XVI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2011. március 24–25.

ALUMÍNIUM ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTÉSE KÖZÉPFREKVENCIÁS EGYENÁRAMÚ INVERTER SEGÍTSÉGÉVEL

PINTÉR Kristóf

Abstract

The study contains the presentation of the intermediate frequency DC inverter, what a new fitting of resistance welding technology. Test welds in carried out, to illustrate the benefits and limitations of the equipment. The material of the welding test was an aluminum alloy, because the benefits of the equipment are during welding of the aluminum constructions utilized most. The widespread practice of industrial welding machines, welds and operating conditions were carried out. So we wanted to, that the inverter is suitable for the preparation of the quality of welds in the industry under the prevalent conditions. The successful of the welds was tested with a tensile machine. The welds were defined by the measured maximum shear traction forces.

Key words:

aluminum, resistance spot welding, intermediate frequency DC inverter.

Összefoglalás

A dolgozat az ellenállás-hegesztés technológiájának egy új berendezésével, a középfrekvenciás egyenáramú inverterrel foglalkozik. Az elvégzett próbahegesztéseken keresztül mutatja be a berendezés előnyeit és korlátait. A próbahegesztések alapanyaga egy alumíniumötvözet volt, mert a berendezés előnyei az alumíniumszerkezetek hegesztése során hasznosíthatóak a leginkább. A hegesztéseket az ipari gyakorlatban elterjedt hegesztőgéppel és üzemi körülmények között végeztük, vagyis a hegesztendő lemezeket nem felületkezeltek előzetesen. Így arra kerestük a választ, hogy az inverter milyen minőségű varratok elkészítésre alkalmas az iparban elterjedt feltételek mellett. A hegesztések sikerességének vizsgálata szakítóvizsgálattal történt, az ekkor mért maximális nyíró-húzó erőkkel minősítettük a varratpontokat.

Kulcsszavak:

alumínium, ellenállás-ponthegesztés, egyenáramú középfrekvenciás inverter

1. Bevezetés

Az alumínium – metallográfiai sajátosságai miatt – az acélokétól eltérő hegesztéstechnológiát igényel. A legjelentősebb eltérést az acéloktól az alumínium felületét borító nagy olvadáspontú, természetes oxidréteg, a kis olvadáspont, valamint a jó elektromos- és hővezető-képesség jelenti. Mivel az ellenállás-hegesztés, azon belül is az ellenállás-ponthegesztés leginkább a karosszériagyártásban terjedt el, ahol nagyarányú az alumíniumötvözetek felhasználása, nélkülözhetetlenné vált olyan az technológiák és berendezések kifejlesztése, amelyekkel megfelelő minőségű varratok készíthetők. Az egyik új fej-

lesztés ezen a területen, az egyenáramú középfrekvenciás inverter, ami kiváló szabályozhatóságot tesz lehetővé, és kellően nagy áramerősséget tud biztosítani. A dolgozat elsősorban ennek az új fejlesztésnek és a hozzá tartozó technológiának a bemutatására koncentrálni, elvégzett próbahegesztések révén.

2. Ellenállás-ponthegesztés (MSZ EN ISO szerinti 21-es eljárás) jellemzői

Ellenállás-hegesztés során a varrat létrejöttéhez erő- és hőhatás együttesen szükséges. Elve a fémek elektromos ellenállásán alapszik, mivel a szükséges hő úgy fejlődik, hogy a fémeken átvezetett áram ellenállásba ütközik, és ezért felmelegíti a munkadarabokat. Ponthegesztés (1. ábra) során a munkadarabokba vezetett hő a hegesztő áramkörben fejlődő Joule-hővel lesz megegyező, amely az átfolyó „I” áram, a munkadarabok és elektródák „R” ellenállása és a „t” hegesztési idő függvénye: $Q=I^2 \cdot R \cdot t$ [J]. A kialakuló varratpontok minőségét befolyásoló negyedik tényező a lemezeket összeszorító F erő, amit az elektródák közvetítenek a munkadarabokra. A vizsgálatok során ezeket a paramétereket változtattuk és vizsgáltuk hatásukat a varratok minőségére.

1. ábra A ponthegesztés elvi vázlata

2. ábra Az alumínium tipikus hegesztési ciklusa

3. Az alumínium ellenállás-ponthegesztése

A szakirodalom az alumínium hegesztésére úgynevezett kemény munkarendet (2. ábra), utánsajtoló erőt, és felületi előkészítést javasol. A kemény munkarend során az összehegesztendő munkadarabokon rövid hegesztési idő alatt, nagy áramerősséget vezetnek át. Ez jó elektromos vezető anyagok hegesztéséhez megfelelő technológia. A rövid hegesztési időből következik, hogy a hálózati áramot nagyon gyorsan kell több ezer amperre feltranszformálni és a beállított áramerősségen tartani. Ez nagyteljesítményű transzformátort, valamint gyors szabályozhatóságot igényel.

Az utánsajtoló erőre (F_{us}) az alumínium hűlésekor bekövetkező nagymértékű zsugorodás miatt van szükség. Ennek az erőnek a kifejtéséhez egy, a hegesztő berendezés pneumatikus rendszerébe beépített proporcionális szelep szükséges. Ez az alkatrész megdrágítja a gép árát, és megfelelő pneumatikus csőrendszer hiányában nem is alkalmazható megfelelően. A felületek előkészítése alatt az oxidréteg mechanikai vagy kémiai úton való eltávolítását értjük, ugyanis a felületen hagyott oxidréteg szórását okozhat az egyes varratpontok szilárdságában, valamint meggyorsítja az elektródák kopását. Mivel az

oxidréteg eltávolítása megnöveli a gyártási időt és költséget, ezért az ipari gyakorlatban – ha lehetőség van rá – ezt a lépést gyakran elhagyják.

Az elvégzett kísérletek során egy hagyományos, ipari körülmények között is elterjedt hegesztő berendezést alkalmaztunk, korszerű vezérléssel. A hegesztés beállított paramétereit középfrekvenciás egyenáramú inverter szabályozta. A vizsgálatokat úgynevezett üzem-körülmények között végeztük, vagyis az alumíniumlemezek felületéről nem távolítottuk az oxidréteget a hegesztés előtt. Utánsajtoló erőt sem alkalmaztunk, mert az iparban használt berendezések többsége sem rendelkezik az előállítás-hoz szükséges alkatrészekkel. A legfőbb kérdésnek azt tekintettük, hogy az új technológia ilyen körülmények között, milyen varratminőségek előállítására képes, és hogyan reagál a hegesztési paraméterek változására.

4. A középfrekvenciás egyenáramú hegesztőberendezés

A középfrekvenciás egyenáramú technika csak nagyfrekvenciás váltóval és primer oldali inverterrel valósítható meg. Ez az egység a hálózati áramot feltranszformálás után egyenirányítja, a frekvenciáját felszabályozza, majd a szekunder oldalon visszaalakítja. Az egyenáramot a vezérlés tartja beállított állandó szinten azáltal, hogy egyik periódusban mér, a másikban ennek megfelelően szabályoz. A közel állandó áramerősség tartásához sűrű beavatkozásra van szükség, ami sok rövid periódust igényel. A középfrekvenciás technika erre lehetőséget biztosít. A középfrekvencia 1000-1500 Hz-es egyenáramot jelent ez esetben, ami 0,001 szekundumos periódusidőt eredményez. Ez azt jelenti, hogy 100 millisekundum alatt 100000 periódus áll a vezérlés rendelkezésére, ebből 50000-szer tud beavatkozni. Ezzel a technológiával már megvalósítható az ideális kemény munkarend. Az egyenáram további előnye a váltakozó árammal szemben, hogy nem lép fel az impedancia jelensége, ami az ablakhatást eredményezi.

A hegesztő berendezést vezérlő inverter adatai: gyártó: HARMS+WENDE; típus: HWI 2808L; IQR HAND 5102; teljesítmény: 80 KVA; tápfeszültség: $3 \times 400\text{V}/50\text{Hz}$; inverter kimenő feszültség: $500\text{V}/1000\text{Hz}$. A hegesztési paraméterek a számítógépen futó, ugyancsak HARMS+WENDE fejlesztésű, Pegasus programmal kerültek beállításra. Ez a program felhasználó-barát környezetben, jól áttekinthetően, a hegesztés több mint 70 paraméterét optimalizálva kezeli, mint pl.: az áramerősség, a hegesztési idő, az áramimpulzus lefutása stb.

5. Alumínium ellenállás-ponthegesztési kísérletek

A kísérletekhez használt lemezek anyaga EN AW 5754; H22 (AlMg3; félkemény) minőségű, nem nemesíthető alumíniumötvözet. A 1,5mm vastagságú, 150×30mm méretű lemezcsíkokat 30mm-es átlapolással hegesztettük össze. A hegesztési elrendezés állandóságát úgy biztosítottuk, hogy hegesztés előtt a lemezeket készülékbe helyeztük.

A hegesztési paraméterek közül a nyomóerőt, az áramerősséget és a hegesztési időt változtattuk. Az első mérési sorozatok alatt a paraméterek változtatásával a beállítható paraméterek határait kerestük. Az első két mérési sorozat alatt felső határnak a gép korlátait, illetve a kifröcskölést tekintettük, alsó határnak azt, ahol a hegesztett kötés már nem tudott kialakulni. Az egyenáramú hegesztőáram 1kHz-es volt végig, így egy periódus 1ms alatt futott le. Az első két mérési sorozat eredményei alapján további próbahegesztéseket végeztünk: itt már csak a korábbiak alapján, a legerősebb varratokat eredményező beállításokat vizsgáltuk részletesebben. Állandó áramerősség mellett növeltük a hegesztési időt, majd a szélsőértékek elérése után megnöveltük az áramerősséget és előlről kezdtük a mérési sorozatot. Felső határnak továbbra is a gép korlátait, illetve a kifröcskölést tekintettük.

Az elkészült varratokon szakítóvizsgálatokat végeztünk. Az ellenállás-ponthegesztés egy szokásos vizsgálatáról van szó, ahol nem nyíró-húzó szilárdság meghatározása a cél, hanem a maximális nyíró-húzó erő értékének mérése, amit még éppen el tudott viselni a kötés. A szilárdság számítása már azért sem cél, mert a pontvarratok pontos keresztmetszeti értéke nem határozható meg egyértelműen. A varratpontok szakítóvizsgálata alatt egy varrat sem gombolódott ki az alapanyagból, igaz ez a jelenség inkább az acélokra jellemző.

6. Vizsgálati eredmények

Az áramerősséget 18kA-ról növeltük 22,5kA-ig, mert az előzetes mérések azt bizonyították, hogy a legerősebb varratok ezekkel a beállításokkal érhetőek el. A **3/a. ábrán** látható bekarikázott tartományban alakultak ki a legnagyobb nyíróerejű varratpontok ($F_{\max} \geq 4000\text{N}$). A diagramból jól leolvasható, hogy ezek a varratok 20kA-nél nagyobb áramerősséggel készültek, és látszik, hogy rövid 100-200ms-os idő alatt. Ez megfelel a korábban tárgyalt kemény munkarend beállításainak. Mint a dolgozat mérési eredményei tanúsítják a nagy áramerősség szükséges az alumínium ponthegesztéséhez, a rövid hegesztési idő viszont nem csak az esetleges kilágyulás veszélye és az alumínium jó hővezetése miatt szükséges.

Látható, hogy az alumínium hegesztéséhez szükséges nagy áramerősségek miatt, már a gép teljesítménykorlátja is korlátot szab a beállítható hegesztési időnek (az a tartomány ahol a görbék nem folytatódnak) Mivel az 50ms még túl rövid hegesztési idő, és 200ms-nál már problémák jelentkeznek, ezért megállapítható, hogy a 1,5 mm-es lemezek hegesztéséhez a $100 [\text{ms}] \leq t \leq 200 [\text{ms}]$ hegesztési idő a leoptimálisabb. Alacsonyabb áramerősségek mellett nem mutatkozik összefüggés a hegesztési idő növelése és a varratpontok nyíróerejének változása között, igaz, az ebbe a tartományba tartozó varratpontok szilárdsága elmarad a nagy áramerősséggel hegesztett varratpontok szilárdságától.

A **3. ábra** görbéit külön-külön megvizsgálva nem találunk általános érvényű összefüggést a hegesztési idő növekedése és a nyíró-szakító erő változása között, mint ahogy az áramerősség növekedésével monoton nő a nyíró-szakító erő. Viszont együttesen vizsgálva görbéket, láthatjuk, hogy mindegyik egy

3. ábra A maximális nyíró-húzó erő változása a hegesztési idő függvényében

szűk, a beállított áramerősség nagyságától függő sávban halad. Ezek sávok általában 600-1000 N szélesek, vagyis hegesztési idő növelése során ennyi különbség alakul ki a legerősebb és a leggyengébb varratok nyíróereje között, annak ellenére, hogy a hegesztési idő csaknem tízszeresére nő. Az is megfigyelhető, hogy ezeknek a szűk sávoknak a középvonalai az áramerősség értékek növekedésével emelkednek. Ebből megint csak a nagy áramerősség jelentősége tükröződik, vagyis minél nagyobb áramerősséggel dolgozunk annál erősebb varratpontokat kapunk.

A negyedik mérési sorozatban 20kA-es sorozatból, egymás után kettőt készítettünk ugyanolyan körülmények között, hogy megvizsgálhassuk a gép megbízhatóságát nagy áramerősség mellett történő hegesztések alatt is. A mérési eredmények alapján a **4 ábrán** látható diagram készült. A két görbe párhuzamosan

5. ábra Két egymás után, ugyanolyan értékekkel felvett görbe

zamosságából, és hogy közel azonos eredményeket kaptunk, megállapítható, hogy a gép viszonylag magas áramerősség és hosszabb hegesztési idő mellett is megbízhatóan állítja elő a beállított értékeket és előre kalkulálható szilárdságú varratokat készít.

7. Összefoglalás

A varratok nyíró-szakító ereje az esetek többségében a várt eredményekkel megegyezett, az oxidréteg a mérések kiértékelését lehetetlenné tevő szórást nem okozott. Külön ilyen célból végzett kísérletek is azt mutatták, hogy az oxidréteg előzetes eltávolítása nélkül is az azonos beállítások ugyanazokat az eredményeket produkálják, vagyis nincs jelentős szórás az eredményekben. Hegesztési sorozatok összehasonlítása bebizonyította, hogy az áramerősségnek van legnagyobb hatása a varrat minőségére. Helytelenül megválasztott áramerősséget nem lehet kompenzálni a többi paraméter javításával.

Irodalom

- [1] Varga István: *Az alumíniumhegesztés technológiája I. – Sajtoló hegesztések*. Magyar Alumíniumipari Tröszt
- [2] Gáti József (szerk.): *Hegesztési zsebkönyv*, COKOM Mérnökiroda Kft., 2003
- [3] Kovács Mihály: *Hegesztés*, Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2002
- [4] Bagyinszki Gyula, Kovács Mihály: *Gépipari alapanyagok és félkész gyártmányok – Gyártásismeret*, Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester Kiadó, 2002
- [5] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika I. - Eljárások és gépesítés*, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010 (ISBN 978-606-8178-04-2).
- [6] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika II. - Berendezések és mérések*, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010 (ISBN: 978-606-8178-05-9).

Pintér Kristóf, egyetemi hallgató

Munkahely: Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Cím: H-1081 Budapest, Népszínház u. 8, Hungary
E-mail: christopf@citromail.hu