



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

ELLENÁLLÁS HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK

Dr. Palotás Béla



Mechanikai Technológia és Anyagszerkezzettani Tanszék

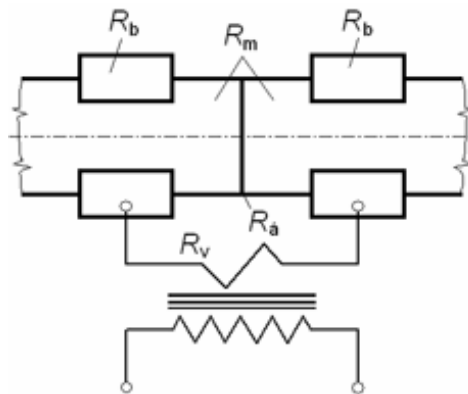
Ellenállás hevítés

- A darabokon átfolyó áram Joule hője hevíti fel a darabokat. A képződő hő függ az ellenállástól (R) és az átfolyó áramtól (I):

$$Q = \int_0^{t_h} RI^2 dt$$

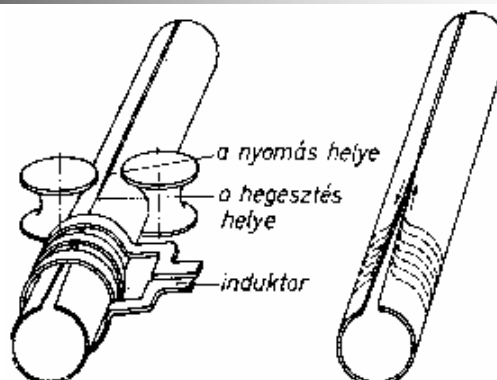
- Az ellenállás hevítés megvalósítható a darabba közvetlenül bevezetett árammal, illetve az indukált áram is felhasználható, ez utóbbi a közvetett hevítés.

Közvetlen hevítés



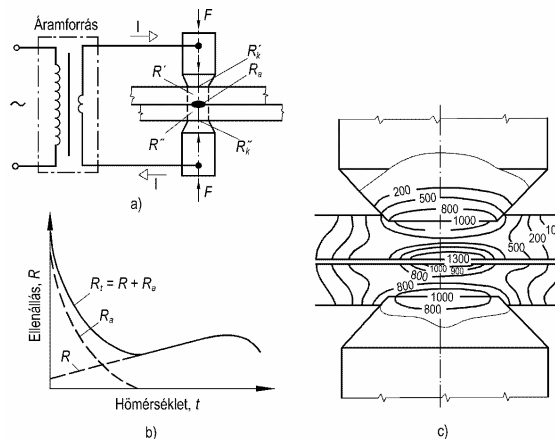
A darabokba közvetlenül vezetjük be az áramot.

Közvetett hevítés



Az indukált áram hevíti fel a darabokat. A mágneses veszteség is hevít a ferromágneses anyagoknál.

Hevítés folyamata ellenállás ponthegesztésnél



Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

5

Ponthegesztésnél lejátszódó folyamat

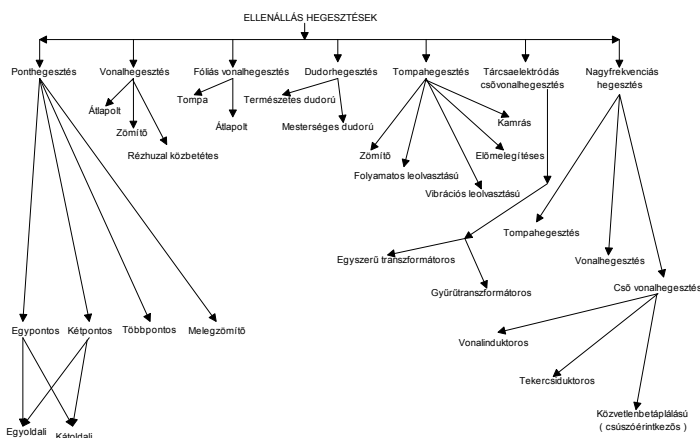
- A darabok érintkezési felületén az átmeneti ellenállás (R_a) kezdetben a legnagyobb. Az elektródák hűtése illetve jó hővezető képessége miatt az elektródák és a darabok közötti érintkezési ellenállás (R_k' és R_k'') elhanyagolható. A hevítésben így az átmeneti ellenállás és a darabok saját ellenállása (R' és R'') játszik szerepet. Az átmeneti ellenállás a felület megolvadása miatt igen gyorsan nulla lesz (AC áramú hegesztésnél gyakorlatilag $\frac{1}{4}$ periódus alatt), így a továbbiakban a lemezek ellenállása - amely a hőmérséklet függvényében nő - döntő a hevítésben.
- A darabok közötti kör keresztmetszetű megolvadt foltból kiindulva lencse alakú olvadt anyag jön létre, amelynek a kristályosodása hozza létre a varratot az áram kikapcsolása után.

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

6

Ellenállás hegesztési eljárások



Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

7

Kötés kialakulása ellenállás hegesztéseknél

- Az ellenállás ponthegesztésnél, az ellenállás vonalhegesztésnél és a fóliás vonalhegesztésnél részben, a kristályosodás, a többi eljárásnál a képlékeny alakváltozás hozza létre e kötést.
- Az utóbbi eljárásoknál (dudorhegesztés, tompahegesztés, csővonal hegesztés és nagyfrekvenciás hegesztések) az olvadt anyagok kinyomódnak a sorjába.

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

8



Az ellenállás hegesztés előnyei és alkalmazása I.

- Az összehegesztendő elemek széles mérettartományban változhatnak:
 - Lemezek átlapolt kötése esetén: $s = 0,005 \dots 30 \text{ mm}$
 - Rudak tompahegesztése esetén: $D = 0,01 \dots 350 \text{ mm}$
 - Rudak keresztezett kötése $D = 0,01 \dots 80 \text{ mm}$
- Csaknem minden anyag hegeszthető
- A hegesztési folyamat teljesen gépesített, jól szabályozható és automatizálható



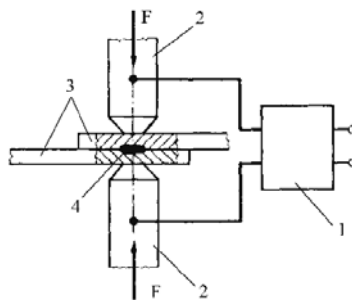
Az ellenállás hegesztés előnyei és alkalmazása II.

- A hegesztett kötések jó és egyenletes minőségűek
- A hőhatásövezet kicsi ezért a szövetszerkezeti változás és a maradó alakváltozás elhanyagolható
- Nagy a termelékenység
- Anyag- és energia megtakarítás szempontjából előnyös.

Az ellenállás hegesztés hátrányai

- A berendezés költséges
- A berendezés üzembe állítása, beállítása, karbantartása magasan képzett szakembereket igényel
- Rossz beállítás esetén sok selejt készül
- Bizonyos esetekben mechanikai tulajdonság problémák lehetnek.

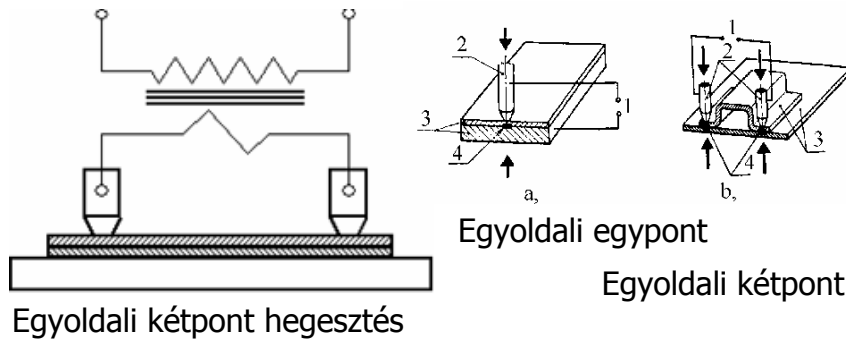
Az ellenállás ponthegesztés



Az elektródák közötti csatornában záródik az elektromos áramkör, a már említett folyamat szerint játszódik le a megolvadás, majd az erőhatás alatti kristályosodás hozza létre a kötést.



A ponthegeztés változatai 1.



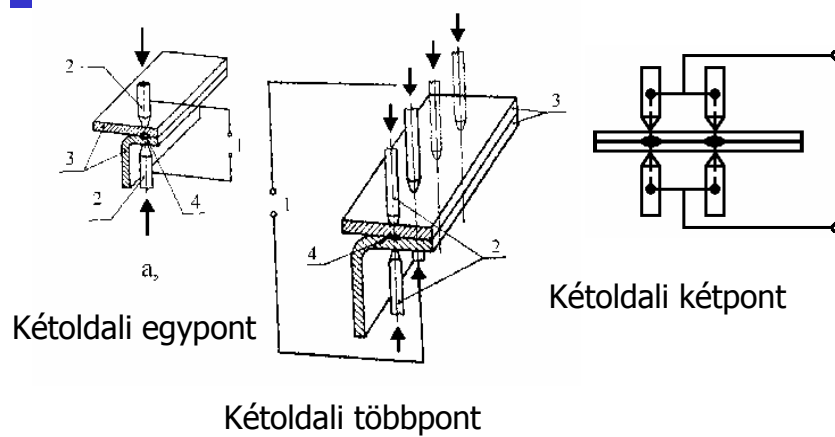
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

13



A ponthegeztés változatai 2.



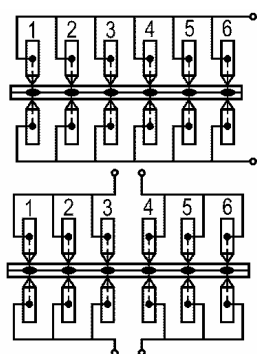
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

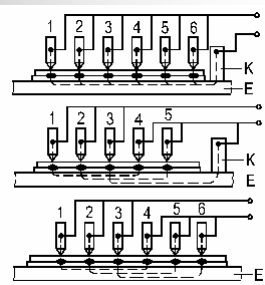
14



A ponthegeesztés változatai 3.



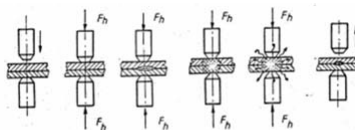
Felső: Kétoldali direkt többpont
Alsó: Ellenütemű kétoldali többpont



Egyoldali többpont
hegesztések:
Felső: Indirekt
Középső: Soros páratlan
Alsó: Soros páros



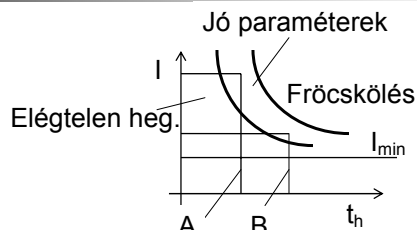
A ponthegeesztett kötés készítésének folyamata



Az alsó elektródán fekvő darabokhoz a felső elektróda közelít (a.), az elektródákat a darabokhoz nyomjuk (b.), az előtartási idő eltelte után az áramot bekapcsolva lencse alakban olvad meg a darabok érintkezési felületén az anyag (c.).

Egyre nagyobb anyagterfogat hevül fel (d.), ha a hegesztőáram túl sokáig folyik, kifröccsenés jöhet létre (e.), a megfelelő ideig folyó áram kikapcsolása és az utótartási idő letelte után a felső elektróda távozik (f.).

Ponthegeesztett kötést többféle munkarenddel is készíthetünk



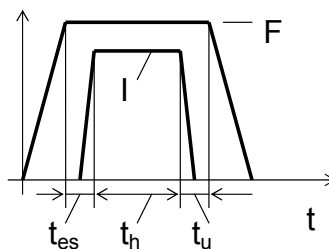
Létezik egy minimális áram, amelynél kisebb árammal (I_{min}) nem tudunk hegeszteni, hiszen nem képződik elegendő hő. Nagy áram kis idő az un. kemény munkarend (A), míg a kisebb áram hosszabb idő jelenti a lágymunkarendet (B). Kemény munkarendet igényelnek a jó hővezető-képességű anyagok, lágymunkarend pedig kisebb beedződési veszéllyel jár.

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

17

Egyszerű munkarend



Az elektródákat a darabhoz nyomva (F), az előtartási idő (t_{es}) eltelte után kapcsoljuk be az áramot (I), a hegesztési idő (t_h) eltelte után még az utótartás idejéig (t_u) fenntartják a nyomást. Az erőhatás alatti kristályosodás tömörebb varratot eredményez. A fő hegesztési paraméterek a I , F , t_h , tehát az elő- és utótartási idő segédparaméterek.

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

18

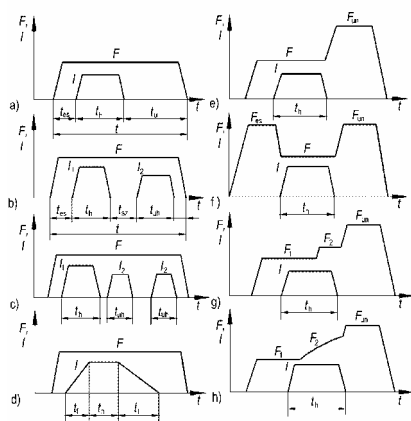


Összetett munkarendek

- Az összetett munkarendekkel kiterjeszhető a ponthegesztés alkalmazása.
- Például az erő növelése az áram bekapcsolása előtt, jobb felfekvést eredményez, az erő csökkentése az áram bekapcsolásakor pedig csökkenti az elektróda benyomódását, míg az erő ismételt növelése az áram kikapcsolása után, tömörebb varratot eredményez.



Összetett munkarendek típusai



- a.): Egyszerű, b.): Egyszerű utólagos hőkezeléssel, c.): Egyszerű többszöri utólagos hőkezeléssel, d.): Szabályozott áram fel- és lefutás, e.) Utónyomással, f.): Csökkentett hegesztési nyomással, g.): Lépcsősen növelt utónyomással, h.): Folyamatosan növelt hegesztési nyomással, utónyomással.



Hegesztési paraméterek

- Áramsűrűség:

- Ötvözetlen acélra: 1250 A /mm²periódus
- Ausztenites acélra: 800 ... 1000 A /mm²periódus
- Ötvözetlen Al-ra: 4000 ... 5000 A /mm²periódus
- Ötvözött Al-ra: 3000 ... 4000 A /mm²periódus

$$I = jA_p t_h$$

$$A_p = \frac{d_p^2 \pi}{4}$$

- Elektróda nyomás:

Ötvözetlen acélra: 70 ... 120 MPa

Ausztenites acélra: 130 ... 250 MPa

Ötvözetlen és ötvözött Al-ra: 80 ... 250 MPa



Az elektróda mérete

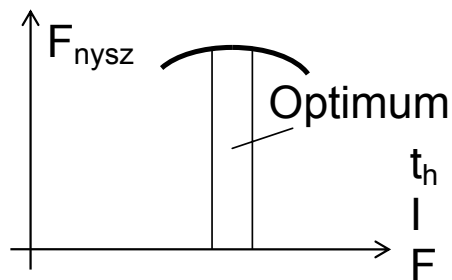
$$d_e = 5\sqrt{s}$$

$$d_e = 2s + 2,5$$

$$R = f(s)$$

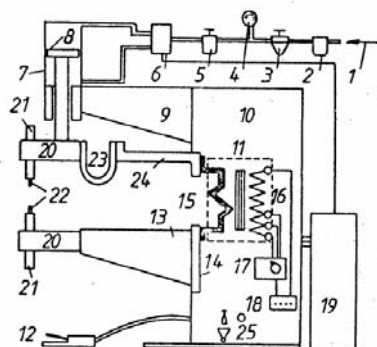
(d_e : elektróda átmérő, s : lemezvastagság,
 R : lekerekítési sugár ($R = 50 \dots 200$ mm)).

A kötés szilárdsága függ a hegesztési paramétereiktől



A hegesztési paramétereknek optimuma van.
(F_{nysz} : nyíró szakító erő).

Tipikus hegesztőgép

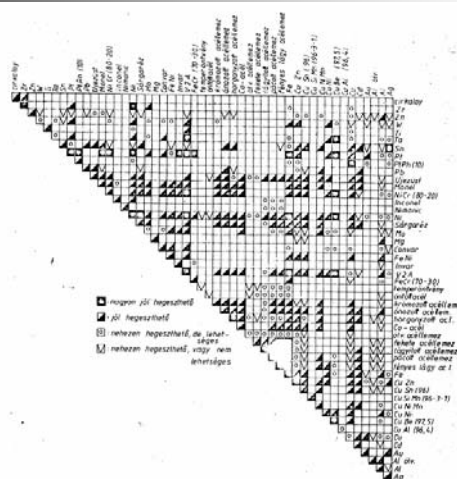


Helyhez kötött berendezés.
(Léteznek mozgatható, un. ponthegeztő fogók is.)

A ponthegesztés alkalmazása

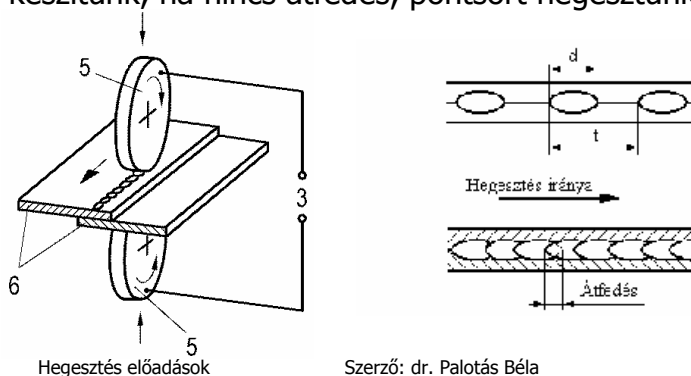
- Lemezek átlapoló kötésére általánosan alkalmazott eljárás
- Különösen fontos az autókarrészek gyártásában
- Lemez vagy lemezszerű szerkezetekben általános
- Ötvözetlen-, gyengén- és erősen ötvözött acélok hegeszthetők
- Színes és könnyűfémek hegeszthetők, Al és ötvözeti hegeszthetők, ebben az esetben rádiuszos elektróda szükséges
- Számos fémkombináció hegeszthető
- Réz és ötvözeti hegesztése csak W-betétes elektródával
- Edződésre hajlamos anyagoknál különleges munkarendre van szükség.

Hegeszthetőségi háromszög



Ellenállás vonalhegesztés

- Elv: Tárcsaelektrodák között folyamatosan pontvarratokat készítünk. Ha a pontok átfedik egymást, tömítő varratot készítünk, ha nincs átfedés, pontsort hegesztünk.



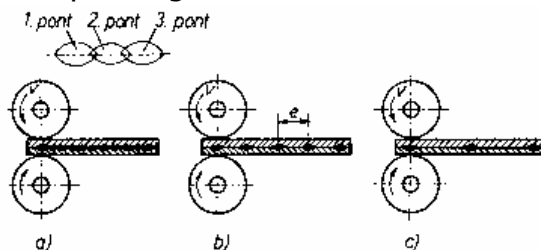
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

27

Vonalhegesztésnél nagy áramokra van szükség

- A már előzetesen elkészült pontokon is átfolyik az áram, ami egyrészt a varratok folyamatos hőkezelését jelenti, másrészt azt eredményezi, hogy a varratok készítéséhez lényegesen nagyobb áram kell mint ponthegesztésnél.



Hegesztés előadások

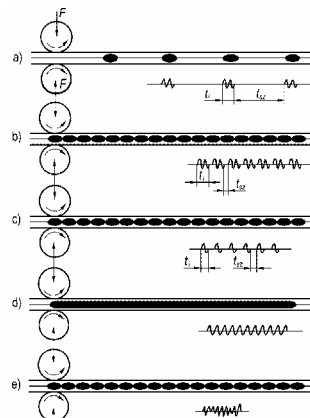
Szerző: dr. Palotás Béla

28



A vonalhegesztés változatai

- a.) Pontsor hegesztés
- b.) Áramimpulzusok alkalmazása
- c.) Félperiódusok alkalmazása
- d.) Folyamatos áram alkalmazása
- e.) Folyamatosan változó áram



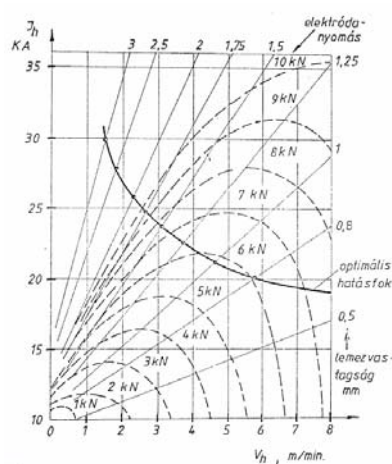
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

29



A hegesztési paraméterek kiválasztása



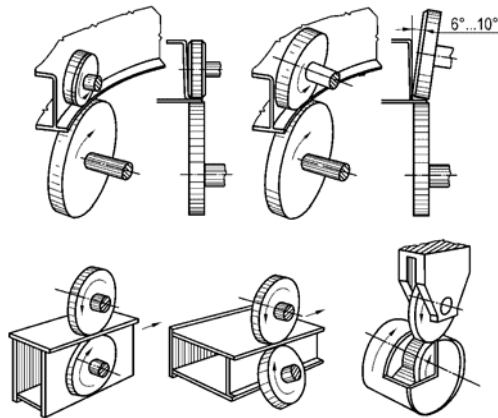
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

30



Elektróda kialakítások



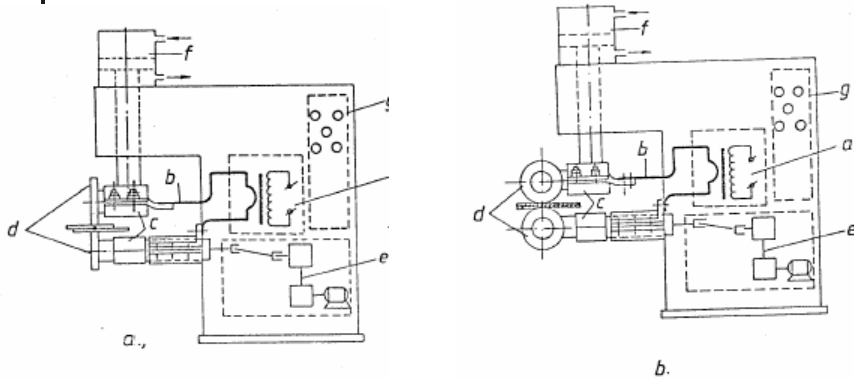
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

31



Hegesztő gépek



Keresztirányú

Hosszirányú

Hegesztés előadások

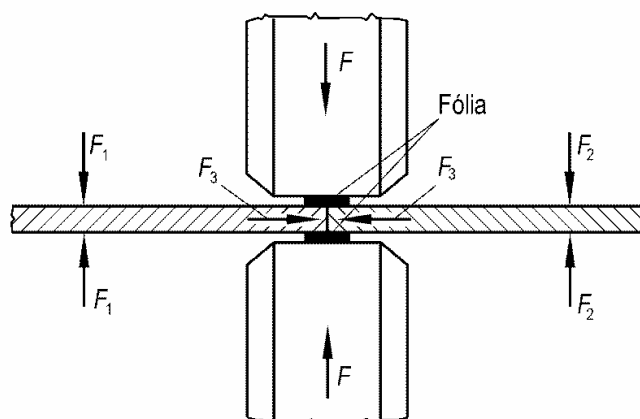
Szerző: dr. Palotás Béla

32

A vonalhegesztés alkalmazása

- Lemezek átlapolt hegesztésére
- Főleg tömítő varratokat készítenek, mert a mechanikai tulajdonságai rosszak a varratnak a folyamatos hőkezelésnek köszönhetően, így teherbíró varratként azok nem alkalmazhatók
- Lemezszerkezeteknél tömítő varratként alkalmazzák, pl. lemezhűtő gyártása
- Kis átfedés ($a = (0,8 \dots 1,5 \text{ s})$) esetén tompakötés is készíthető
- Főleg átlapolt kötéseket készítenek ($a \geq 4\text{s}$), tompakötésre a fóliás vonalhegesztés előnyösebben alkalmazható
- Anyagkombinációk mint ponthegesztésnél.

Fóliás vonalhegesztés





A fóliás vonalhegesztés elve

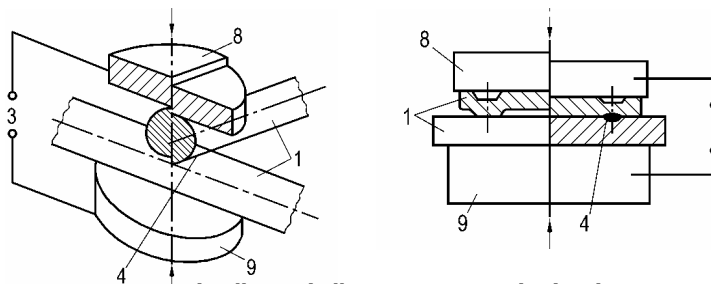
- A fóliás vonalhegesztés lemezek tompakötéseinek készítésére alkalmas eljárás. A tompán illesztett lemezek felülete és az elektródák közé vékony – vastagságától függően - (0,1 ... 0,5 x 4 mm) méretű fóliát vezetnek, ezen keresztül záródik az áramkör, (az F erő itt az áram hozzavezetését segíti, nem ez a zömítő nyomás).
- A darabok akadályozott hőtágulása hozza létre a zömítő nyomást.
- Az érintkező lemezek felületeinek környezete megolvad, a fóliák teljes szélességben kohéziós kapcsolatba kerülnek a lemezekkel (részben folyékony, részben szilárd halmazállapotban).



A fóliás vonalhegesztés alkalmazása

- Ötvözetlen és gyengén ötvözött, illetve erősen ötvözött acélok hegeszthetők
- Ni és kobalt ötvözetek hegeszthetők
- Fémmel bevont lemezek hegeszthetők (Zn, Sn, Pb, Al bevonat), Al és Cu és ötvözetek nem hegeszthetők
- A fólia anyaga alapanyag szerint
- Egyenes vagy nagy görbületű kötések készíthetők
- Tompaillesztés esetén $s = 0,5 \dots 5$ mm hegeszthető
- Átlapolt illesztés esetén: $s = 0,4 \dots 2$ mm vastag lemezek hegeszthetők
- Görgőszélesség: 6 mm
- Kedvező mechanikai tulajdonságok érhetők el
- Alárendelt helyeken egy fólia is használható.

Ellenállás dudorhegesztés



Elv: A ponthegesztéstől eltérően az elektródák által bevezetett áramot és erőt a munkadarab természetes ill. mesterséges alakja (dudor) koncentrálja. Az érintkezési felületen a dudor megolvad, az olvadt anyagok a sorjába nyomódnak és a képlékeny alakváltozás hozza létre a kötést.

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

37

Dudor kialakítások

■ Kör- és gyűrűdudor



■ Vonaldudor



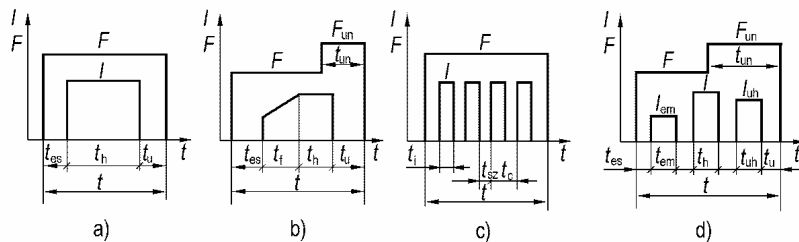
A dudort úgy kell kialakítani, hogy hőegyensúly alakuljon ki a hegesztés helyén, egyszerre olvadjon meg a dudor és az érintkező anyagrész. A dudort a nagyobb tömegű darabon kell elkészíteni. Eltérő anyagok esetén a jobb hővezető-képességű és magasabb olvadáspontú darabon célszerű elhelyezni a dudort. Eltérő vastagság esetén a vékonyabb darab a mértékadó.

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

38


Hegesztési munkarendek

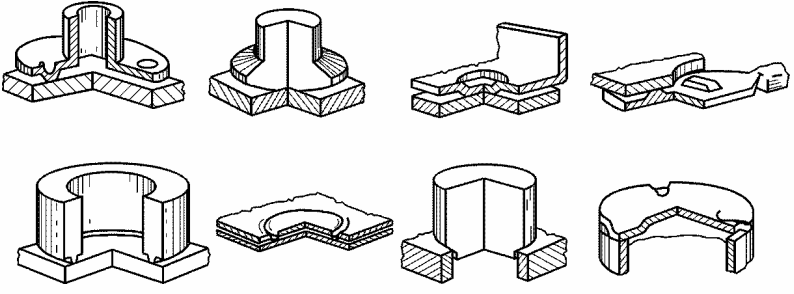


a.) Egyszerű munkarend, b.) Növelt utónyomás és szabályozott áramfelfutás c.) Áramimpulzusok alkalmazása, d.) Előmelegítés és utólagos hőkezelés alkalmazása növelt utónyomással

Hegesztő berendezés

- A ponthegeztő gépek alkalmasak dudorhegesztésre
- Az elektródák T-horonnyal rendelkeznek a készülékek felfogásának segítésére
- A dudor-hegesztőgépek kisebb karkinyúlással rendelkeznek, merevebb kialakításúak.

 **Tipikus kötések**



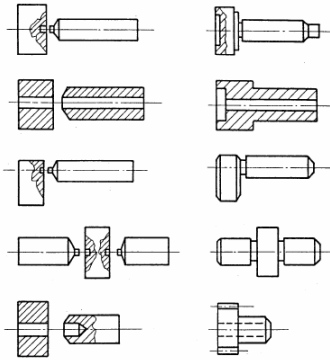
Hegesztés előadások Szerző: dr. Palotás Béla 41

 **Sarok kötések is készíthetők**



Hegesztés előadások Szerző: dr. Palotás Béla 42

A dudor hegesztés konstrukciós egyszerűsítéseket tesz lehetővé



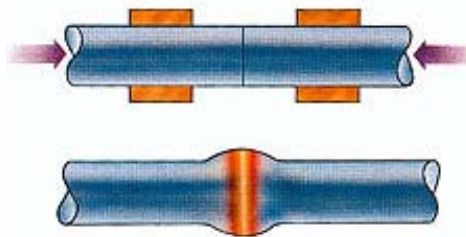
Összehegesztendő
elemek

Kész munkadarabok

A dudor hegesztés alkalmazása

- Alkalmazási példákat az előzőkben láttunk
- Az ipar minden területén alkalmazható
- Konstrukciós egyszerűsítéseket tesz lehetővé
- Sok esetben ott is célszerű lenne, ahol még nem alkalmazzák
- Anyagok, mint ponthegesztésnél
- Az ellenállás csaphegesztés is dudorhegesztés.

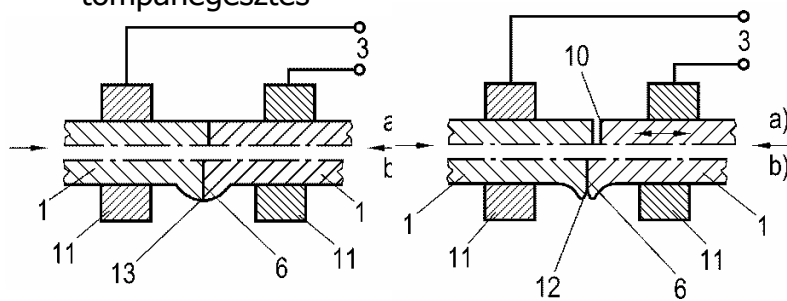
Ellenállás tompahegesztés



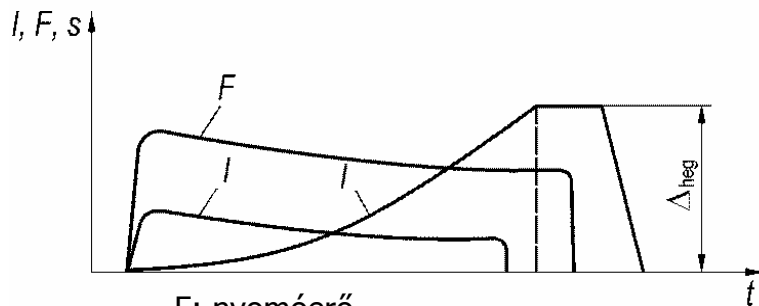
Elv: A tompán összenyomott darabokon átfolyó áram felhevíti a darabok érintkezési felületeit (egyes változatoknál meg is olvadnak azok) és a megfelelő felhevítést elérve, az erőt növelve összenyomjuk a darabokat. A képlékeny alakváltozás hozza létre a kötést. (Az olvadt anyagok sorjába nyomódnak.)

Az ellenállás tompahegesztés változatai

- Zömítő tompahegesztés
- Leolvasztó tompahegesztés
- Előmelegítéses vagy szakaszos leolvasztó tompahegesztés



Zömítő tomphaelesztés

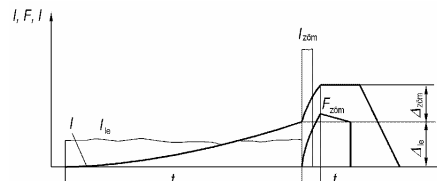


F: nyomóerő
I: áramerősség
l: hosszváltozás
 Δ_{heg} : zömítés

Zömítő tomphaelesztés és paramétere

- A zömítő tomphaelesztésnél a darabokat nem olvasztjuk meg, a képlékeny alakváltozás hozza létre a kötést. Az alakítás során a darab közepéről is sorjába kell nyomni a felületi szennyeződések, de csak egy méret alatt lehet ezt megtenni, így a zömítő tomphaelesztésnek alkalmazási korlátja van. Ez acélok esetében: 20 mm.
- Áramsűrűség
 - Lágyacélra: 70 ... 80 A/mm²
 - Al-hoz: 150 ... 200 A/mm²
 - Cu-hez: 250 ... 300 A/mm²
- Zömítőnyomás
 - Lágyacélokhöz: 10 ... 30 MPa
 - Al-hoz: 40 ... 60 MPa

Leolvasztó tompahegesztés



Folyamatos leolvasztás során a felületeket megolvasztjuk és az olvadt anyagokat folyamatosan sorjába nyomjuk. A leolvasztást ívképződés kíséri, folyamatos szikrázás jellemzi a leolvasztást. A felületek megolvasztása után, a darabokat összenyomva ($F_{zöm}$) először rövidzárlat ($I_{zöm}$) jön létre, majd a képlékeny alakváltozás hozza létre a kötést.

I : a hosszváltozás, Δl_e : hosszváltozás leolvasztás során, $\Delta l_{zöm}$: hosszváltozás zömítés során.

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

49

Leolvasztó tompahegesztés paramétere

- Folyamatos leolvasztás áramsűrűsége:
 - Lágycélra $5 \dots 10 \text{ A/mm}^2$
 - Al-ra $15 \dots 30 \text{ A/mm}^2$
- Zömítés:
 - Tömör anyagokra $z_e = (0,5 \dots 0,6)d$
 - Vékonyfalú üreges anyagok $z_e = (3,5 \dots 5) \text{ s}$
 - Vékonyfalú Al-ra $z_e = (7 \dots 11) \text{ s}$
- Leolvasztási idő:
 - Tömör anyagokra $(0,4 \dots 0,6) \text{ d}$
 - Üreges vékonyfalú anyagokhoz $(2 \dots 3) \text{ s}$
 - Vékonyfalú Al-ra $(1,4 \dots 1,6) \text{ s}$

Hegesztés előadások

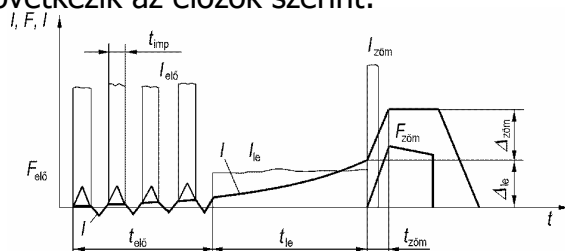
Szerző: dr. Palotás Béla

50



Előmelegítéses tompahegesztés

Az előmelegítéses leolvasztó tompahegesztésnél, a darabokat összenyomják és széthúzzák, amikor is az előmelegítő áram ($I_{el\ddot{o}}$) van bekapcsolva. Az előmelegítés után egy leolvasztási folyamat következik az előzők szerint:



Az előmelegítéses tompahegesztés lehetővé teszi edződésre érzékeny anyagok hegesztését is.

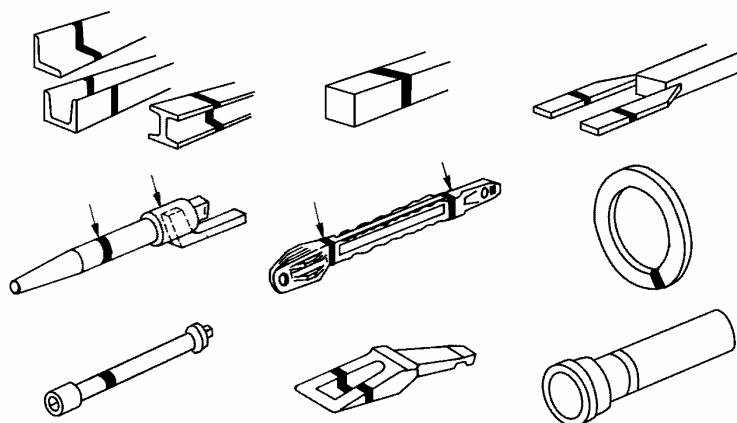
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

51



Tipikus tompahegesztett kötések



Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

52



A tompahegesztés alkalmazása

- Az ellenállás tompahegesztés alkalmazható
 - Ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok
 - Erősen ötvözött acélok
 - Edződő acélok
 - Színes és könnyűfémek
 - Számos anyagpárosítás hegeszthető
- Az ipar minden területén alkalmazható
- Tengelyszerű alkatrészek, láncok, csapok stb. hegesztése
- Zömítő tompahegesztés:
 - Acélok, nikkelt: 0,3 ... 20 mm
 - Réz: 0,3 ... 14 mm
 - Al, sárgaréz, bronz: 0,3 ... 18 mm

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

53



Cső - vonalhegesztések

Elv: az összehegesztendő éleket általában nem, illetve részben olvasztják meg, az ellenállás hevítéssel az alakváltozó képességet növeljük meg, a kötést képlékeny alakváltozással hozzuk létre.

Változatok:

- Egyszerű transzformátoros vagy tárcsaelektrodás cső-vonalhegesztés
- Gyűrűtranszformátoros cső-vonalhegesztés
- Vonalinduktoros cső-vonalhegesztés
- Tekercsinduktoros cső-vonalhegesztés
- Közvetlen betáplálású cső-vonalhegesztés.

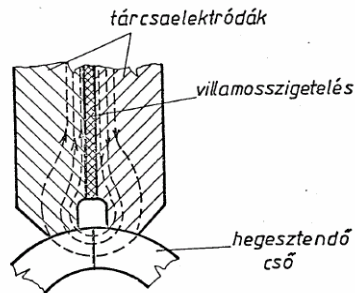
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

54

Tárcsaelektródás cső-vonalhegesztés

- Az összehegesztendő élek nem olvadnak meg, hibamentes kötés csak úgy érhető el, ha az oxidok alvadáspontja alacsonyabb az anyag olvadáspontjánál, így csak a 0,3 % C - tartalomnál kisebb C - tartalmú acélok hegeszthetők. Maximum 3 mm falvastagság lehet, mert az alakváltozás korlátozott és csak így lehet zárványmentes kötést készíteni.



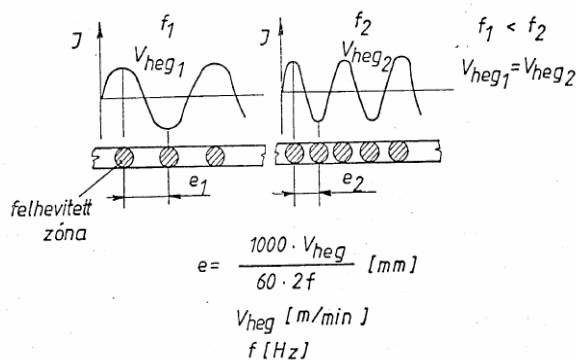
- $D = 15 \dots 120 \text{ mm}$
- $s = 0,15 \dots 3 \text{ mm}$
- $v_{\text{hegmax}} = 30 \text{ m/min}$

Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

55

A frekvencia hatása cső-vonalhegesztésnél



A hegesztési sebesség csak úgy növelhető, ha a frekvenciát növeljük.

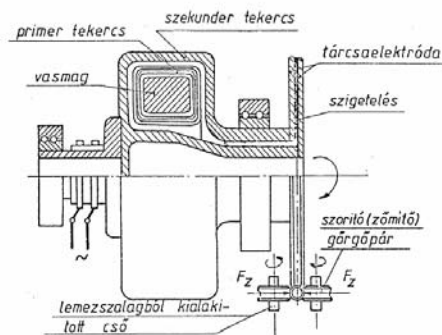
Hegesztés előadások

Szerző: dr. Palotás Béla

56

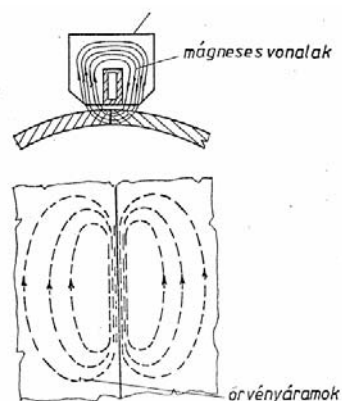
Gyűrűtranszformátoros tárcsaelektrodás cső-vonalhegesztés

- $f = 950 \text{ Hz}$
- $v_{\text{heg}} \geq 100 \text{ mm/min}$
- $D = 6 \dots 610 \text{ mm}$
- $s = 0,4 \dots 13 \text{ mm}$
- Szénacélokhöz.



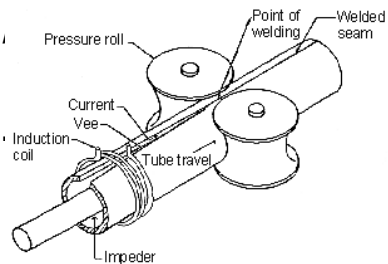
Vonalinduktoros cső-vonalhegesztés

- $f = 2 \dots 10 \text{ KHz}$
- $v_{\text{heg}} = 5 \dots 40 \text{ m/min}$
- $D = 60 \dots 170 \text{ mm}$
- $s = 3 \dots 8 \text{ mm}$
- Kis karbon tartalmú szénacélokhöz.



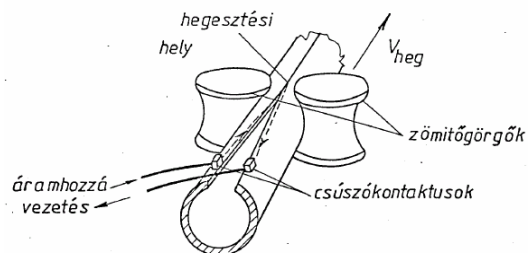
Tekercs induktoros cső-vonalhegesztés

- Közép frekvenciás: $f_{\max} = 10 \text{ KHz}$
- Rádió frekvenciás: $f = 200 \dots 450 \text{ KHz}$
- A nagy frekvenciának köszönhetően, acélok, erősen ötvözött acélok és nemvasfémek is hegeszthetők. Védőgázban javul a kötés minősége.
- $D = 6 \dots 450 \text{ mm}$
- $s = 0,3 \dots 13 \text{ mm}$
- $v_{\text{heg}} = 10 \dots 100 \text{ m/min}$



Közvetlen betáplálású cső-vonalhegesztés

- $f = 200 \dots 450 \text{ KHz}$
- $I = 1 \dots 2 \text{ KA}$
- Erősen ötvözött acélok és nemvasfémek is hegeszthetők.
- $D = 10 \dots 1000 \text{ mm}$
- $s = 0,3 \dots 13 \text{ mm}$
- $v_{\text{heg}} = 10 \dots 150 \text{ m/min}$



A cső-vonalhegesztéseket hosszvarratos csövek gyártásánál használják.