

CSŐSZERŰ ALKATRÉSZEK ÉS CSŐSZEGMENSEK SAJTOLÓ HEGESZTÉSI ELJÁRÁSAI

PRESSURE WELDING PROCESSES OF TUBULAR PARTS AND PIPE SEGMENTS

Kenéz Attila Zsolt,^{1,2} Bagyinszki Gyula³

¹Hilti Szerszám Kft., Kecskemét, Magyarország, attila.kenez@hilti.com

²Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, kenez.attila@phd.uni-obuda.hu

³Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

Joining of tubular (hollow, sectioned) parts to each other or for rods- and sheet-like pieces, occasionally for pipe segments, are often made using technology applying a pressure welding process. These processes are using mostly electrical, thermochemical or mechanical energy, and the implementation is butt, stud or projection welding. Most of the pressure welding processes are suitable for joining of different material qualities. This article summarizes the possible process variations.

Keywords: *electrical energy, thermochemical energy, mechanical energy, butt welding, stud welding, projection welding.*

Összefoglalás

A csőszerű (üreges, zárt szelvényű) alkatrészek kötését egymáshoz, vagy rúd- ill. lapszerű darabokhoz, esetenként csőszegmensekhez gyakran a sajtoló hegesztés valamelyik eljárását alkalmazó technológiával végzik. Ezen eljárások többnyire elektromos, termokémiai, illetve mechanikai energiát alkalmaznak és a kivitelezés tompa-, csap- vagy dudorhegesztésként valósul meg. A sajtoló hegesztési eljárások többsége alkalmas eltérő anyagminőségek kötésére is. Jelen cikk a szóba jöhető eljárásváltozatokat foglalja össze.

Kulcsszavak: *elektromos energia, termokémiai energia, mechanikai energia, tompahegesztés, csaphegesztés, dudorhegesztés.*

1. Bevezetés

Az **1. ábra** azokat a sajtoló hegesztési eljárásokat rendszerezi, amelyek alkalmasak lehetnek a cím- ben, ill. az összefoglalóban megfogalmazott feladatok ellátására. Az ábrán szerepelnek az MSZ EN ISO 4063 jelű – a hegesztés és rokon eljárások megnevezésével és azonosító jelölésével foglalkozó – szabvány szerinti számjelek is, amelyek egyfajta műszaki „szperantóként” használhatók anyanyelvtől független fogalom-azonosításra, ill. -értelmezésre **[1]**. Ilyen „közös szakmai nyelvet” jelentenek a hegeszthető anyagok számjelei (Werkstoff-Nummer, IADS = International Alloy Designation System), vagy a kötésekben előfordulható folytonossági hiányok kódszámai is.

2. Eljárások és főbb jellemzőik **[2, 3]**

A mágnesesen mozgatott ívvel megvalósuló forgóíves sajtoló hegesztések közül a hosszmezős forgóíves sajtoló hegesztés során – a homlokfelületüknél érintkező üreges (csőszerű, zárt szelvényű) acél munkadarabokon záródó – axiális (hossz)irányú mágneses mezőt hoznak létre elektromágneses tekercsekkel. Ezáltal a gyűrűszerű hűtött segédelektroda és a darabok érintkezési vonala között keltett elektromos ívre a Lorentz-törvény szerinti erő hat, ami az ívet (mint elektromos vezetőt) érintő irányú mozgásra, azaz forgásra (keringésre) kényszeríti. A forgó ív felhevíti az üreges darabok illeszkedő felületeit, és amikor az egyre csökkenő alakítási ellenállás a tengelyirá-

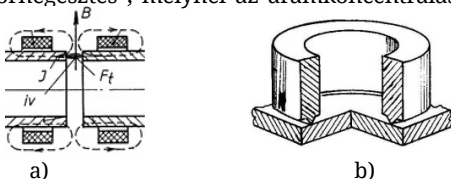
Alkalmazott energiatípus	Sajtoló hegesztési eljárás MSZ EN ISO 4063 szabvány szerinti számjellel
elektromos energia	1 Ivhegesztés
	185 Mágnesesen mozgatott ívív hegesztés (hossz- és keresztmetszű forgóíves sajtoló /tompa/hegesztés)
	2 Ellenállás-hegesztés
	23 Ellenállás-dudorhegesztés
	24 Leolvasztó ellenállás-tompahegesztés
	25 Zömítő ellenállás-tompahegesztés
	26 Ellenállás-csaphegesztés
	27 Nagyfrekvenciás ellenállás-hegesztés
	29 Egyéb ellenállás hegesztések
	7 Egyéb hegesztési eljárások
	74 Indukciós hegesztés
	741 Indukciós tompahegesztés
	743 Nagyfrekvenciás, indukciós hegesztés
78 Ivűzű csaphegesztés	
785 Kondenzátorkisüléssel, ivűzű csaphegesztés	
termokémiai energia	4 Sajtolóhegesztés
	45 Dörzs hegesztés
	47 Sajtoló lánghegesztés
	49 Melegsajtoló hegesztés (pl. oldóhegesztés)
	41 Ultrahangos hegesztés
mechanikai energia	42 Dörzshegesztés
	421 Folyamatos hajtású dörzshegesztés
	422 Lendkerékes dörzshegesztés
	423 Dörzs-csaphegesztés
	44 Nagy mechanikai energiával végzett hegesztés
	441 Robbantásos hegesztés
	442 Mágneses impulzus hegesztés
	48 Hidagsajtoló hegesztés (pl. előelőlyattással)

1. ábra. Alkalmazható sajtoló hegesztési eljárások

nyú nyomás értékére mérséklődik, sorjaképződéssel kísért képlékeny megalakítással létrejön a kohéziós kötés.

A keresztmezős forgóíves sajtoló hegesztésnél a darabokat réssel illesztik, így a rés környezetében radiális (kereszt)irányú mágneses mező alakul ki. A rést áthidaló elektromos ív létrehozása után arra szintén tangenciális irányú erő hat, így forgásba (keringésbe) jön (2.a. ábra). Miután a munkadarabok felülete elérte a megalakítás hőmérsékletét – esetleg egy vékony rétegen meg is olvadt –, az ívet kikapcsolják, és tengelyirányú zömítéssel (az olvadt részek sorjába nyomásával) kialakítják a hegesztett kötetet. Forgóíves hegesztéskor az esetek többségében elegendő, ha csak az egyik darab üreges (vékony falú, csőszerű), a másik lehet tömör (rúdszerű) vagy akár lemez (lapszerű) is.

Az ellenállás-dudorhegesztésnél – az ellenállás-ponthegesztéstől eltérően – az elektródáknak csak két feladatot kell ellátni: a nyomóerő közvetítését és az áram hozzávezetését. A harmadik feladatot – az áram koncentrációját – a munkadarabok természetes vagy mesterséges alakja (dudora) teljesíti (2.b. ábra). Mesterséges dudorú ellenállás-dudorhegesztés során minden – rendszerint előzetes képlékeny alakítással vagy forgácsolással létrehozott – dudornál egy-egy varrat (szakasz) képződik. Az ellenállás-csaphegesztés egy olyan „különleges dudorhegesztés”, melynél az áramkoncentrációt a



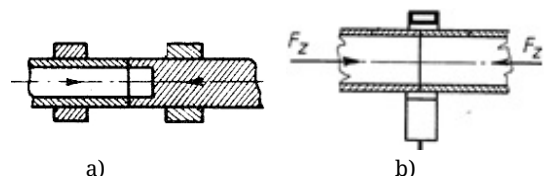
2. ábra. Keresztmezős forgóíves sajtolóhegesztés és ellenállás dudorhegesztés (csaphegesztés)

felhegesztendő tömör vagy csőszerű csap megfelelően kialakított homlokfelülete eredményezi (2.b. ábra). A nyomóerő közvetítését és az áram hozzávezetését a csaptartó, illetve az ellenelektroda teszi lehetővé.

A zömítő ellenállás-tompahegesztés folyamán – a munkadarabokat homlokfelületüknél összenyomva (3.a. ábra), majd rajtuk nagy áramot átvezetve – a fejlődő hő és az erőhatás együttesen nagyfokú képlékeny alakváltozást hoz létre, ami kohéziós kapcsolatot teremt a két anyag között. A felületi szennyeződések hatékony sorjába nyomása csak kisebb keresztmetszeteknél lehetséges. A leolvasztó ellenállás-tompahegesztéskor az áramra kapcsolt darabokat összenyomják, majd bizonyos idő elteltével eltávolítják. A felhevítést és a szennyező-el-távolítást helyileg képződő elektromos ívek segítik elő, a felületi réteg leolvasztása mellett. A következő összeérintésig eltelt idő alatt a fejlődött hő terjedése révén felmelegíti a felülettől kissé beljebb lévő anyagrészeket is. A felületelőkészítő leolvasztás vékony rétegben nagy felületen is végbemegy, kis fajlagos energiafelhasználás mellett. Gyakori, hogy ezt a ciklust néhányszor megismétlik, majd a darabokat utána sajtolják össze. Az eljárásváltozat főként nagyobb keresztmetszetű darabokhoz alkalmazható.

Az indukciós tompahegesztés vagy tekercsinduktoros ellenállás-tompahegesztés során az összenyomott munkadarabokban – az illesztési felületekhez képest szimmetrikusan elhelyezett, nagyfrekvenciájú árammal táplált, többnyire tekercs alakú induktortal (3.b. ábra) – örvényáramok gerjeszthetők a hegesztés helyén. Az örvényáramok által létrehozott nagy helyi áramsűrűség felhívja az érintkező felületek menti keskeny zónát, majd ezen anyagrésekre zömítéssel alakul ki a kohéziós kötés.

A kondenzátorkisüléssel impulzushegesztéskor [4] a szükséges energiát a korábban gyorsan feltöltött kondenzátorok egy szaggató kapcsoláson keresztül a munkadarabra csatlakozó speciális transzformátorhoz vezetik. Az eljárás különlegességét a következő folyamatjellemzők eredményezik: meredek áramerősség növekedés, nagy hegesztőáram, rövid (ms nagyságrendű) hegesztési idő, alacsony fajlagos hőbevitel, kis hálózati terhelés, magasfokú reprodu-

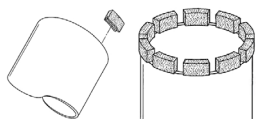


3. ábra. Ellenállás és indukciós tompahegesztés

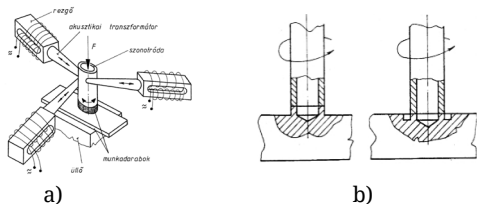
kálthatóság, továbbá eltérő anyagvastagságú munkadarabok, különböző anyagminőségek (pl. acél, sárgaréz), rozsdamentes acélok, vékony lemezek, galvanikus bevonatokkal ellátott munkadarabok hegeszthetősége. Az eljárásnál ugyan nincs szükség hozaganyagra a kötés kialakításához, azonban szükséges az egyik kötendő felület hegesztés előtti (előkészítő) megmunkálása rovátkolással/recézéssel vagy hornyolással (4. ábra).

Az ultrahangos hegesztések során az elektrostrikiós vagy magnetostrikiós hatással keltett ultrahang akusztikai transzformátorral megnövelt amplitúdójú rezgőmozgását szonotródával az összeillesztett darabok közül a kisebb méretűre viszik. A szonotróda ezzel a darabbal együtt rezegve, ill. a sajtoló erőt is közvetítve biztosítja a hegesztett kötés létrejöttét. Lehetőség van azonos vagy eltérő anyagminőségek összekötésére. Ultrahangos körhegesztéskor (5.a. ábra) a cső alakú szonotróda tengelye körüli alternáló mozgását pl. három – akusztikai transzformátorral ellátott – rezgőegység végzi, és így a hegesztés során a szonotróda homlokfelületével közel megegyező méretű és alakú kötési zóna jön létre.

A dörzshegesztések legismertebb változatánál a két összekötendő forgásszimmetrikus darabot (rúd, cső) összenyomott állapotban egymáshoz képest – folyamatos hajtással vagy lendkerék beiktatásával – forgatják. Amikor a felület egészére kiterjed a súrlódás eredményezte tisztítás, felhevítés és gerjesztés, a forgást gyorsan leállítják és a darabokat összesajtolják, mert csak így készíthető a két anyag között jó minőségű kötés. Ha az előmelegítés („dörzsölés”) idejét állítják be, akkor idővezérléses, ha az előmelegítés során – az összeszorító erő hatására – létrejövő zömülés („rövidülés”) mértékét állítják be, akkor útvezérléses dörzshegesztésről van szó. A forgás és a zömülés következtében jellegzetes formájú sorja képződik, ami (ha szükséges) a kötés gyengülése nélkül utólag lemunkálható. A dörzscsaphegesztés



4. ábra. Kondenzátorkisüléses impulzushesztési példa



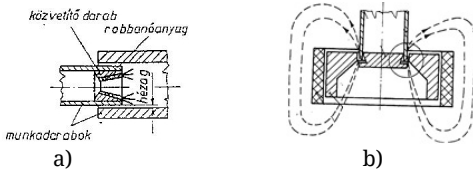
5. ábra. Ultrahangos körhegesztés és dörzscsaphegesztés

során a felhegesztendő tömör vagy csőszerű csapot forgatás közben hozzányomva az alaplemezhöz (5.b. ábra), a súrlódási hő felmelegíti az érintkező felületekhez közeli anyagrészeket, miközben a felületi szennyeződések is elroncsolódnak, elősegítve a felülettisztulást, illetve a felületaktiválást. A felületközeli anyagrészek közös képlékeny alakváltozása hatására a két darab között részlegesen kohéziós kötés alakul ki, amely azonban a relatív elmozdulás miatt folytonosan elnyíródik. Ez a jelentős energiabefektetést igénylő folyamat számottevő hőfeloldást eredményez, ami felmelegíti a felületközeli anyagrészek nagyobb térfogatát. Amikor a felületek teljes egészére kiterjed a kötésépződés, a relatív elmozdulást (forgást) igen gyorsan leállítják, majd a csapot tengelyirányú zömítéssel rányomják az alaplemezre.

Robbantásos átlapoló hegesztésnél (6.a. ábra) az egymáshoz viszonyítva hézaggal, illetve átfedéssel illesztett munkadarabokat (pl. csöveket) robbanóanyag alkalmazása révén nagy sebességgel felütköztetik, miközben egyidejűleg felületekre merőleges irányú nyomó- és felületekkel párhuzamos csúsztató feszültségek keletkeznek. A nyomófeszültségek szükségessé teszik ahhoz, hogy a felületi atomok rácsparaméternyi távolságra kerüljenek. A csúsztató feszültségek képlékeny alakítás révén eredményezik az érintkező fémrészek kristályrács-orientációjának megfelelő beállítását, illetve a kohéziós kötés feltételeinek kialakulását.

A mágneses impulzusos hegesztés folyamán az alakító tekerccsen keresztül egy nagy kapacitású kondenzátortelepelt sütnék ki. A tekerccsen átfolyó nagy erősségű áram térformáló hatása a hegesztési helynél igen nagy mágneses indukciót hoz létre (6.b. ábra). A hegesztendő munkadarabban indukált áram és a mágneses tér egymásra hatása következtében radiális irányú dinamikus erőhatás jön létre. A kondenzátortelep rendkívül rövid időn belül végbemenő kisüléséből adódó erőhatás a munkadarabokat a robbantásos hegesztéshez hasonlóan ütközteti, és a felület menti anyagrészek képlékeny alakváltozása következtében hegesztett kötés alakul ki, elsősorban átlapoló felületek között.

A diffúziós hegesztés során az összekötendő anyagokat összenyomott állapotban, vákuumban (esetleg semleges védőgáz atmoszférában) felhevítik olvadáspontoz közeli hőmérsékletre (7.a. ábra). A nagy hőmérséklet és nyomás egyidejű hatására – a pontszerűen érintkező felületi anyagrészeknél – tartósfolyás (kúszás) lép fel, amelynek következtében a munkadarabok mind nagyobb felületen érintkeznek egymással. A deformálódó határfelületek atomjai – melyek a képlékeny alakváltozás



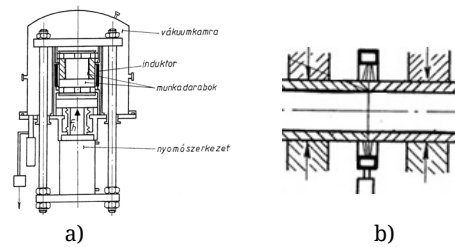
6. ábra. Robbantásos tompahegesztés és mágneses impulzusos hegesztés

és a hőmérséklet hatására gerjesztett állapotban vannak – szemcsehatár migrációt és pórus-megszűnést kiváltó térfogati diffúziójuk révén rácsparaméternyi távolságra kerülnek, kohéziós kötést eredményezve. A diffúziós hegesztés különlegessége abban rejlik, hogy alkalmas acélok és nem-vas fémek mellett különleges fémes anyagok, fémkombinációk összehesztésére, sőt fém-kerámia kötés létrehozására is. Közbenső anyagokat alkalmaznak egyes fém-kombinációknál, ha a két anyag kölcsönösen nem oldja egymást, vagy ha rideg, illetve korrózióra hajlamos fázis képződne.

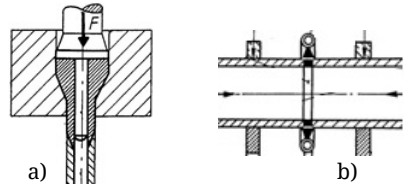
A sajtoló lánghegesztések közül a zárt résű sajtoló lánghegesztés során a rés nélkül illesztett, üreges munkadarabok érintkezési felületeit nyitható gyűrűgövel – acetilén és oxigén gázkeverékből képezett lánggal – felhevítik (7.b. ábra), majd anyagi minőségétől függő nyomással összezömítik. Nyitott résű sajtoló lánghegesztéskor főként a tömör munkadarabok közötti résbe helyezett kétoldalas sík égőfejjel az összekötendő felületeket megalakítási hőmérsékletre felhevítik. Ezután az égőfejet eltávolítják, és megfelelő nyomással a darabokat összesajtolják.

Az előrefolyatással megvalósuló hidegsajtoló hegesztés során – a többtengelyű nyomófe-szültségi állapotban létrejövő nagyfokú képlékeny alakváltozás következtében – a teljes érintkezési zónára kiterjedő kohéziós kötés alakul ki. A folytatóbélyeg (folyatótüske), ill. a munkadarabok kialakításától függően lehet tömör vagy csőszerű (üreges) terméket előállítani (8.a. ábra) feltéve, hogy a különböző anyagok nagyfokú alakváltozó-képességgel rendelkeznek. Természetesen a rekrisztallizációs hőmérséklet alatti alakítás következtében jelentős felkeményedéssel kell számolni, aminek szilárdságnövelő hatása kedvező lehet.

Oldóhegesztéskor a hozaganyagként szolgáló betétgyűrűt – ami vasporból, Mn-ötvözet oldóanyagból és folyasztószerből álló porkohászati termék – a két összekötendő (vékony falú, kis átmérőjű) acélcső homlokfelülete közé helyezik. Állandó nyomás mellett, nyitható gyűrűgövel melegítve a hegesztés helyét a kölcsönös oldódás hatására alakul ki a hegesztett kötés (8.b. ábra) úgy, hogy alacsonyabb hőmérsékleten az oldóanyag megolvad, és elkezd vasat (alapanyagot) oldani, majd egy



7. ábra. Diffúziós hegesztés és sajtoló lánghegesztés



8. ábra. Hidegsajtoló hegesztés előrefolyatással és meleg-sajtoló oldóhegesztés

bizonyos koncentrációnál a hegesztett kötésbe dermed, de ezt követően a magasabb hegesztési hőmérséklet elérésekor az alapanyag is oldja az oldóanyagot, majd az ötvözet kezd megolvadni, ezért a teljes megolvadás előtt kell befejezni a hegesztést.

3. Következtetések

A sajtoló hegesztési eljárások többféle energiaforrással megvalósítható alapváltozatai a tompa-, a csap- és a dudorhegesztések. Ezek alkalmasak csőszerű, üreges alkatrészek kötőhegesztésére, valamint egy részük csőszegmensek felhegesztésére is. A feladat jelen esetben nem csővezeték készítése, hanem szerelőhegesztés. Ebben a cikkben a lehetőségeket vettük számba, segítve egy konkrét feladathoz a megoldás megtalálását. Fontos szempont, hogy az esetek nagy részében – a várható sorjaképződést kalkulálva – a hegesztésre váró darabokat hosszabbra kell előgyártani, hogy zömítés után kiadják a szükséges méretet.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bagyinszki Gy.: *A hegesztés és rokoneljárásai rendszerezése*. Hegesztéstechnika 13/2. (2002) 29–35.
- [2] Bauer F.: *Hegesztési eljárások*. (Szerk. Bagyinszki Gy.), Tankönyvkiadó, Budapest, 1991
- [3] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Hegesztéstechnika I. - Eljárások és gépesítés*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/15437>
- [4] Kenéz A. Zs., Bagyinszki Gy.: *Kötőtechnológiák alkalmazhatósági vizsgálata gyémántszegetmenses fűrókoronákhoz*. In: A XIX. Műszaki tudományos ülés szak előadásai, Kolozsvár, Románia, Műszaki Tudományos Közlemények 10. (2018).
<https://eda.eme.ro/handle/10598/31162>