALOGH A.: Szakaszos energiabevitel ömlesztő- és sajtolóhegesztéseknél, Hegesztéstechnika, XX: (2009), 1. szám; p.: 7 – 12 (in Hungarian)
- [11] L. CORTÉZ, V. H.; REYES, VALDÉS, F. A.: Understanding Resistance Spot Welding of Advanced High Strength Steel, Welding Journal, 2008. Decembre, p.:36-40
- [12] SRIKUNWONG C.; DUPUY T.; BIENVENU Y.: Numerical Simulation of Resistance Spot Welding Process Using FEA, http://www.boulder.nist.gov/div853/events%20-%20Welding%20Conference/Weld_Papers/1-2%20Srinkunwong-manuscript-pdf.pdfTechnique,