

## 2. HEGESZTÉS

### 2.1. A hegesztés általános kérdései

Gépalkatrészek vagy szerkezetek készítésekor elkerülhetetlen feladat az egyes különálló szerkezeti elemek összekötése. Az összekötés kétféle módon történhet:

- oldható kötéssel,
- oldhatatlan kötéssel.

Az oldható kötéshez külső erő szükséges. A külső erő közvetítésére huzal, ék, csavar vagy szegecs alkalmazható. A kötésfajták között a megbontás lehetősége szerint szokás különbséget tenni. A huzal-, ék- és csavarkötés általában bontható, a szegecskötést bonthatatlanak tekintik. A szegecskötés lángvágással ugyan bontható, de a szegecs nem használható fel újból. A külső erővel létesített kötést foglaltos kötésnek is nevezik, mivel az egybefoglalt alkatrészek megtartják önállóságukat.

A *hegesztés*, mint oldhatatlan kötés, több száz éve ismeretes, igazi fejlődése azonban csak a múlt század végén kezdődött. Hegesztéskor a fémek alkatrészek összekötésére belső erőket, a fémek atomjait és molekuláit összetartó erőket használnak fel. Ezt a kötésmódot *kohéziós kötésnek* is nevezik.

A kétféle kötésmód összehasonlításakor az alábbiakat állapíthatjuk meg:

- statikus, egyszerű igénybevételek átadását illetően a két kötésmód egyenértékű,
- összetett és fásztó igénybevételek elviselésére a hegesztés megfelelőbb, mint a foglaltos kötés,
- anyagtakarékosság szempontjából a hegesztett kötés mindig jobb,
- a munkaigényességet illetően az esetek többségében a hegesztés a kedvezőbb.

Hegesztéskor a kohéziós kapcsolatot többnyire úgy hozzák létre, hogy a hegesztés helyén az alkatrészek anyagát vékony rétegen megolvasztják és így kötik össze őket, vagy pedig az alapanyaghoz hasonló kémiai összetételű töltőanyag megolvasztásával kapcsolják össze az alapanyagokat.

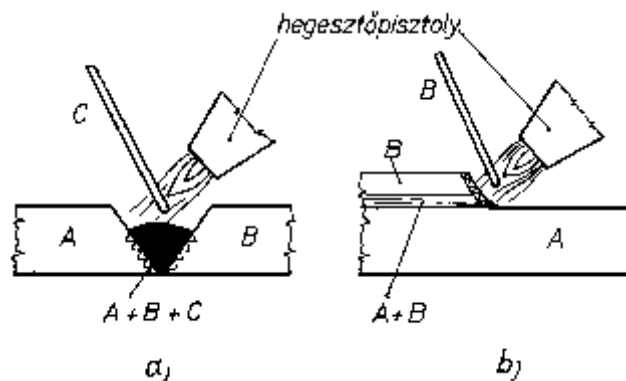
Kohéziós kötést létre lehet hozni úgy is, hogy az összekötésre kerülő felületek közötti hézagot az alapanyaggal közel sem egyező, lényegesen kisebb olvadáspontú fémmel töltjük ki. Ezt az eljárást nevezzük *forrasztásnak*.

Két vagy több szerkezeti elem közötti molekuláris kapcsolatot pusztán erőhatással is létre lehet hozni anélkül, hogy az alapanyagokat megömlesztենek (pl. kovácshegesztés, hideghegesztés).

A kohéziós kapcsolat létesítésének azt a módszerét, amelyben az alapanyagoknak a kötés helyével szomszédos kis részét helyileg egy közös fémfürdővé olvasztjuk és abba még esetleg egy harmadik anyagnak (hegesztőpálcának vagy elektródnak) egy részét is beolvasztjuk, és az így keletkezett hegfürdőt a kötést áthidaló varráttá dermesztjük, *ömlesztő hegesztésnek* hívjuk.

A 2.1/a. ábra vázlatosan azt szemlélteti, amikor az A és B munkadarab megfelelően előkészített összekötendő felületeit pl. egy lánghegesztő pisztoly lángjával közös fémfürdővé olvasztjuk össze, és ebbe még a C hegesztőpálca anyagát is beömlesztjük. A három anyag

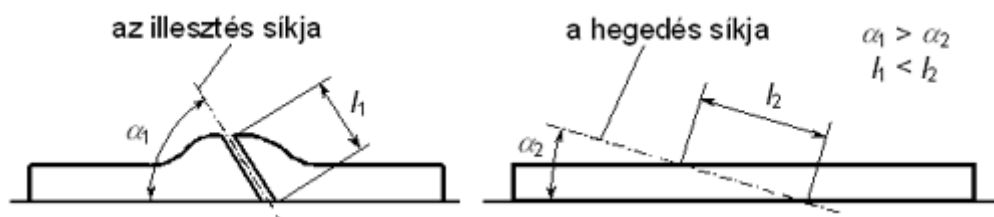
ömledékéből a fémfürdő az A és B anyag szilárdan maradt részével a részlegesen megolvadt átmeneti körzet útján kapcsolódik. A hegesztett kötést itt a közös fémfürdővé (hegfürdővé) összeömlesztett A + B + C anyag együttes dermedésével keletkező belső erő biztosítja.



2.1. ábra

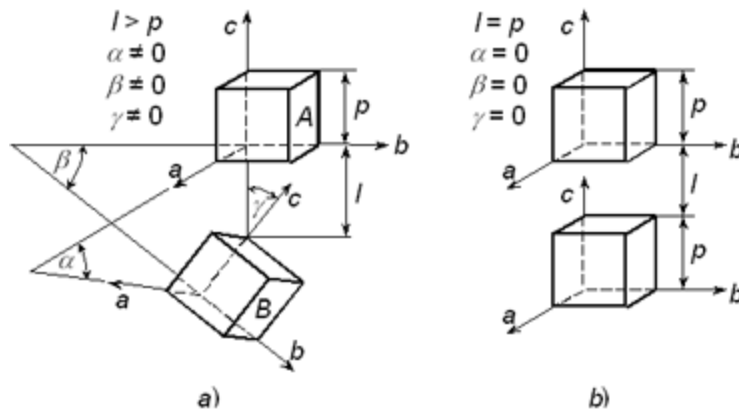
A b) ábra azt az esetet szemlélteti, amikor az A alapanyagra a B hegesztőpálca anyagát a láng melegével átömlesztjük. Ilyenkor a keletkezett hegfürdő az A és a B anyagot tartalmazza, de nem minden helyen azonos mennyiségben. A hegfürdő megdermedésekor a keletkezett varrat kohéziós kapcsolatba kerül az alapanyaggal. Az ilyen hegesztést nevezzük *felrakóhegesztésnek*.

A kohéziós kapcsolat létesítésének másik ősrégi változata a sajtoló (túzi) hegesztés, amelynek vázlatát a 2.2. ábra szemlélteti. A ferde véglapokkal összeillesztett lágyacél rúdvégek között úgy jön létre a kötés, hogy a  $\gamma$ -mező hőmérsékletére hevített, revétől megtisztított ferde illesztési síkok mentén a két anyag külső erő, pl. kalapácsütések hatására egymásba sajtolódnak. Közben az illesztés  $\alpha_1$  szöge  $\alpha_2$ -re csökken, az  $l_1$  illesztési hosszúság  $l_2$  hegedési hosszúságra növekszik. A két lágyacél illesztési felületének vékony anyagrészei tehát eredeti helyzetükhöz képest elfordulnak, és képlékeny megnyúlás közben egymáshoz képest elcsúsznak. Az ilyen kötés tehát szilárd halmazállapotban jön létre.



2.2. ábra

A szilárd halmazállapotban végrehajtott hegesztés kötésmechanizmusát a 2.3. ábra alapján magyarázhatjuk. Az összekötendő két felületet egy-egy rácselemével ábrázolhatjuk (A és B). Ilyen helyzetben az egymáshoz legközelebb levő atomok között  $l$  távolság nagyobb a két rácselem azonos paraméterénél:  $l < p$ .



2.3. ábra

A két szomszédos szemcsé térrácsának tengelyei általában nem párhuzamosak, tehát a szomszédos szemcsék orientációja különböző. A kohéziós kapcsolat feltétele az, hogy a két felület rácselemei egy közös térrácsban helyezkedjenek el. Ennek az a feltétele, hogy  $l = p$  és  $\alpha = \beta = \gamma = 0$  legyen.

Az  $l = p$  feltételt megfelelő nagy erővel, az  $\alpha = \beta = \gamma = 0$  feltétel teljesülését pedig az érintkező felületek rácselemeinek relatív elmozdulásával (elcsúszás, megnyúlás, elfordulás) érjük el. Az  $l = p$  feltétel kielégítése annál könnyebb, minél kisebb az  $l$ , és minél nagyobb a  $p$ . Az  $l$  csökkentését a sajtolóerő növelésével, a  $p$  növelését a fém hőmérsékletének a növelésével érhetjük el.

Az előzőekből következik, hogy megfelelő nagy sajtolóerővel szobahőmérsékleten is lehet hegeszteni (hideghegesztés, robbantásos hegesztés).

A hegesztéshez szükséges kohéziós kapcsolat tehát elvileg kétféle módon hozható létre: ömlesztő hegesztéssel és sajtoló hegesztéssel. A két eljárás kombinálható is egymással. Eszerint a hegesztő eljárások három nagy csoportra oszthatók:

- sajtoló hegesztés,
- ömlesztő (olvasztó) hegesztés,
- ömlesztő hegesztés sajtolással.

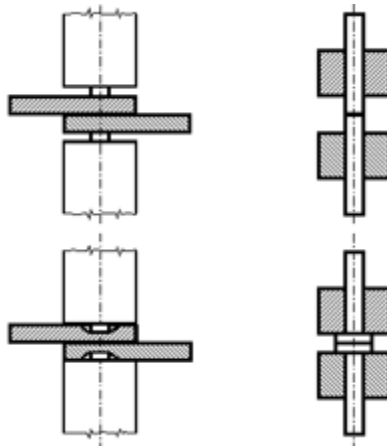
Ahhoz, hogy ömlesztő hegesztéskor a hegesztendő alapanyagok csak hegesztési felületeken ömöljenek meg, olyan hőforrásra van szükség, amely a felületet csak egy keskeny csíkban ömleszt meg anélkül, hogy az alapanyag többi része megolvadna. Ezt olyan hőforrással lehet biztosítani, amelynek a hőmérséklete az alapanyag olvadáspontjánál lényegesen nagyobb.

## 2.2. Sajtoló hegesztések

### 2.2.1. Hideghegesztés

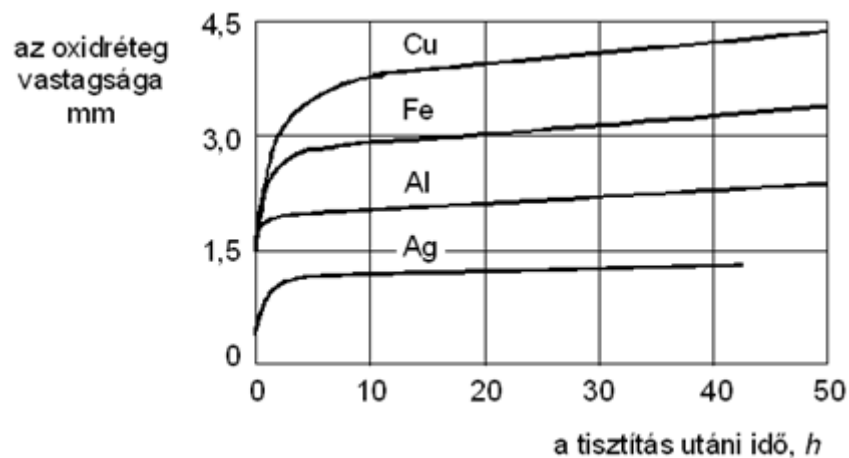
A hideghegesztés olyan eljárás, a melynek során az adott hideg anyag folyáshatáránál lényegesen nagyobb feszültséggel terhelik az összekötendő felületeket. A hegesztés során a munkadarabok nagy alakváltozást szenvednek. Ez az alakváltozás tompahegesztéskor zömítési dudorként, átlapolat hegesztéskor pedig keresztmetszet-csökkenésként jelentkezik

(2.4. ábra). Minden anyaghoz tartozik egy meghatározott kritikus alakítási érték, amelynél a hegedés folyamata megindul. Ez az érték például alumíniumra 150%, rézre 175%.



2.4. ábra

Hideghegesztéskor a kifogástalan kötés előfeltétele a tiszta felület. Tiszta felületet megfelelő előkészítéssel, vagy igen nagy mértékű hidegalakítással lehet biztosítani. Mivel a hegesztés közbeni alakváltozás minimumon tartása érdekében a lehető legkisebb sajtolóerővel kell dolgozni, a felületek hegesztés előtti tisztítása nagy jelentőségű. A hegesztést közvetlenül a tisztítás után kell elvégezni, mivel az oxidképződés gyorsan bekövetkezhet (2.5. ábra).



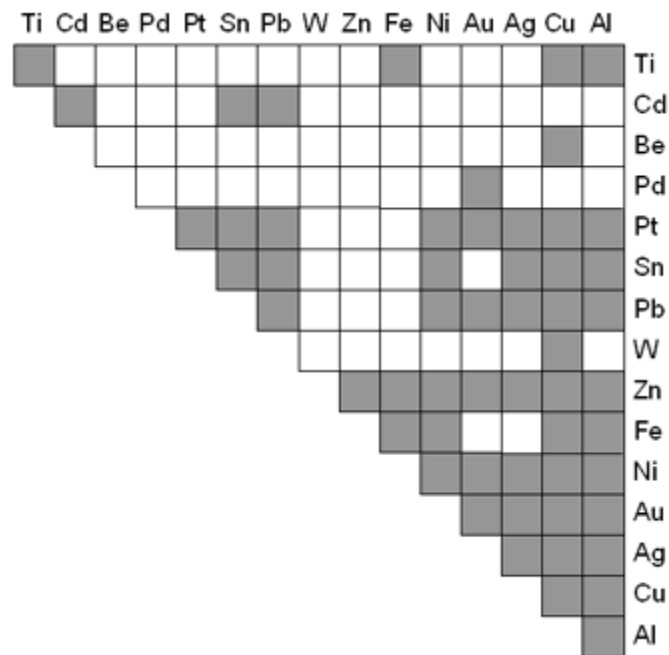
2.5. ábra

Az oxidréteg keménysége is befolyásolja a hegeszthetőséget. A keményoxidú fémek jobban hegeszthetők, mint a lágyoxidúak. A roncsolt kemény oxidrétegek kifelé nyomulnak a hegesztési hézagból. Az oxidokkal együtt minden egyéb idegen szennyezőanyag kiszorul a zömítési dudorba, amely utólagos megmunkálással eltávolítható. A felületek tisztíthatók mechanikusan (kefélés, reszelés, esztergálás stb.), vegyi úton (pácolás), hőkezeléssel, vagy ezek kombinációjával. Szilárdsági szempontból a legjobb eredményt a forgó acél-drótkefékkel végzett tisztítás biztosítja.

A hideghegesztés készülékeinek egyetlen feladata van: a nyomóerő biztosítása. A kisméretű darabokhoz elegendő nagyságú erő fejthető ki pl. kézi működtetésű hegesztőfogóval.

Nagyobb munkadarabok összehegesztéséhez hidraulikus működtetésű gépek használhatók, amelyek részben vagy egészben automatizáltak.

A hideghegesztés előnye, hogy kívülről nem kell hőt bevezetni, nincs szükség hegesztőanyagra, különféle minőségű anyagok is hegeszthetők egymással. A 2.6. ábra a hegeszthetőséget szemlélteti. Hátránya, hogy csak a hidegen jól alakítható anyagok hegeszthetők össze. A hideghegesztés fő alkalmazási területe az alumínium és réz alkatrészek kötése, valamint ezek kombinációja. A felhasználás területe döntően a villamosipar.



2.6. ábra

### 2.2.2. Robbantásos hegesztés

Robbantásos hegesztéskor az összekötendő, legtöbbször nagy felületű darabokat egymással párhuzamosan vagy szög alatt helyezik el, majd hirtelen keltett lökéshullámokkal a munkadarabokat egymáshoz csapják. Ennek hatására a munkadarabok összehegednek. A lökéshullámokat úgy keltik, hogy az egyik lemez külső felületére robbanóanyagot helyeznek el, amelyet az egyik végén begyűjtanak, vagy mind a két lemezt robbanóanyaggal vonják be, és egyszerre gyújtják be (2.7. ábra). Robbanóanyagoknak azokat az anyagokat nevezik, amelyeknek az égési sebessége 3000...9000 m/s között van. A robbanóhüvely geometriai alakja meghatározza a lökéshullám terjedését. Ez síkban, gömb alakban, hengeresen vagy nyalábosított sugárként terjedhet tovább. A lökéshullám-frontokon  $6 \cdot 10^6$  N/cm<sup>2</sup> nyomásmaximumok mérhetők. A robbantásos eljárásokban kb.  $2 \cdot 10^6$  N/cm<sup>2</sup> nyomással dolgoznak.



2.7. ábra

A robbanóanyag fokozatos égése következtében az a munkadarab, amelyen a robbanóanyag van, kb. 1500...2000 m/s sebességgel közeledik a másik munkadarabhoz. Ez azt jelenti, hogy minden pillanatban egymás utáni ütközések érik a darabokat. Az ábra szerinti elrendezés esetén a darabok által bezárt szög csúcsa tehát a robbanóanyag égési sebességével halad jobbról balra. A két felület ütközésekor a szög csúcsából az oxidréteget és más szennyezőket a nagy sebességgel kiszoruló levegő kifújja. Közben a két darab felületi rétegei az ütközés hatására megfolynak, az atomok rácsparamétereiknek megfelelően megközelítik egymást, így a teljes felületen kialakul a kötés.

A robbantásos hegesztés időtartama néhány ezred másodperc. Ez nem elegendő a diffúzió lefolyására, ezért a különemű fémek kötésében nem alakulnak ki átmeneti kémiai vegyületek, illetve a különböző acélok hegesztett kötésében átmeneti szövetszerkezetek.

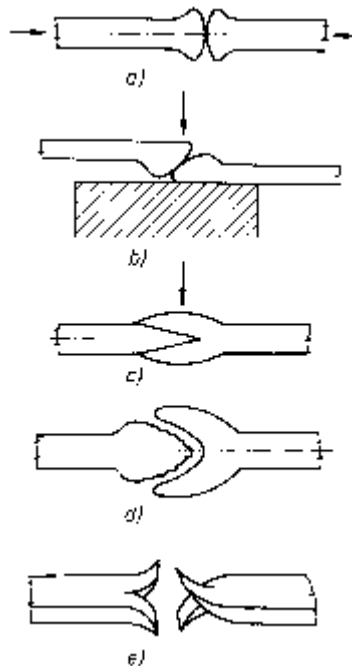
A robbantásos hegesztés sikeresen alkalmazható kettősfémek (bimetallok) kialakítására, a szerkezeti és különleges acélok, illetve ötvözetek egyesítésére (pl. plattírozás), elkopott szerkezeti elemek felújítására.

### 2.2.3. Kovácshegesztés

A kovácshegesztés a legősibb hegesztési eljárás, amelyet lágyacélok kötésére használnak. Bonyolult kovácsdarabokat ugyanis csak úgy lehet elkészíteni, ha egyes részeit külön kovácsolják, és ezeket utólag kovácshegesztéssel egyesítik. Kovácshegesztéskor a hegesztési hőmérsékletre hevített alkatrészeket egymásra helyezik, és a kötet külső erőhatással biztosítják. A kovácshegesztést az acél összetételétől függően 1350 °C körüli hőmérsékleten végzik. Jól hegeszthető a kis karbontartalmú lágyacél, 0,15% C-tartalomig. E fölötti C-tartalom mellett a hegesztés korlátozott. A jó kötés feltétele a tiszta, oxidmentes érintkező felületek biztosítása. Ennek elérését segítik elő a különféle hegesztőporok (bórax, vörösvérlúgsó, szalmiák, hamuzsír, kvarchomok). Ezek a hegesztőporok a revével (FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vagy Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) könnyen olvadó, híg folyós salakot képeznek, és megóvják a felületet a további oxidációtól. Hegesztéskor az alakítóerő hatására ez a híg folyós salak a hegesztendő felületek közül könnyen kifröccsen, és ezáltal a fém tiszta felületek lehetővé teszik a kohéziós kötetet. A hegesztőport közvetlenül a hegesztési hőmérséklet elérése előtt szórják a felületre. A munkadarabot ezután visszahelyezik a kemencébe, és elvégzik a készrehevítést.

A munkadarabokat úgy kell kialakítani, hogy az egymásra helyezett hegesztési felületek tegyék lehetővé a salak könnyű eltávolítását. Ezért a felületek először mindig középen érintkezzenek egymással, és ne zárjanak be üreget. A hegesztést könnyű ütésekkal kell kezdeni, és erős ütésekkal kell befejezni.

A kovácshegesztés különböző módszereinek vázlatát szemlélteti a 2.8. ábra.



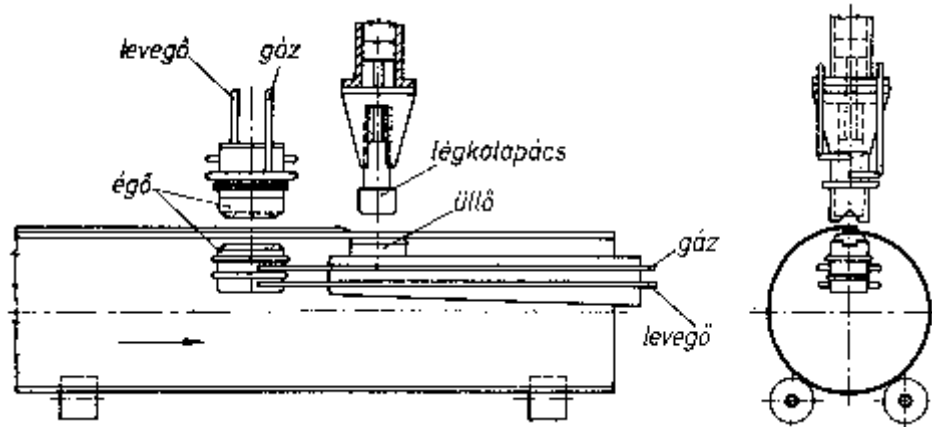
2.8. ábra

A legegyszerűbb, de egyúttal a legkevésbé megbízható a tompahegesztés (a). Jobb kötést biztosít az átlapoló hegesztés (b). A darabok végeit előduzzasztják, majd 30-40°-os szögben kikovácsolják, gondoskodva arról, hogy a hegesztés kezdetén a felületek közepén egy pont vagy vonal mentén érintkezzenek. Nagy darabok, illetve különböző anyagú alkatrészek egyesítésére használják a záróhegesztést (c), ahol az érintkezés az előzőekhez viszonyítva nagyobb felületen történik. Duzzasztás után az egyik darab végét bevágják és szétfeszítik, a másikat pedig kihegyezik. Ezután egymásba helyezve a darabot, elvégzik a hegesztést. Ez a módszer azzal a veszéllyel jár, hogy a hegesztés gyökerében salak maradhat vissza, ami rontja a varrat szilárdságát. Ha a hegyezett darab felületét lépcsőzetesre kovácsolják, növelni lehet az érintkezési felületet, ami a kötés szilárdságát növeli. A salakbezáródás veszélyével itt is számolni kell (d). Vékony lemezek hegesztését az e) ábrán látható behasításos módszerrel lehet a legjobban megoldani. Számítani kell azonban arra, hogy a felhevítéssel járó revésedés, majd az ezt követő salakképzés a lemezvastagság csökkenését eredményezi.

A kovácshegesztés minősége nagyon sok tényezőtől függ, és a szilárdsági értékek még az azonos módon elvégzett hegesztés esetén is nagy szórást mutatnak. A hegesztési hely szilárdsága erősen függ a kötés helyén visszamaradt salakfészkek elhelyezkedésétől. A kovácshegesztéssel elérhető maximális szilárdsági érték az adott anyagból készült tömör rúd szilárdságának kb. 85...90%-a.

A kovácshegesztés egyik változata az átlapoló csőhegesztés. A hegeszteni kívánt cső kiinduló anyaga lemezcsík, amelyet a hegesztés előtt csővé hajlítanak. Hajlítás után az éleknek fedniük kell egymást. A hegesztést külön erre a célra készült speciális gépeken lehet elvégezni (2.9. ábra). A csövet a hegesztőkocsi görgőire fektetik úgy, hogy forgatása és tengelyirányú mozgatása lehetővé váljék. A kocsi ezenkívül emelni és süllyeszteni is lehet. A kocsi a csövet végig lehet mozgatni az üllórúdon. Az üllő előtt helyezik el a két gázégőt. Az alsó égőt az üllórúdra, a felsőt a gép állványára szerelik. Amikor a cső egy szakasza elérte a hegesztési

hőmérsékletet, a kocsit úgy mozdítják el, hogy a felmelegített rész az üllő fölé kerüljön. A kocsit ezután lesüllyeszti, a cső felfekszi az üllőre. Ezt követően a pneumatikus kalapács szapora ütéseivel elvégzik a hegesztést. Ezt a módszert általában 320...1300 mm átmérőjű, 5...80 mm falvastagságú csövek hegesztésére használják.

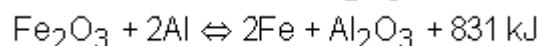
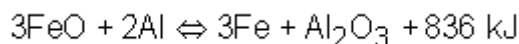


2.9. ábra

#### 2.2.4. Termithegesztés

A termithegesztés az egyik legrégebb hegesztési eljárás. Felfedezése *H. Goldschmidt* nevéhez fűződik, aki már 1899-ben vasúti sínek összehegesztésére alkalmazta. Jelentősége a lánghegesztés és a villamos hegesztési eljárások fejlődésével erősen csökkent. Ma leginkább vasúti sínek és csövek kötésére, valamint hibás, illetve törött öntvények javítására használják.

Az eljárás alapja az, hogy a fém alumínium a vas oxidjait hőfejlődés közben tiszta vassá redukálja, miközben alumíniumoxid képződik. Hegesztés céljára a vas oxidjai közül főleg az  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  és az  $\text{FeO}$  jöhet számításba. A reakcióegyenletek:



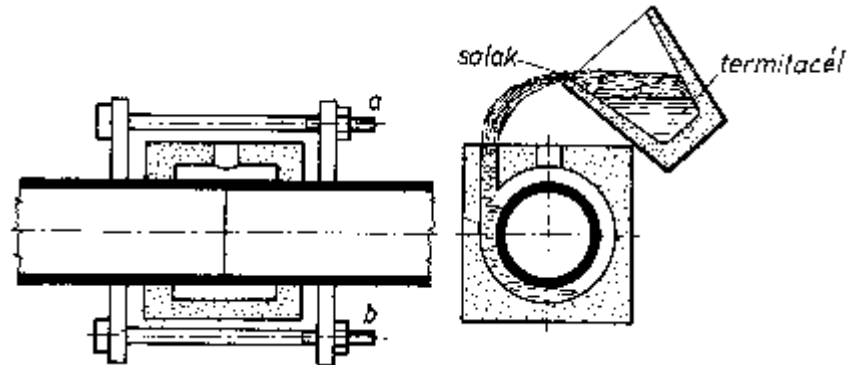
A gyakorlatban 18...20%  $\text{FeO}$  és 79...85%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  összetételű revét használnak fel termithegesztőporok gyártásához. A szennyezés megengedett mértéke legfeljebb 1%. A hengerdei revét (vasoxidot) osztályozni, pörkölni és tisztítani kell, hogy hegesztőporok gyártására alkalmassá váljon. Az előkészített reve 0,1...5 mm szemnagyságú, amelyet alumíniumdarával egyenletesen elkevernek. Ez az ún. alapelegy, amelyhez a hegesztésre kerülő acél (pl. vasúti sín) összetételétől függően megfelelő mennyiségű, 0,5...3 mm szemnagyságúra őrlött ferroötvözetet kell adagolni.

A folyamat erősen exoterm. A hőfejlődés hatására a keletkező vas megolvad. A reakció azonban csak nagyobb hőmérsékleten indul meg, ezért a keverék meggyújtására bárium-szuperoxidból és alumíniumból álló keveréket kell alkalmazni. Ez a keverék könnyen meggyújtható, a keletkező hő hatására a termitpor már tovább ég. Termithegesztéskor vagy csak a képződött salak hőtartalmát használják fel a hegesztés céljaira, vagy pedig a redukció útján keletkezett termitacél használható kötőanyagul.



Eszerint a termithegesztést háromféle formában lehet alkalmazni:

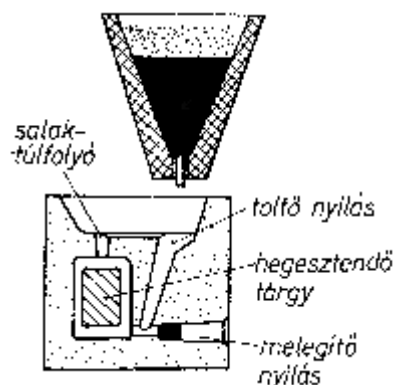
- termithegesztés nyomással
- termithegesztés öntéssel
- termithegesztés öntéssel és nyomással.



2.10. ábra

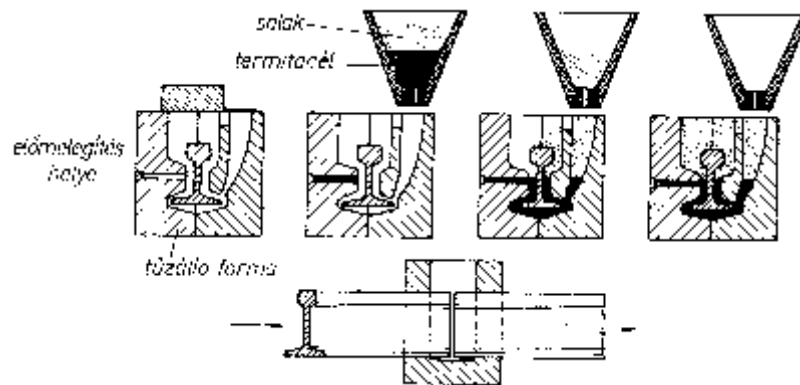
Az első eljárást pl. csővégek tompahegesztéséhez használják. A csővégek összeillesztési helyét tűzálló anyaggal bélelt forma veszi körül (2.10. ábra). A csővegre karimát erősítenek, amelyek csavarokkal összehúzóhatók. A hegesztés úgy történik, hogy a tégely tartalmát, amelyben a termitreakció már lefolyt, beleöntik a formába. Mivel a salak sűrűsége a vas sűrűségénél kisebb, a felszínen úszik, tehát beöntéskor ez kerül a formába. Ezáltal elérhető, hogy a csővégek csupán felizzanak, de nem ömlenek meg, így alakjuk nem torzul el. A hegesztés azáltal történik, hogy a felizzott csővégeket a csavarokkal összeszorítják. Ez a hegesztési eljárás tisztán sajtoló hegesztésnek tekinthető.

Ömlesztő hegesztésnek nevezzük azt a termithegesztő eljárást, amelynél a termitacélt töltőanyagul használják fel, amint az a 2.11. ábrán is látható. A törött géprészt tűzálló anyaggal kell körülvenni, a termitacél részére beömlő nyílást kell hagyni. Gondoskodni kell a gázok elvezetéséről is. Ömlesztő hegesztéskor a tégelyt alul csapolják meg, hogy öntéskor előbb a túlhevített vas folyjon ki. Az erősen túlhevített vas (2200-2400 °C) a hegesztendő anyagokat is megolvasztja a hegesztés helyén, tehát biztosítja a teljesen fémes kapcsolatot.



2.11. ábra

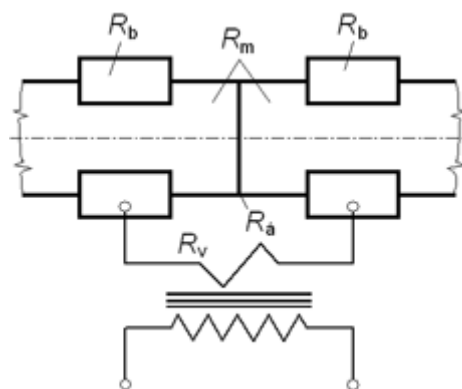
Sínhegesztéskor hasonló elven végezzük el a talp és a gerinc ömlesztő hegesztését (2.12. ábra). A termitacél után a salak is kifolyik a tégelyből, és egy átömlő nyíláson keresztül a sín fejéhez jut. A salak a fejet hegesztési hőmérsékletre melegíti, de már nem ömleszt meg. A hegesztési hőmérséklet elérésekor a sínekre gyakorolt hosszirányú nyomással a fejeket is össze lehet hegeszteni. A nyomás következtében természetesen a folyékony állapotban levő termitacél és a salak egy része is kiszorul. A kötésnek azokat a felesleges részeit, amelyek a gerincet és a talpat megvastagítják, de a futófelületet nem zavarják, nem szokták utólag lemunkálni.



2.12. ábra

### 2.2.5. Villamos ellenálláshegesztés

Az ellenálláshegesztéshez a villamos áram *Joule*-hőjét használják fel. A *Joule*-törvény értelmében az áramkörben az áramkört alkotó elemek ellenállásával arányos hő fejlődik (2.19. ábra).



2.13. ábra

A hegesztőgép szekunder áramkörébe kapcsolt munkadarabok homlokfelülete  $R_a$  átmeneti ellenállást jelent, és mivel ehhez képest a többi ellenállás értéke elhanyagolható, csaknem a teljes hőmennyiség itt fejlődik. A hegesztésre kerülő munkadarabok ohmikus ellenállása ( $R_m$ ), valamint a befogópótok és a munkadarab közötti átmeneti ellenállás ( $R_b$ ) értéke ugyanis a nagy keresztmetszetek következtében, a vezetékek  $R_v$  ellenállása pedig azok jó vezetőképessége miatt lényegesen kisebb.

Az  $R_a$  átmeneti ellenálláson és a munkadarabon  $t$  idő alatt fejlődő  $Q$  hőmennyiség az alábbiak szerint számítható:

$$Q = \int_0^t [R_a(t) + 2 \cdot R_m(t)] \cdot J^2(t) dt$$

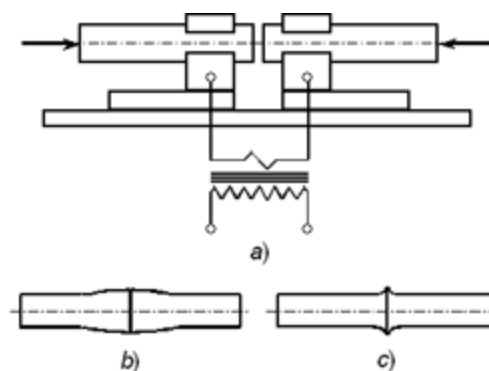
Ezért a villamos ellenálláshegesztést nagy áramerősségű ( $J = 3000 \dots 15000$  A) és kis feszültségű ( $U = 1 \dots 10$  V) árammal végzik.

A hegesztőáramot réz szorítópofákon át vezetik a munkadarabba. Amikor a hegesztendő felületek hőmérséklete elérte a hegesztési hőmérsékletet, a munkadarabokra gyakorolt erőhatással a kötés elvégezhető.

Az ellenálláshegesztés főbb módszerei: tompahegesztés, ponthegesztés, vonalhegesztés, dudorhegesztés.

### **Tompahegesztés**

A *zömítő tompahegesztés* elvi vázlatát a 2.14. ábra szemlélteti. A közel azonos keresztmetszetű, hegesztésre kerülő felületeken átfolyó áram a nagy átmeneti ellenállás miatt nagy hőt fejleszt, a darabok végei felmelegsznek. A felmelegedett felületekre merőleges erő hatására létrejön a kohéziós kötés. Amint a 2.14/b. ábrán is látható, az erő hatására a hegesztés helyén az anyag felduzzad. Ha egyenletes keresztmetszetre van szükség, akkor a hegesztés helyét utólag le kell munkálni.



**2.14. ábra**

A leírt, egyszerű tompahegesztésnél jobb eredményt biztosít az ún. *leolvasztó tompahegesztés*. Az eljárás elvi elrendezése hasonló az előbbihez, csak a folyamat elvégzése eltérő. A hegesztésre kerülő felületeket először összeérintik, majd a hegesztőáram bekapcsolása után egy bizonyos határig széthúzzák a munkadarabokat. A laza érintkezés miatt igen nagy lesz az áramsűrűség, ív keletkezik, a fém felületi rétegei elgőzölögnek, egy vékony sáv megolvad, amely minden szennyezőtől mentes, így fémtiszta felületet kapunk. Az eljárás harmadik szakaszában a két munkadarabot dinamikus lökessel egyesítik. A leolvasztó tompahegesztésre jellemző dudor alakját a 2.14/c. ábra szemlélteti.

Példaként megemlítjük, hogy a vasúti sínek legjobb minőségű kötőhegesztését a villamos leolvasztó tompahegesztés biztosítja. Az áramtól átjárt sínvégeket rövid érintkezés után

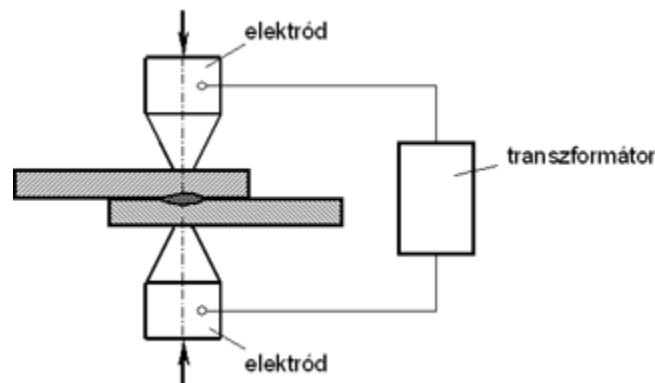
többször széthúzzák, majd végül duzzasztással kötik össze a síneket. Az ilyen eljárást *szakaszosnak* vagy *előmelegítésesnek* nevezik.

A leolvasztó eljárással csaknem tetszőleges alakú és méretű tárgyak is összeköthetők. Az eltérő összetételű acélok, a könnyű- és színesfémek (egymással is) hegesztése is megoldottnak tekinthető. Az eljárás előnye az egyszerű felületelőkészítés, és a viszonylag kis energiaszükséglet. Hátránya a leolvasztással elveszített nagyobb anyagmennyiség, ami pl. a gyorsacélok hegesztésekor jelentős érték.

A folyamatos leolvasztó tompahegesztéskor a munkadarabokat befogás után egymástól eltávolítják, majd bekapcsolják a hegesztőáramot. A mozgópofába fogott munkadarabot egy vezértárcsa által meghatározott sebességgel közelítik az álló munkadarabhoz. Az érintkezés kezdetben - a felületek érdességétől függően - csak néhány ponton következik be. Ennek megfelelően a kis keresztmetszeten átfolyó igen nagy erősségű áram megolvasztja, majd forráspontig hevíti a kis tömegű fémhidakat. Mivel az előtolás tovább tart, a fém leolvadása miatt az érintkezés újabb pontokon következik be, míg végül a teljes homloklapfelület megolvad. Ekkor bekapcsolják a zömítő áramot és a zömítő erőt, majd ezután kikapcsolva az áramot, létrejön a hegesztett kötés.

### ***Ponthegesztés***

Ponthegesztést vékony lemezek és egymást keresztező acélhuzalok, hálók kötésére alkalmazzák. Ezzel a hegesztési módszerrel a szegecseléshez hasonló kötetést kapunk, mivel a hegesztésre kerülő lemezeket csak egyes helyeken fogja össze. A lemezeket átlapolva hegesztik úgy, hogy a hegesztendő helyen két, rendszerint vörösréz-ből készült kúpos szerszámot szorítanak a lemezekre. A szerszámok egyúttal az áram vezetésére is szolgálnak (2.15. ábra). A hőhatás a tompahegesztéshez hasonlóan a lemezek közötti átmeneti ellenállás miatt a két lemez érintkezési felületén lesz a legnagyobb. Amikor elérik a hegesztés hőmérsékletét, illetve amikor a lemezek megolvadnak, az elektródokkal kifejtett erő hatására a lemezek az elektródok átmérőjének megfelelő felületen összehegednek, a hegesztési pont felülnézete gyakorlatilag kör alakú, oldalnézetű metszete ellipszis.



**2.15. ábra**

A munkamenet három szakaszra osztható:

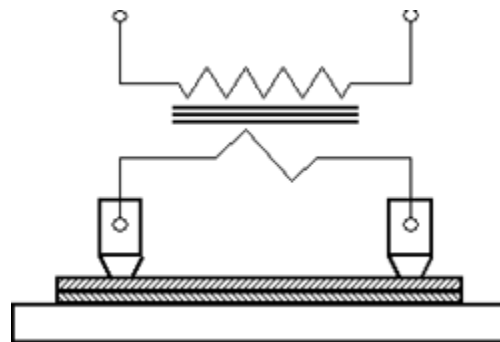
- a nyomás megindításával és annak növelésével a hegesztendő részeket a belső érintkezés kialakulásáig összesajtolják;
- konstans nyomáson bekapcsolják az áramot, amelynek hatására az elektródok közötti anyagréteg felmelegszik, majd megolvad, így kialakul a kötés;

- az áram kikapcsolásával megkezdődik a hegesztési hely lehűlése, majd a nyomás fokozatos csökkentése közben a folyékony fémmag megszilárdul. Ezzel megszűnik a lunkerképződés lehetősége is.

Ponthegeztett kötés készíthető *lág*y és *kemény* munkarenddel. Acélokat lágy munkarenddel hegesztve az elektródon átfolyó áramsűrűség kb.  $100 \text{ A/mm}^2$ , kemény munkarend esetén elérheti a  $300 \text{ A/mm}^2$ -t is. A kemény munkarend nagyobb teljesítményű berendezést igényel, de a kis ciklusidő nagy termelékenységet biztosít. Az öntött, edződésre hajlamos acélok lágy munkarenddel és növelt elektródnnyomással egyesíthetők. A kemény munkarend az ilyen acélok kötésében martenzites szövetet eredményezhet, amit utólagosan lehet megereszteni a hegesztőgépen.

Az alumínium és a réz jó hő- és villamos vezető, ezért ponthegeztése csak különösen nagy áramsűrűséggel ( $1000 \dots 1500 \text{ A/mm}^2$ ) és nagyon rövid hegesztési idővel ( $0,01 \dots 0,1 \text{ s}$ ) végezhető el.

A ponthegeztés különleges változata az ún. kettős ponthegeztés, amelynek vázlatát a 2.16. ábra szemlélteti.

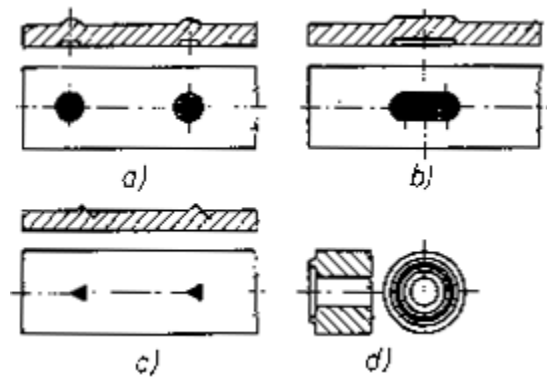


2.16. ábra

A ponthegeztés teljesen automatizálható, ipari robotokkal is elvégezhető. Elterjedten alkalmazzák a karosszériagyártásban.

### ***Dudorhegesztés***

Dudorhegesztéskor egymással párhuzamos, nagy felületű elektródok vezetik az áramot, és viszik át az erőt a közéjük helyezett munkadarabokra. Az elektródok közül legalább az egyiket sajtolással készített kiemelkedések, dudorok vannak a szükséges hegesztési keresztmetszet kialakításához. A dudorok alakja különféle lehet, méreteik elsősorban a lemezvastagságtól függenek (2.17. ábra).



2.17. ábra

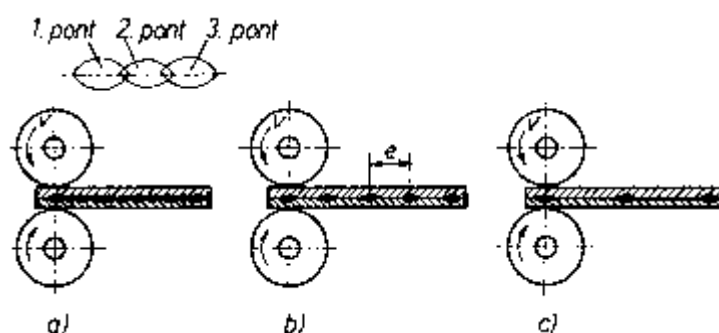
A dudorok alakjának és méreteinek a meghatározásakor az alábbiakat kell figyelembe venni:

- azonos vezetőképességű, de különböző vastagságú lemezekhez a vékonyabb lemez szabja meg a dudor méreteit;
- a dudorokat mindig a vastagabb lemezen kell kialakítani;
- ha a vezetőképesség különböző, akkor a dudorokat a jobb vezetőképességű lemezen kell elhelyezni.

A dudorhegesztés melegen hengerelt lemezeken is megbízható kötést biztosít, mivel a dudor készítésekor a rideg reveréteg lepattogzik a dudor felületéről.

### Vonalhegesztés

Vonalhegesztéskor egymással szemben elhelyezett görgő alakú elektródok veszik át az áramvezetést, az erőátvitel és a görgők között elhelyezett munkadarabok mozgatásának szerepét. Ezek a görgők az áram és a nyomás helyes beállításakor hegesztett pontsort hoznak létre egyenletes ponttávolsággal (osztótávolság). A hegesztett pontok  $e$  távolsága a görgők  $v$  előtolási sebességétől, illetve a hozzájuk kapcsolt vezérlőelemek beállítási értékeitől függ (2.18. ábra).



2.18. ábra

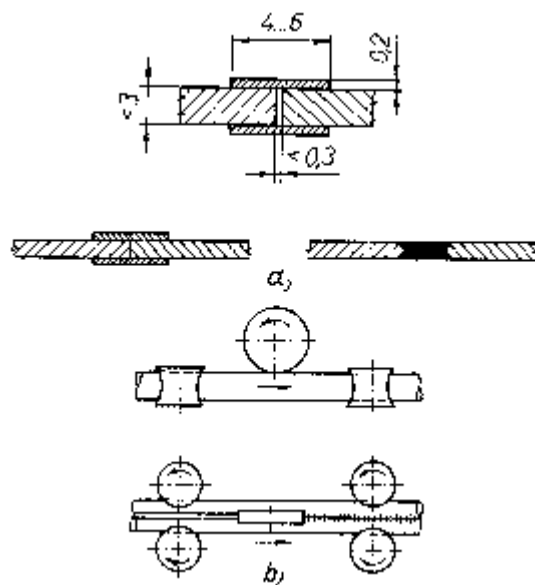
Amennyiben tömítő varratra van szükség, akkor az osztótávolságot a hegesztett pont átmérőjénél kisebbre kell választani.

Vonalhegesztéskor a legnagyobb nehézséget az okozza, hogy az áram alatti görgők továbbfordulásakor a lemezfelülettől távolodó él és a lemez között villamos ív keletkezik,

amely a görgőt és a lemezt oxidálja, sőt el is égetheti. Ennek a problémának a kiküszöbölése csak bonyolult vezérlőberendezéssel ellátott gépekkel lehetséges.

A vonalhegesztőgépek drágák, energiaigényük is jelentős, aminek eredményeként a vonalhegesztés elterjedése a ponthegesztéshez és a tompahegesztéshez képest mérsékelt.

A vonalhegesztés egyik speciális esete a *fóliahegesztés*. Fóliahegesztéshez a tompán illesztett lemezekre alul-felül egy-egy  $4 \times 0,2$  mm méretű lágyacél szalagot (acélfóliát) helyeznek (2.19/a. ábra). A lemezeket pontosan kell illeszteni, az illesztési hézag legfeljebb 0,3 mm lehet. A fóliaszalagok részben beolvadnak az alapanyag olvadékba. A kötés helyén a vastagodás legfeljebb néhány század mm. A varrat minősége kifogástalan, 200 bar túlnyomásig megfelelő tömítést biztosít. A berendezés és a fólia ára miatt a hegesztés fajlagos költsége jelentős.



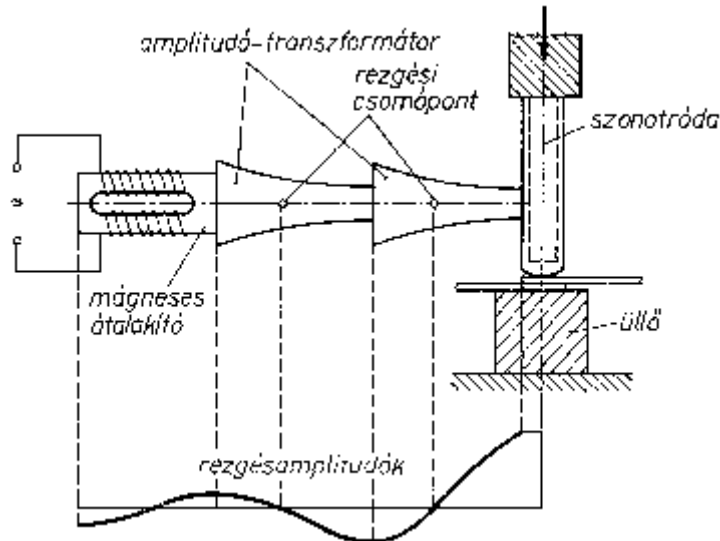
2.19. ábra

A vonalhegesztés másik speciális esete a csőhegesztés (2.19/b. ábra). A hegesztett csövek alapanyaga szalagacél, amelyet a hegesztést megelőzően görgősoron csővé hajlítanak. A hegesztőgörgőn kívül még két görgőpárra van szükség, amelyeknek egyrészt az a feladata, hogy a csövet továbbítsák, másrészt az, hogy a cső varrata a hegesztés után, amikor a heganyag még nagyon képlékeny, szét ne nyílhasson. A hegesztés sebessége 10...60 m/min. Az eljárás alkalmazási területe elég széles: a vékonyfalú (0,5 mm), kis átmérőjű (6 mm) csövektől a vastagfalú (20 mm), nagy átmérőjű (660 mm) csövekig terjed. Az első ilyen gépet *Harmatta János* szabadalmaztatta.

## 2.2.6. Ultrahangos hegesztés

Ultrahangos hegesztéshez kívülről nem kell hőt bevezetni. Az ultrahang által előidézett rezgőmozgás a hegesztendő felületek érdességi kiemelkedéseit és az oxidrétegeket elroncsolja, és a fémes felületeket egymásba dörzsöli. A rezgések a kis sajtolóerővel együtt idézik elő a fém folyását.

Az ultrahangos ponthegesztőgép külsőleg ellenálláshegesztőgéphez hasonlít. A munkadarabok a szonotróda és gép üllője között fekszenek. A szorítónyomást hidraulikusan vagy pneumatikusan hozzák létre. Az ultrahangos hegesztőgép rezgés technikai elvét a 2.20. ábra szemlélteti.



2.20. ábra

Az ultrahangos hegesztőgépekben az ultrahangkeltők a magnetostrikciós hatáson alapulnak. Ha ferromágnes rudat vele párhuzamos mágneses térbe helyezünk, a rud hosszváltozást szenved. Ha ezt a rudat váltakozó mágneses tér hatása alá helyezzük, akkor a rud a tér mágneses váltakozásának ütemében deformálódik. Ha a váltakozó tér frekvenciája és a rud önrezgése azonos, akkor rezonancia lép fel, a rúdvégek azonos frekvenciájú hanghullámokat sugároznak szét.

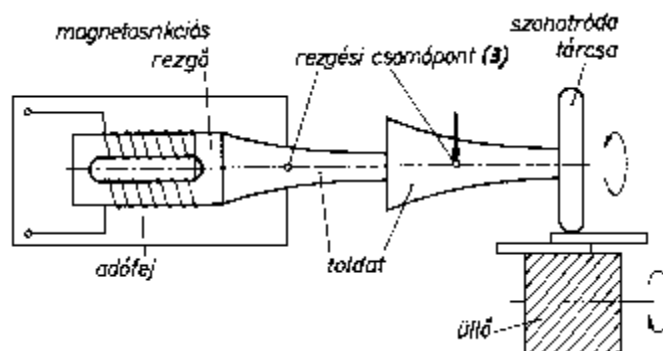
A magnetostrikciós rezgőfej elvben egy rúdból áll, amelyet elektromágneses gerjesztés céljából tekercsel vesznek körül. A váltakozóáramú gerjesztés során váltakozó mágneses tér keletkezik. A rúdban, a hossz tengely irányában rugalmas deformációk lépnek fel a mágneses tér változásának az ütemében.

A rúd anyagként csak olyan fémek használhatók, amelyeknek egyrészt nagy a magnetostrikciós hatásuk, másrészt megfelelően nagy a szakítószilárdságuk. Legalkalmasabbak a nikkel és nikkelötvözetű rudak.

A hegesztéshez szükséges nagy hangerősséget úgy érik el, hogy a hangenergiát a legkisebb térre koncentrálják az ún. koncentrátorral vagy akusztikai transzformátorral.

Kevés olyan technikai fém van, amely ultrahangos módszerrel nem hegeszthető. Legjobban hegeszthetők a nagy csillapítási tényezőjű, jól alakítható anyagok, míg a kemény anyagokban gyorsan jelentkeznek a kifáradás jelei (repedések). Kis csillapítási képességű anyagok ponthegesztésekor a pontok közötti távolságot nagyra kell választani.





2.21. ábra

Az ultrahangos vonalhegesztőgép elve megegyezik a ponthegesztő elvével (2.21. ábra). A fő különbség az, hogy a vonalhegesztő gépen a hangkeltő az átviteli tagokkal együtt forgatható. Ugyancsak forgatható a szonotróda és az üllő is. A rendszert, a ponthegesztőgéphez hasonlóan, a rezgési csomópontokban kell csapágyazni. A szorítónyomást a 3 jelű csomópontokra kell adni. A szonotródát nem szabad megnyomni, mivel ennek teljes terjedelmében egyenletesen kell rezegnie.

Az ultrahangos hegesztés jól alkalmazható műanyagok hegesztéséhez. A legtöbb műanyagot a nyomóerővel párhuzamos rezgésekkel hegesztik. Ezért a fémek hegesztésére készült gépekkel műanyag nem hegeszthető.

### 2.2.7. Diffúziós hegesztés vákuumban

Diffúziós hegesztéskor a kötés a szilárd halmazállapotú, érintkezésben álló fémek felületi rétegében lévő atomok kölcsönös diffúziója révén alakul ki. A hegesztésre kerülő munkadarabok hőmérsékletét úgy kell megállapítani, hogy az közel álljon a kisebb olvadáspontú fém újrakristályosodási hőmérsékletéhez (kb. az olvadási hőmérséklet 0,7-0,8-szorosa).

Egyrészt a hegesztendő felületeket borító idegen rétegek (oxid, szennyezés) leoldásának biztosítása, másrészt a hosszú diffúziós idők során az újabb, vagy további oxidálódás elkerülése érdekében a hegesztést  $10^{-2}$ ... $10^{-4}$  Pa vákuumban végzik. A melegítéssel egyidejűleg létesített nyomás (1...20 MPa statikus nyomás) hatására létrejön a diffúziós kötés. Ez a nyomás lényegesen kisebb a hideghegesztéshez szükséges nyomásnál, ezért a munkadarabok alig deformálódnak. A statikus nyomás ideje néhány perctől néhányszor 10 percig tarthat. A diffúziós hegesztés semleges védőgáz alatt is elvégezhető, ilyenkor azonban sokkal nagyobb nyomásra van szükség.

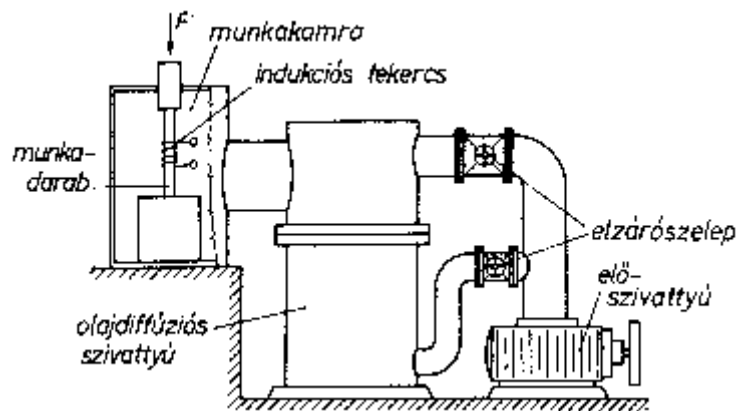
A hegesztett kötés minősége nagymértékben függ az összekötendő felületek tisztaságától. A felületeket hegesztés előtt acetonnal vagy alkohollal zsírtalanítják, különleges esetekben vegyi maratást alkalmaznak. A felületek mechanikai megmunkálása is nagyon fontos, lehetőleg csiszolni kell azokat. Minden esetben célszerű az esetleges oxidréteg eltávolítása, mivel a viszonylag kismértékű képlékeny alakváltozás hatására a felületi rétegek nem sajtolódnak ki a kötésből úgy, mint a hideghegesztéskor. Az oxidáció elkerülésére ezért az alumínium hegesztését ajánlatos a felületi tisztítást követően azonnal elvégezni.

Diffúziós hegesztéskor a kötés a két összekötendő munkadarab atomjainak a helycseréjével jön létre. Ha két különböző anyagú darabot kötünk össze, akkor két különböző diffúziós sebességgel kell számolnunk. Ennek dudorodás, beszívódás vagy pórusosság lesz a következménye. Pórusok és beszívódások mindig a gyorsabban diffundáló anyag oldalán keletkeznek.

A kifogástalan hegesztési kötéshez gyakran nagyon hosszú diffúziós időre van szükség. A hegesztési idő megrövidíthető olyan közbenső réteg behelyezésével, amelynek anyaga mindkét összekötendő anyagba gyorsabban diffundál, mint a két alapanyag. Ezt a közbenső réteget fémszórással, galvanikus úton, elektroplattírozással, por alakjában stb. viszik fel. Több egymásra helyezett réteg is alkalmazható.

Meghatározott kötésekhez olyan közbenső rétegeket is használnak, amelyek a diffúziós folyamat során folyékony fázist alkotnak. A diffúziós hegesztés abban különbözik a forrasztástól, hogy hegesztés közben a folyékony fázis teljesen eltűnik, továbbá kémiai összetétele a hegesztés után azonosul az alapanyaggal. A folyékony közbenső réteg a diffúziós folyamat gyorsítására és a hőmérséklet csökkentésére való.

A diffúziós hegesztéshez szükséges berendezés elrendezési vázlatát szemlélteti a 2.22. ábra. A vákuumberendezés egy szivattyúval és szivattyúszelepekkel felszerelt vákuumkamra, amelyben a munkadarab felmelegítésére alkalmas fűtőrendszert helyeznek el. A kívánt hőmérsékletet indukciós melegítéssel, elektronsugárral, esetleg wolfram-ból vagy molibdénből készült fűtőtesttel lehet biztosítani. A hegesztéshez szükséges nyomást legtöbbször hidraulikusan állítják elő.



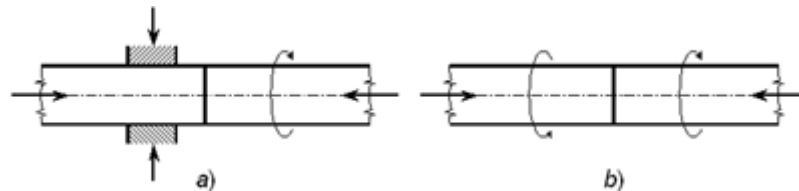
2.22. ábra

A diffúziós hegesztés alkalmas például acélnak alumíniummal, öntöttvassal, wolframmal, titánnal és fémkerámiával, ezüstnek rozsdamentes acéllal, platinának titánnal való egyesítésére. Az eljárás előnye, hogy olyan nagy, bonyolult keresztmetszetek is összehegeszthetők egymással, amelyeket semmiféle más hegesztési módszerrel nem lehet összekötni. Hátránya a drága berendezés.

### 2.2.8. Dörzshegesztés

Dörzshegesztésnek nevezzük azt a hegesztési módszert, amelynél a kötés létesítéséhez szükséges hőenergiát az egyesítésre kerülő felületeken súrlódással állítják elő.

A **kötőhegesztés** elvi vázlatát szemlélteti a 2.23. ábra. A hegesztés kezdeti szakaszában alkalmazott kis erővel szabályozzák a hőképződést. A kívánt hőmérséklet elérésekor a forgó- vagy alternáló mozgás megszüntetésével egyidejűleg a kötés létrehozásához szükséges nagy erőt fejtenek ki.

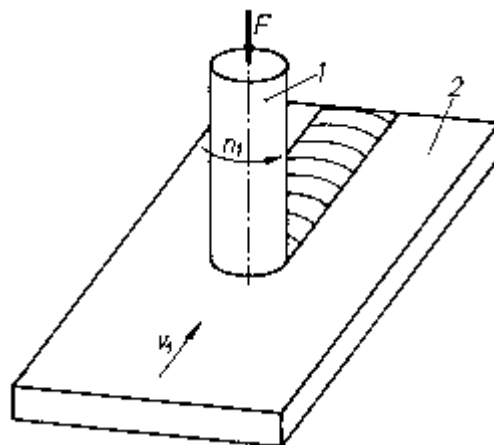


2.23. ábra

**Felrakóhegesztés**kor egy forgó pálcáról képlékeny réteget raknak fel a munkadarabra (2.24. ábra). Ez a módszer még kevésbé terjedt el az iparban.

A dörzshegesztett kötés jó minőségét az alábbi paraméterek helyes megválasztása biztosítja: a fordulatszám, az előmelegítési erő, a zömítőerő és a hegesztési idő.

Kis fordulatszám esetén az anyag erősen fékezi a motort, és hideghegedések keletkezhetnek. Nagy fordulatszámhoz nagy fékezési nyomaték tartozik, hosszú hegesztési időt és nagyteljesítményű csapágyakat igényel. Általában kedvező a 800-3000 1/min fordulatszám-tartomány.



2.24. ábra

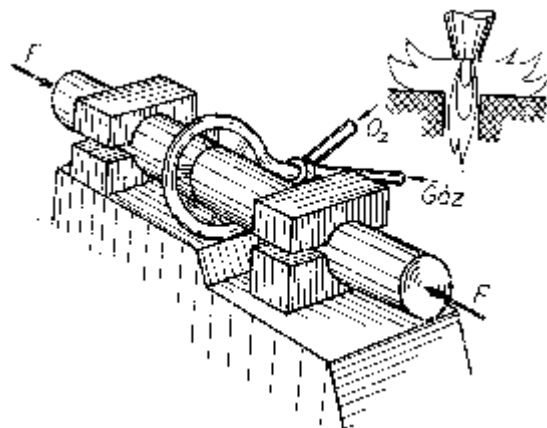
Az előmelegítő nyomás nagysága elsősorban a hegesztendő anyag képlékenységtől és méreteitől függ. Lágú és képlékeny anyagokhoz elegendő  $25 \text{ N/mm}^2$ , rideg ötvözetekhez és speciális acélokhoz viszont  $280 \text{ N/mm}^2$ . A hegesztési idő az előmelegítés és a zömítés időszükségletének az összege. Nagyobb keresztmetszeteket hosszabb ideig kell előmelegíteni, míg a zömítés ideje megközelítően állandó, vagyis nem függ a keresztmetszet nagyságától. A hegesztés ideje általában 3-120 s.

A dörzshegesztőgépek fél- vagy teljesen automatikus módszerrel dolgoznak. A dörzshegesztés elvileg esztergagépeken is elvégezhető, a gyakorlatban azonban kivihetetlen, mert a zömítésre alkalmas gépen zömítőerőre méretezett csapályákra, megfelelő fékezőszerkezetre és egyéb kiegészítő berendezésekre van szükség. Az esztergagép csapályái a dörzshegesztés indításakor fellépő erős rezgések következtében nagyon gyorsan kopnak, a továbbiakban esztergálásra alkalmatlanná válik az esztergagép.

A dörzshegesztés előnyei főleg fémkombinációk esetén jelentkeznek. A hegesztés folyamata rövid, a túlhevülés elkerülhető, a hőhatásövezet nagyon keskeny, az eljárás könnyen automatizálható, jelentős anyagmegtakarítás érhető el, csökken az energiaköltség. Elsősorban tengelyek, csapok, menetes csapok, rotorok, forgácsolószerszámok (fűrők, dörzsárak, marók), tányérszelepek stb. gyártására lehet gazdaságosan alkalmazni.

### 2.2.9. Sajtoló gázhegesztés

A sajtoló gázhegesztés olyan hegesztési módszer, amelyben az egyesítendő elemeket acetilén-oxigén gázkeverékkel egy adott hőmérsékletre (acélokat pl. 1200...1300 °C-ra hevítik, vagy a felületi réteget megolvassztják, majd ezt követően a darabokat összesajtolják (2.25. ábra).



2.25. ábra

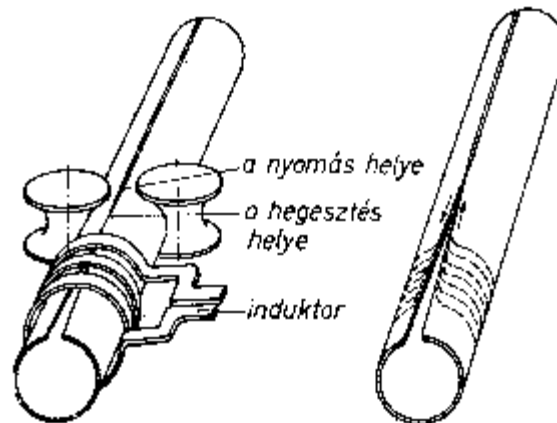
A zömítő hegesztés a munkadarabok befogásával és központosításával kezdődik. Ezt követően mérsékelt nagyságú erővel összeszorítják a darabokat, a sokégs fejet begyűjtják, a hegesztési hely közelében alternáló mozgást végeznek vele, amíg el nem érik a kívánt hőmérsékletet, majd tengelyirányú erővel ( $p = 15-25$  MPa) összesajtolják a darabokat. A leolvastó sajtoló gázhegesztés alkalmazásakor a befogott és központosított darabok homloklapját sokégs fejjel olvadáspontig hevítik, majd az égőfej kiemelése után a munkadarabokat összesajtolják. Eközben a folyékony fém a felületek közül kiszajtolódik, és létrejön a jó minőségű fémes kötés.

A sajtoló gázhegesztés előnye, hogy nagy villamos teljesítményt igénylő eljárásokat lehet vele helyettesíteni. Gázként földgáz is használható, az eljárás ideiglenes munkahelyen is alkalmazható. Az ellenálláshegesztéssel szembeni hátránya a kisebb termelékenység. A kötés minősége a hevítés egyenletességétől függ.

Ezt a hegesztési eljárást főleg acélból készült kör és négyszög keresztmetszetű tömör anyagok, valamint különböző átmérőjű és falvastagságú csövek hegesztésére használják.

### 2.2.10. Nagyfrekvenciás indukciós hegesztés

A nagyfrekvenciás indukciós hegesztés ellenálláshegesztési eljárás érintkezés nélküli energiaátvitellel.



2.26. ábra

Az indukciós hegesztést túlnyomóan csövek hosszvarratos tompahegesztésére alkalmazzák. A hegesztés folyamatának a vázlatos elvét a 2.26. ábra szemlélteti. Az ábra a mágneses mező által indukált örvényáramok pályáját is ábrázolja vázlatosan. A szalagéleken és az érintkezési helyeken nagy árampálya-koncentrációval lehet számolni. Az áramsűrűség ezeken a helyeken olyan nagy lesz, hogy a csőlemez élei megolvadnak. A kis behatolási mélység miatt ez a felhevített zóna nagyon kicsi, ezért az érintkezési pont mögött lévő összenyomási helyen csak minimális sorja keletkezik. A hőnek a lemezelektől a cső belsejébe irányuló áramlását nagy hegesztési sebességek alkalmazásával akadályozzák meg. A nagy hegesztési sebesség kedvezően gátolja a felhevített csőzónák oxidációját is.

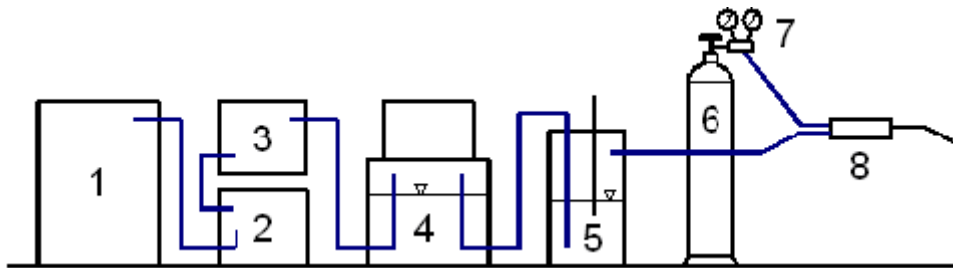
A nagyfrekvenciás indukciós hegesztőberendezés nagyfeszültségű transzformátorból, nagyfeszültségű egyenirányítóból, csőgenerátorból, induktorból, tartozékokból, hűtőrendszerből és gépi berendezésekből áll. A gépi berendezéseknek kell a csövet vezetni, a hegesztési nyomást kifejteni, és a hasított csőéleket az érintkezési pontig nyitva tartani. A rést általában réstartó görgővel vagy rögzített réstartóval tartják nyitva. Az ilyen hegesztő berendezések teljesítménye 30...1000 kW között váltakozik. A berendezések túlnyomó többségében a frekvencia 450 kHz.

A hosszvarrat-hegesztés mellett az indukciós hegesztést rövid csövek vagy profilok tompahegesztésére is alkalmazzák. Ilyenkor a két összekötendő darab végét indukciós tekercsben felhevítik, és ezt követően összenyomják.

## 2.3. Ömlesztő hegesztések

### 2.3.1. Lánghegesztés

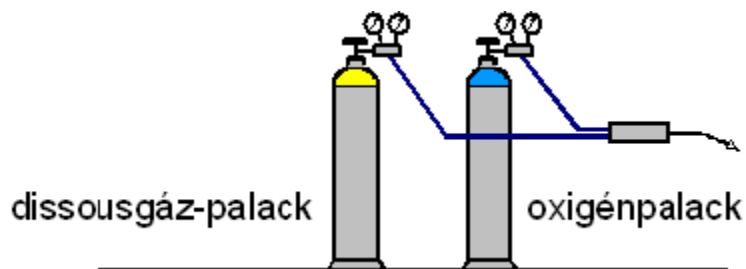
Minden ömlesztő hegesztési eljárásban koncentrált hőhatással kell dolgozni, hogy a hegesztendő felületek rövid idő alatt, vékony rétegben olvadjanak meg. Ilyen koncentrált hőhatást lehet elérni, ha valamilyen éghető gázt oxigénnel keverve égetnek el erre alkalmas berendezéssel. Az égő gáz lehet hidrogén, acetilén, propán bután, világítógáz stb. Az égető berendezés a hegesztőpisztoly. Éghető gázként általában acetilént alkalmaznak. A hegesztést végezhetjük fejlesztőből nyert, vagy palackban tárolt acetilénnel.



2.27. ábra

1 gázfejlesztő, 2 nedves tisztító, 3 száraz tisztító, 4 gázgyűjtő, 5 vízzár, 6 oxigénpalack, 7 reduktor, 8 hegesztőpisztoly.

A gázfejlesztőből kapott acetilénnel való hegesztés vázlatát szemlélteti a 2.27. ábra. Eszerint a gázfejlesztőből az acetilén a nedves tisztítóba jut, ahol a vízben átbuborékolva lehűl, és a vízben oldódó szennyezőktől megtisztul. Innen a gáz a száraz tisztítóba áramlik, ahol a vízben nem oldódó szennyezőktől is megtisztul, így a gázgyűjtőbe már tiszta gázként kerül. Innen a gáz a vízzáron át a gázégőbe (hegesztőpisztolyba) áramlik, ahol az oxigénnel keveredve elég. Az oxigént a palackból nyomáscsökkentő szelepen (reduktoron) át vezetik az égőbe.



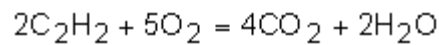
2.28. ábra

A palackozott gázzal végzett hegesztés vázlatát a 2.28. ábra szemlélteti. A palackozott acetilén gázt *dissous*-gáznak nevezik. Mind az éghető gázt, mind az oxigént nyomáscsökkentő szelepen át vezetik az égőbe.

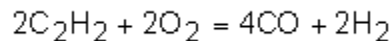
Az éghető gáz levegővel keverve is elégethető, ilyenkor azonban a láng hőmérséklete sokkal kisebb, mintha ugyanezt a gázt oxigénnel keverve égetjük el. Így például az acetilén-levegő keverék elégetésekor a láng hőmérséklete kb. 2200 °C, az acetilén-oxigén keverék lángjának

hőmérséklete pedig kb. 3200 °C. Ez a nagy különbség a levegőben lévő nitrogénnel magyarázható.

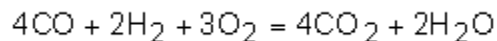
Az acetilén elégetésekor lejátszódó kémiai reakció egyenlete:



A tökéletes égéskor tehát 1 m<sup>3</sup> acetilénhez 2,5 m<sup>3</sup> oxigénre (vagy 12,5 m<sup>3</sup> levegőre) van szükség. Az égőben (a hegesztőpisztolyban) azonban az acetilén csak körülbelül egyenlő mennyiségű oxigénnel keveredik, ezért a folyamat elején tökéletlen égéssel számolhatunk:



A tökéletlen égés akkor válik tökéletessé, amikor a levegő oxigéntartalma is részt vesz az égésben:

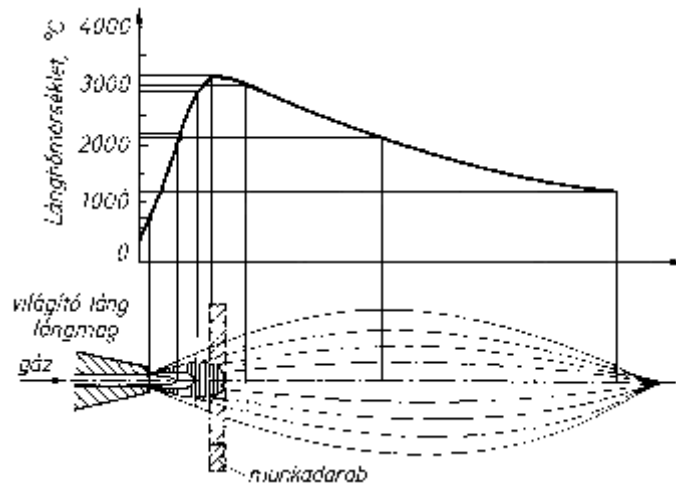


Ezek szerint tehát attól függően, hogy az éghető gázhoz mennyi oxigént vezetünk, az égés lehet tökéletes vagy tökéletlen. Tökéletlen égéskor a lángban még el nem égett gázokat találunk, amelyek a lángot körülvevő levegőből oxigént vonnak el. Az ilyen lángot redukáló lángnak nevezzük. Ha viszont a lángban a szükségesnél több az oxigén, akkor oxidáló lángról beszélünk. Az ilyen oxidáló láng csaknem minden anyag hegesztésekor káros, mert a hegesztés helyén az oxigénfelesleget átadja a heganyagnak. Ugyancsak káros vegyi hatást fejt ki a láng akkor is, ha felesleges éghető gáz van benne. Ha például a lángban acetilén felesleg van, akkor az acetilén szétbomlik karbonra és hidrogénre. A szabaddá váló karbon bediffundál a folyékony acélba, tehát az acetiléndús lángnak karbondúsító hatása van.

Semleges lángról akkor beszélünk, ha a heganyagra semmiféle vegyi hatást nem fejt ki. Ilyen lángot az égőgáz és az oxigén helyes keverési arányának beállításával lehet biztosítani. A semleges láng keverési aránya elméletileg 1:1, azaz 1 m<sup>3</sup> gázhoz 1 m<sup>3</sup> szükséges, mivel a tökéletes égéshez szükséges 2,5 m<sup>3</sup> oxigén a hiányzó 1,5 m<sup>3</sup>-t a környező levegőből veszi fel. Ez az oxigén mennyiség kb. 7,2 m<sup>3</sup> levegőnek felel meg, ezért a zárt helyen végzett hegesztéskor a megfelelő szellőzésről gondoskodni kell. A gyakorlatban az elméleti 1:1 arány helyett az acetilén-oxigén aránya 1:1,1.

Az acetilén és az oxigén helyes keverési arányára a hegesztés egész időtartama alatt ügyelni kell. A láng beállítását hegesztés közben állandóan figyelemmel kell kísérni, és szükség esetén újból be kell szabályozni.

A semleges lángot úgy lehet legbiztosabban beszabályozni, ha a lángot először acetiléndússá tesszük, majd az égő szelepeinek lassú állításával addig változtatjuk a keverési arányt, amíg a lángmag éles határvonalai elő nem tűnnek, és a pillangó el nem tűnik. A helyesen beszabályozott láng vázlatát szemlélteti a 2.29. ábra.



2.29. ábra

Semleges lánggal kell hegeszteni a következő anyagokat: acél, acélöntvény, rozsdá- és hőálló acél, temperöntvény, vörösréz, bronz, nikkell, horgany, ólom, alumínium és alumíniumötvözetek.

Acetiléndús lángot kell használni öntöttvas gázhegesztésekor és minden olyan esetben, amikor nagy karbontartalmú kemény, feltöltőhegesztésre alkalmas acélpálcával hegesztenek. Nagy karbontartalmú acélok hegesztésekor is indokolt acetiléndús láng alkalmazása, mert az oxigénfelesleg a hegesztés helyén nemkívánatos dekarbonizációt, azaz az acél karbontartalmának elégését okozhatja.

Oxigéndús lánggal egyedül a sárgaréz hegeszthető. Ilyenkor az ömledéken horganyoxid hártya képződik, amely a továbbiakban megakadályozza a könnyen párolgó horgany elgőzölését.

Mivel a semleges láng magjában még el nem égett acetilén és oxigén van jelen, ha a lángmagot belemártjuk az ömledékbe, ugyanazokkal a hátrányokkal találkozunk, mint amikor acetiléndús, illetve oxigéndús lánggal dolgozunk. Ezért az égőt mindig úgy kell tartani, hogy a lángmag szélé a hegesztett felülettől egy meghatározott távolságra legyen. Ez a távolság a láng nagyságától függően 2...5 mm.

A helyes keverési arány beállítás mellett nagyon fontos a láng erősségének helyes beállítása, ami nagyon sok tényezőtől függ. Függ elsősorban az alapanyag vastagságától, kémiai összetételétől, olvadáspontjától, hővezető képességétől stb. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy adott esetben a keverőszárat cserélni kell, mert egy bizonyos keverőszárral a lángerősséget csak szűk határok között lehet változtatni.

A láng erősségének a változtatásakor mindig figyelembe kell venni a keverék kiáramlási sebességét és a láng égési sebességét. Túlzottan nagy kiáramlási sebesség elfújja a lángot, ha viszont a kiáramlási sebesség sokkal kisebb, mint az égési sebesség, akkor a láng visszacsap, azaz az égés a keverőcső belseje felé indul meg. Megfelelően nagy kiáramlási sebességgel lehet biztosítani *kemény lángot*, kis sebesség mellett kapjuk a *lágú lángot*.

A hegesztés gazdaságossága megkívánja, hogy a lángerősséget addig a határig növeljük, amíg a kötés minősége még azt megengedi. Az erre vonatkozó hegesztési kísérletek alapján



megállapítható, hogy ugyanannál az anyagnál azonos hegesztési technológiával végzett kötéshez szükséges lángereőség egyenesen arányos a lemezzvastagsággal.

Ha ki akarjuk számítani adott varrathoz és anyagminőséghez szükséges acetilén mennyiségét, ismernünk kell az egységnyi lemezzvastagsághoz egységnyi idő alatt szükséges gáz mennyiségét. Ezt a gázmennyiséget *fajlagos lángereőségnek* nevezzük (liter/óra·mm).

Számos kísérlet és tapasztalat alapján az optimális fajlagos lángereőség értékei a következők:

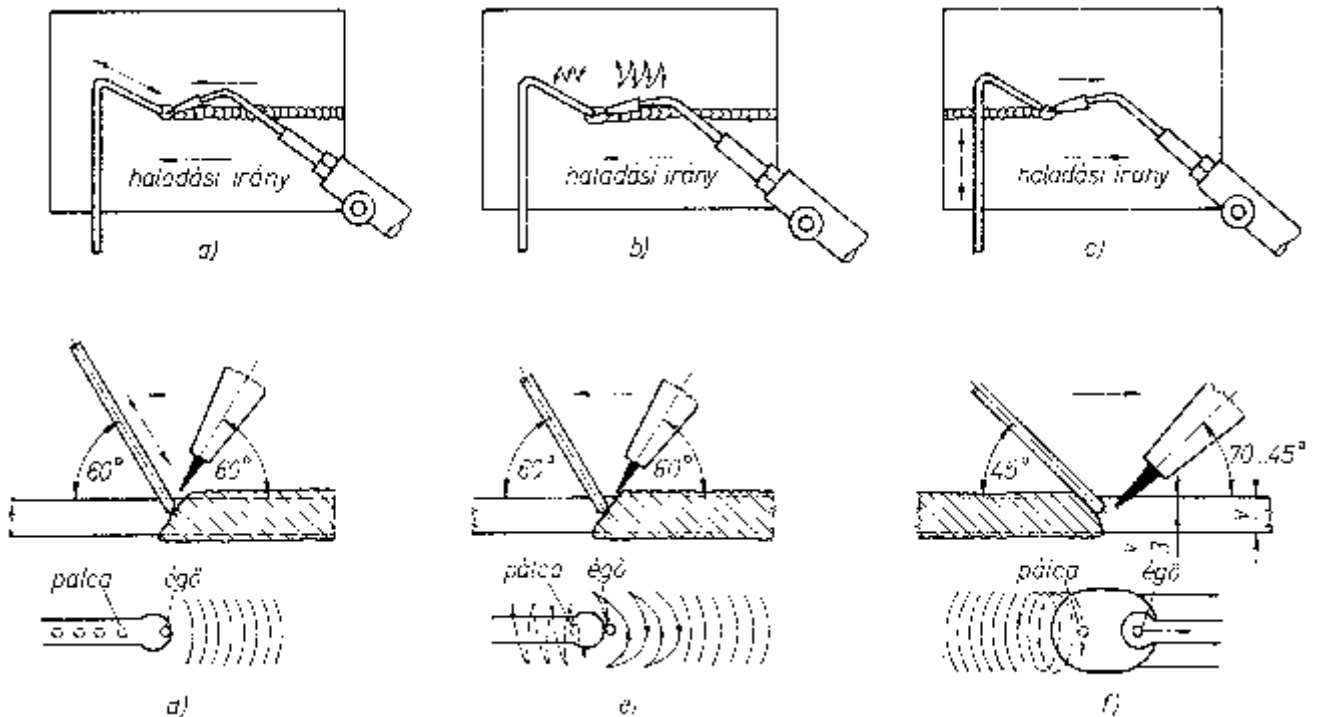
Acélhoz	100...130 l/h · mm
Öntöttvashoz	150 l/h · mm
Vörösrézhez	200 l/h · mm
Sárgarézhez, bronzhoz	100 l/h · mm
Alumíniumhoz	100 l/h · mm
Nikkelhez	120 l/h · mm

Az acélhoz megadott kisebb érték az úgynevezett *balrahegesztésre*, a nagyobb érték pedig a *jobbrahegesztésre* vonatkozik.

*Balrahegesztésnek* nevezzük azt a módszert, amikor a haladás irányát tekintve elől halad a hegesztőpálca, és ezt követi a hegesztőégő.

*Jobbrahegesztés*kor az égő halad elől, és ezt követi a hegesztőpálca. Jobbrahegesztéskor a pálca és az alapanyag egybeolvasztása ugyan jóval biztosabb és könnyebb, de a varrat felülete durvább, mint balrahegesztéskor, és az alapanyagból a varratba való átmenet meredekebb.

A kétféle - *mártogató* és *ívelő* - balrahegesztés és a jobbrahegesztés vázlatát a 2.30. ábra szemlélteti.



2.30. ábra

A balrahegesztés vagy a jobbrahegesztés megválasztásakor a gazdasági mutatókat mindig figyelembe kell venni. Az elvégzett széleskörű vizsgálatok mind egyértelműbbé teszik, hogy már vékony lemezek hegesztésekor is gazdaságosabb lehet a jobbrahegesztés. A 4 mm-nél vastagabb acéllemezek hegesztésekor viszont minden esetben gazdaságosabb. Öntöttvas, vörösréz, sárgaréz, alumínium, horgany, ólom stb. lánghegesztésekor ellenben a lemezvastagságtól függetlenül mindig balrahegesztést kell alkalmazni.

A gazdaságosság megítélésakor elsősorban a munkaidőszükségletet, a hegesztőhuzal fogyasztást és a gázfogyasztást kell figyelembe venni. Jobbrahegesztéskor a töltőanyagmegtakarítás a balrahegesztéshez viszonyítva kb. 25-40%. Ez annak az eredménye, hogy balrahegesztéskor a tökéletes kötés elérése érdekében a lemezszéleket  $45^\circ$ -os szögben kell leélezni, mert a lemez felett mozgó hegesztőégő lángja csak így éri el az alsó lemezszéleket is. Balrahegesztéskor mindig számolni kell a veszéllyel, hogy a hegesztő nem tudja szemmel követni a tökéletes átolvasztást, mert az égő lángja a legpontosabb lángbeszabályozás mellett is előre fújja a gyorsabban olvadó pálcaanyagot a még meg nem olvadt alapanyagra. Mivel balrahegesztéskor a varratban lévő esetleges kötéshibát nem lehet közvetlenül megállapítani, a biztonság fokozása érdekében célszerű a varratokat utánhegeszteni. Ez a művelet viszont igen nagy idő- és költségtöbbletet jelent.

Balrahegesztéskor a kötés biztonságát javítani lehet, ha a lemezeket nem vízszintes síkban, hanem a haladás irányában kb.  $25^\circ$ -os, de legfeljebb  $45^\circ$ -os szögben megemelve hegesztik. Ilyen helyzetben ugyanis az olvadó töltőanyag a lánggal szemben folyik, és így bizonyos mértékben csökkenti a láng fűvóhatását. A hegesztőégő és a hegesztőpálca ilyenkor is  $60$ - $70^\circ$ -os szöget zár be az alapanyaggal.

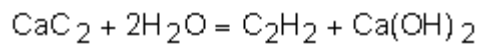
Jobbrahegesztéskor a láng halad elől, így a leolvadó pálcaanyagot nem előre, hanem hátrafelé, az ömledékre fújja. Ezzel megszűnik három olyan hibaforrás, amellyel a balrahegesztéskor

számolnunk kell. Az egyik hibaforrás a bizonytalan átolvasztás, a másik a leolvadó pálcaanyag és a még teljesen meg nem olvadt alapanyag közti rossz kötés lehetősége, és végül a balrahegesztés lángja mögött levő kész varrat túl gyors dermedése.

Jobbrahegesztéskor a lángot egyenes vonalban kell vezetni, és a varratmélység felső harmadában mozgó lángot úgy kell tartani, hogy tengelye az ömledék alsó tövére irányuljon. Ilyenkor a lángmag alatt az ömledék tövében egy körteszerű kibővülés keletkezik, amit alapnyílásnak nevezünk. Ez az alapnyílás jelzi a teljes átolvadást. A hegesztőnek tehát arra kell ügyelnie, hogy ez az alapnyílás mindig meglegyen, és a kibővülés valamivel nagyobb legyen, mint a lemezek között hagyott hézag. A helyesen hegesztett lemezen a varratdudor kb. 1...1,5 mm, az alsó dudor pedig 1...2 mm, tehát jobbrahegesztéskor a varrat vastagsága kb. 10...20%-kal nagyobb a lemez vastagságánál.

### ***Az acetilén előállítása***

Az acetilén kalciumkarbid és víz egymásra hatásából keletkezik:



A reakcióegyenlet alapján kiszámítható az elméletileg képződő acetilén mennyisége (64 kg karbidból 22 410 liter acetilén fejlődik, tehát 1 kg-ból 350 l). Az elméleti gázfejlesztéssel szemben a gyakorlatban csak 250-300 liter acetilént lehet 1 kg kalciumkarbidból előállítani, miközben 1,7 GJ hő fejlődik. Ezt a különbséget a karbid ingadozó minősége, a tökéletlen elgázosítás és a tömítetlenségi veszteségek okozzák.

A fejleszhető gáz mennyisége nagymértékben függ a karbid szemnagyságától. Nagyobb szemnagyságú karbid több gáz fejlesztésére alkalmas. A nagy szemcsék viszont lassabban reagálnak a vízzel, így a gázfejlesztés sebessége annál kisebb, minél nagyobbak a karbid szemcsék. Ezért az egyes gázfejlesztő típusokat meghatározott szemcse nagysághoz készítik, amelyeket csak ilyen szemcsemérettel szabad üzemeltetni. Általában a hegesztéshez használt gázfejlesztőben a 25...80 mm szemnagyságú kalciumkarbid használható fel.

Mivel az acetilénfejlesztés egyben hőfejlesztő folyamat is, ezért szállításkor és tároláskor gondosan ügyelni kell arra, hogy víz ne érhesse a karbidot, mert a túlmelegedés miatt tűzveszély is fennállhat.

Az acetiléngáz előállítására használt készülékeket a gáz nyomása szerint három csoportra oszthatjuk:

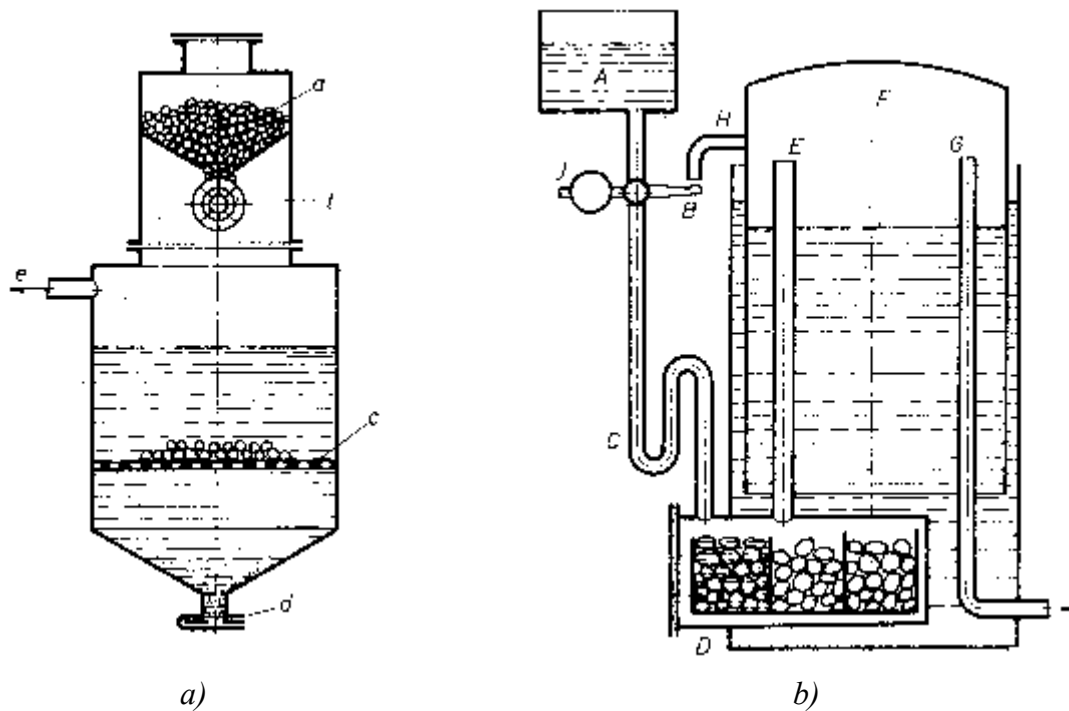
- kisnyomású (1...10 kPa),
- középnyomású (10...150 kPa),
- nagynyomású (150 kPa-tól).

Szerkezeti szempontból két alaptípusba soroljuk a berendezéseket:

- a karbidot adagolják a vízbe,
- a vizet adagolják a karbidhoz.

A karbidadagoló rendszerrel működő készülék elvi vázlatát a 2.31/a. ábra szemlélteti. A gázfejlesztő egy nagy tartály, amely bizonyos magasságig vízzel van megtöltve. A karbid adagolása az *l* jelű lapátkerékkel történik az *a* jelű tárolóból. A gáz elvezetése az *e* csövön át

történik. A *c* rostélyon melléktermékként keletkező kalciumhidroxid a rostélyon áthullik, a tartály alján összegyűlik, ahonnan a *d* csapolónyíláson keresztül időről időre eltávolítható.



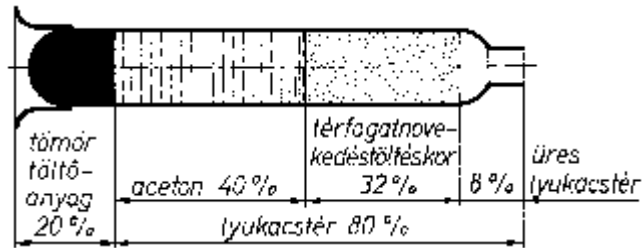
2.31. ábra

A vízadagolású gázfejlesztő vázlatát a *b) ábra* mutatja. A *D* tartályban elhelyezett karbidra a *C* csövön át lehet az *A* tartályból vizet eresztetni. A fejlődő gáz az *E* csövön jut a gázharangba, ahonnan a *G* csövön keresztül halad a tisztító berendezésbe. Ha fogyasztás nincs, és a gáz tovább fejlődik, akkor az *F* gázharang a fejlődött gáz térfogatának megfelelően emelkedni fog. A túlzott gázképződés megakadályozására a *H* kar a *J* ellensúly segítségével elzárja a *B* vízcsapot, tehát megszünteti a további gázképződést. A túl gyors gázképződés elkerülésére a *D* tartályt rekeszekkel több részre osztják, így a víz csak a karbid egy részével reagálhat.

### **Palackgázok**

A hegesztéshez szükséges oxigént többnyire palackozott formában használják fel. Ugyancsak palackozva használják az acetilént is *dissous*-gáz formájában.

Az acetilén közvetlenül nem palackozható, mivel 2 bar nyomáson felül robbanásszerűen elbomlik. Az acetilént néhány folyadék nagyon jól elnyeli, különösen az aceton alkalmas erre a célra. Az aceton 1 bar nyomáson és 15 °C-on literenként kb. 24 liter acetilént képes elnyelni. Gázoldó képessége a nyomással közel egyenes arányban növekszik. Az acetonban elnyelett acetilént rendszerint 15 bar nyomással sajtolják be a palackba, tehát 1 liter acetonban kerekén 360 liter acetilént lehet elnyeletni. Kb. 10 bar nyomásnál azonban az acetonban oldott acetilén is robbanásra hajlamos, ha diónagyságnál nagyobb üregben gyűlik össze. A *dissous*-gáz befogadására szolgáló palackok belsejét ezért valamilyen porózus masszával töltik ki, amely magába szívja a gázzal telített acetont. A porózus anyag általában kovaföld, azbeszt, cement és faszén keverékéből áll. Egy *dissous*-gázpalack vázlatos szerkezetét mutatja a 2.32. ábra.



2.32. ábra

A tartály belsejét az ábrától eltérően természetesen egyenletesen elosztva tölti ki a töltőanyag, a szemléletesség kedvéért azonban a töltőanyagot összetömörítve a tartály aljára rajzoltuk. Mivel a porózus töltőanyagoknak kerekén 80%-a likacs térfogat, a tömörnek tekinthető töltőanyag 20%. A töltőanyag likacsait sem lehet azonban teljesen acetonnal kitölteni, mert az aceton térfogata az acetilén felvételekor megnő. Mialatt egy liter aceton 15 bar nyomáson 360 liter acetilént elnyel, térfogata 80%-kal megnő. A palackban lévő aceton térfogatát ezért csak a tartálytérfogat 40%-ának vesszük. Ez a térfogat az acetilén elnyelésekor 80%-kal, vagyis a tartálytérfogat 32%-ával megnő. A szilárd töltőanyag (20%), az aceton (40%) és az acetilén elnyelésekor előálló térfogatnövekedés (32%) összege tehát a tartálytérfogat 92%-a. A fennmaradó 8%-os térre azért van szükség, hogy a hőmérséklet emelkedésekor a gáznyomás a még biztonságos érték alatt maradjon.

A *dissous*-gáz előnye a gázfejlesztőkkel szemben az, hogy kezelése sokkal kényelmesebb, a palackok könnyen szállíthatók. Hátránya viszont, hogy drágább. Egy *dissous*-gázpalackból, amelyben kb. 5700 liter acetilén tárolható, óránként 1000...1200 liter gázt lehet kivenni. Ennél nagyobb gázkivétel nem ajánlatos, mert a gyors gázfelszabadulás következtében az acetilén acetont is magával ragadhat. Nagyobb gázkivételkor célszerű több palackot egymással összekötni, arra azonban ügyeljünk, hogy az összekötő vezeték ne rézből készüljön, mert az acetilén a rézzel igen robbanékony rézacetilén vegyületet képez.

Üzem közben nem szabad a palackot a töltési hőmérsékletnél lényegesen nagyobb hőmérsékleten használni. Ha például a palackot nyári napfényen vagy kemence mellett tartjuk, hőmérséklete könnyen elérheti a 40 °C-ot. Ebben az esetben a frissen töltött oxigén palackgáz nyomása az eredeti 150 bar-ról mintegy 160 bar-ra emelkedik. A meg nem engedett mértékű nyomásemelkedés elkerülése érdekében a gázpalackokat szigorúan tilos a szokásos üzemi hőmérsékletnél lényegesen nagyobb hőmérsékleten tárolni vagy felhasználni.

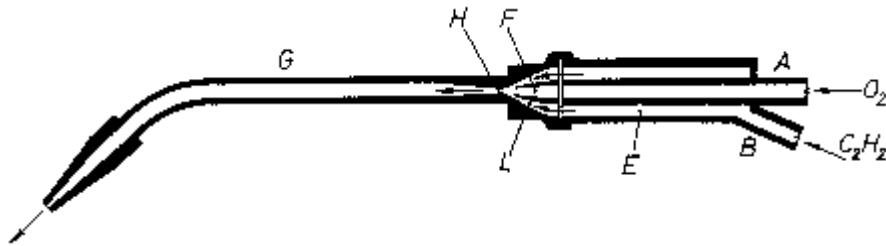
### **Hegesztőégők**

A tartályokból, illetve a gázfejlesztőkből vezetéseken áramló gázok a hegesztőégőbe, azaz hegesztőpisztolyba kerülnek. A hegesztőégőnek biztosítani kell a gázok jó keveredését, továbbá egy pontra irányuló koncentrált lángképet kell adnia.

A hegesztőpisztolyok elvileg két csoportba oszthatók aszerint, hogy az égőgáz kisnyomású vagy nagynyomású.

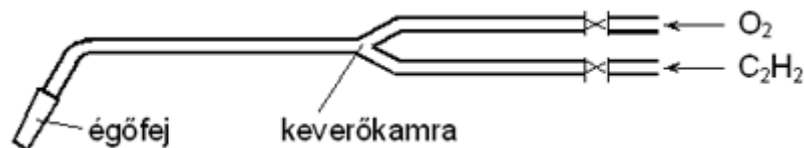
A *kisnyomású* hegesztőpisztolyba az égőgázt az oxigén szívóhatásával kell bejuttatni, mert a gáznyomás nem elég ahhoz, hogy a pisztolyba elegendő gáz jusson. Az égőfej nyílásánál a gázáramlás sebességének nagyobbak kell lennie az égési sebességnél, mert másként az égés visszafelé terjed a hegesztőpisztolyba. Ennek elkerülésére injektoros hegesztőpisztolyokat használnak (2.33. ábra). Az oxigén az *A* vezetékből az *F* jelű fúvókán keresztül áramlik a *G*

keverősárba és nagy sebességgel az  $L$  térbe, és a  $G$  térben keveredik az oxigénnel. A gázmennyiség változtatását az égőfejek cseréjével lehet biztosítani.



2.33. ábra

A *nagynyomású*, injektor nélküli égőkben az oxigén és az éghető gáz fokozott nyomás mellett a keverőkamrába jut. A beömlő gázok mennyiségét adagoló csapokkal lehet szabályozni. Az injektor nélküli égők tartósabb keverék-összetételt biztosítanak, mint az injektorosok, működésükhöz azonban 1...1,5 bar nyomású égőgáz szükséges, amit nyomáscsökkentővel lehet biztosítani. Ez a körülmény néha korlátozza az ilyen égők használatát, mivel nem mindig áll rendelkezésre nagynyomású acetilén. Az injektor nélküli égő vázlatát a 2.34. ábra mutatja.



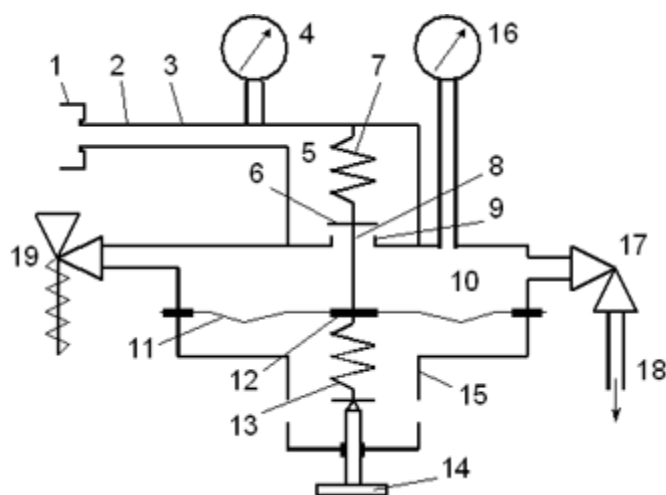
2.34. ábra

### ***Nyomáscsökkentő (reduktor)***

A nyomáscsökkentő feladata hármas: először a palackban uralkodó nagy nyomást lecsökkenti a hegesztéshez szükséges nyomásra (az oxigén üzemi nyomása hegesztéskor 1...2,5 bar túlnyomás, lángvágáskor 1,5...10 bar túlnyomás, a *dissous*-gázé 0,1...0,5 bar túlnyomás), ezután a csökkentett nyomást állandó értéken tartja, végül a *dissous*-gázpalackot megvédi az esetleges lángvisszavágástól, illetve a megengedettnél nagyobb nyomásvisszahatástól.

Az oxigénreduktor jobbmenetes hollandi-anyával, a *dissous*-reduktor kengyellel csatlakozik a palack szelepéhez. A nyomáscsökkentés elve: a nagynyomású gázt egy szabályozható nyíláson engedik át, a gáz nagyobb térfogatú helyre érve kiterjed, és ennek megfelelően nyomása lecsökken.

A nyomáscsökkentők egy- vagy kétfokozatúak. Nálunk az egyfokozatúak terjedtek el, amelynek elvi vázlatát a 2.35. ábra szemlélteti.



2.35. ábra

1 beömlő nyílás, 2 szűrő, 3 beeresztő cső, 4 nagynyomású manométer, 5 nagynyomású tér, 6 szeleptányér, 7 rugó, 8 szelepemelő, 9 szelepülés, 10 kisnyomású tér, 11 membrán, 12 membrántányér, 13 szabályozó rugó, 14 szabályozó csavar, 15 ház, 16 kisnyomású manométer, 17 kieresztő szelep, 18 gázvezeték a hegesztőpisztolyhoz, 19 biztosító szelep.

A kieresztő szelep megnyitásakor a gáz a fogyasztó felé áramlik. A membrán feletti kisnyomású térben a gáz nyomása csökken, ennek következtében a membrán megemeli a szeleptányért, így megkezdődik a gáz beáramlása a kisnyomású térbe. Ha a gázéltétel növekszik, a membrán feletti térben csökken a nyomás, a szabályozó rugó a membránt megemeli, a szelepemelő a szelepet jobban nyitja. A gázéltétel csökkenésével a membrán feletti tér nyomása növekszik, a membrán a szabályozó rugót összenyomja, a szelep nyílása kisebb lesz. A membránra ható rugóerő és a gáznyomás egyensúlya tehát szabályozza és közel állandó értéken tartja a kimenő gáz nyomását.

A kimenő nyomás értéke csak bizonyos határok között tekinthető állandónak. Ha a palackban csökken a gáz mennyisége és nyomása, akkor a kimenő gáz nyomása növekszik. Ha ugyanis csökken a nagynyomású térben a gáz nyomása, akkor a szabályozó rugó jobban nyitja a szelepet, tehát több gáz áramlik a kisnyomású térbe, így abban növekszik a kimenő gáz nyomása. Ezt a hátrányt kétfokozatú nyomáscsökkentővel ki lehet küszöbölni. A kétfokozatú nyomáscsökkentő elvileg két egymásután kapcsolt egyfokozatú reduktornak tekinthető.

### **Hegesztőpálcák**

Az illesztési hézag kitöltéséhez, vastagításához és a lemezek összekötésekor bekövetkező anyagvesztés kiegyenlítéséhez, valamint a feltöltőhegesztéshez rúd vagy pálcá alakú töltőanyagra, az úgynevezett hegesztőpálcára van szükség.

Jó és megbízható hegyvarratot csak az alapanyag összetételének megfelelően kiválasztott hegesztőpálcával lehet biztosítani. A legmegfelelőbb hegesztőpálcá kiválasztásának főbb szempontjai: az alapanyag összetétele, az alkalmazott égőgáz, a lángbeállítás, az égő- és pálcavezetés, a varratok utólagos kezelése stb.

A hegesztőpálcák legtöbbször körkeresztmetszetűek, de kivételesen használnak négy- és háromszög keresztmetszetű pálcákat is. A pálcákat kovácsolással, hengerléssel, húzással,

vagy (a képlékenyen nem alakítható anyagok esetén) öntéssel állítják elő. A pálcák hossza általában 400...1000 mm, átmérőjük 1...10 mm között változik. Néha karikába csévélve szállítják a hegesztőhuzalokat. Természetesen ilyenkor a hegesztőnek kell a tekercset a kívánt hosszra feldarabolni.

A hegesztőpálcával szemben támasztott követelmények közé tartozik, hogy hegesztés közben nyugodtan olvadjon, gáznemű terméket ne fejlesszen, mert ez a fürdő mozgását eredményezheti, ami zárványok képződéséhez vezethet.

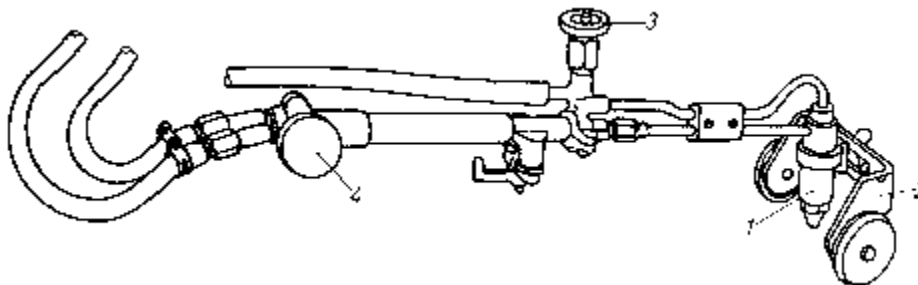
A gázhegesztéshez leggyakrabban használt pálcák összetételét az alábbi táblázat tartalmazza.

Megnevezés	Összetétel %-ban				
	C	Mn	Si	S	P
<b>A37</b>	legf. 0,10	0,35-0,60	legf. 0,03	legf. 0,034	legf. 0,03
<b>A42</b>	0,10-0,15	0,35-0,75	legf. 0,03	legf. 0,034	legf. 0,03

A szabvány a pálcák szakítószilárdságát is előírja. Ez az érték A37-es anyag esetén  $R_m = 340...400 \text{ N/mm}^2$ , az A42-es anyagra  $R_m = 400 \dots 450 \text{ N/mm}^2$ . Bizonyos esetekben, főleg ötvözött acélok hegesztéséhez, a fentiekben ismertetett anyagoktól eltérő huzalokat is használnak.

### 2.3.2. Lángvágás, lánggyalulás

Egyes acélfajták a lángvágással csaknem tetszőleges alakra darabolhatók. A lángvágás elvi alapja a következő: a vas a fehérizzás hőmérsékletén oxigénsugárban igen gyorsan oxidálódik, közben jelentős hőmennyiség szabadul fel. A vasoxidok ( $\text{FeO}$  és  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) olvadáspontja a tiszta vas olvadáspontjánál kisebb. A lángvágáskor jelentkező salak tehát gyorsabban olvad meg, mint maga a tiszta vas. Lángvágáskor a vágandó vonal kezdőpontját elő kell melegíteni. Ezután az előmelegített helyre irányított oxigénsugárral a vasat elsalakosítják. A képződött híg folyós salakot az oxigénsugár nyomása a hézagból kiszorítja.



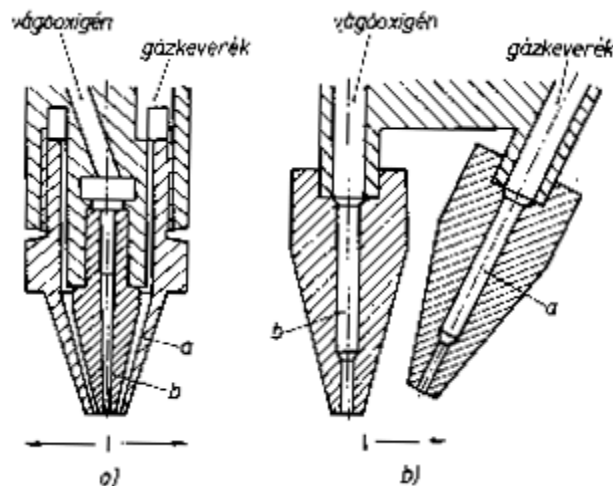
2.36. ábra

A vágóégő legegyszerűbb szerkezeti megoldását mutatja a 2.36. ábra. Az 1 jelű vágófejet a 2 jelű kerekeken gördülő kocsira szerelik. A vágóoxigén a 3 csapon keresztül jut a vágóégőhöz.



A 4 csap az előmelegítő láng szabályozására szolgál. Az előmelegítő láng valamilyen éghető gáz és oxigén keveréke (pl. acetilén + oxigén).

A vágóégő fűvókái különféle rendszerűek lehetnek. A 2.37/a. ábra olyan égőt mutat, amelynél az előmelegítő lángot adó fűvóka központosan körülveszi a vágóoxigén fűvókáját. Nagy előnye az ilyen rendszerű égőknek, hogy a vágóoxigén mindig előmelegített részre jut, mivel az előmelegítő láng körülveszi az oxigénsugarat. A központos égővel minden irányban lehet vágni. Az osztott fűvókájú vágóégőkkel (2.37/b. ábra), csak az ábrán nyíllal jelzett irányban lehet vágni, mert az előmelegített helynek mindig a vágóoxigénsugár előtt kell lennie.



2.37. ábra

A vágás munkamenete a következő: az előmelegítő lánggal a fehérizzás hőmérsékletéig melegítjük a munkadarabot azon a helyen, ahol a vágást meg akarjuk kezdeni, majd a vágóoxigén szelepét kinyitjuk. Az oxigénsugár az előmelegített anyagot elégeti, a keletkező kis olvadáspontú salakot az oxigén nyomása távolítja el. Az oxigén áramlási sebessége nagyobb a hang sebességénél. A vas oxidációjakor igen nagy hőmennyiség szabadul fel, amely a vágandó anyag hővezető képességétől függően előmelegíti a vágási helyet. A vas anyagok vágásakor tehát, ahol az oxidáció folyamata exoterm, a fejlődő melegmennyiség egy részének hatása összeadódik az előmelegítő láng hatásával. Más fémeknél, ahol az oxidáció nem annyira exoterm hatású, mint a vasnál, az előmelegítő lángot nagyobbra kell venni, mert az alapanyag elégéséből származó melegmennyiségnek nincs különösebb jelentősége.

A vágás megkezdése után az égő egyenletes sebességgel mozgatható a vágás irányában. A vágást elvégezhetjük szabadkézzel, vagy vonalzó melletti vezetéssel. A vágóégő a függőleges síkhoz képest elforgatható, így ferde felület is vágható.

Lángvágással nemcsak egyenes vonalú vágás végezhető el, hanem tetszőleges alakú darabok is kivághatók. Kivágáskor arra mindig ügyelni kell, hogy a vágás kezdőpontja a kiinduló anyag szélére essék. Olyan munkadarabokon, amelyeken belső anyagrészeket kell eltávolítani, a kivágandó rész valamelyik pontján furatot kell készíteni, s a vágást ebből a furatból kiindulva kell elvégezni.

Mindezek a vágási feladatok megoldhatók egyrészt előrajzolás után szabadkézi vezetéssel, másrészt vágógépekkel. A legtöbb vágógép egy olyan asztalra szerelt szerkezet, amely

lehetővé teszi a vágóéő keresztirányú és hosszirányú mozgatását. A vágandó mintát vagy előrajzolják, és a gép mutatóját a rajznak megfelelően vezetik, vagy a munkadarabnak megfelelő fémmintát készítenek, amit a készülék tapogatója körbejár, és vezérli a kocsí útját.

A lángvágáshoz égőgázként acetilént, hidrogént vagy világítógázt használnak. Történtek már kísérletek a földgáz alkalmazására is, de az említett gázok közül változatlanul az acetilén a legelterjedtebb. Az egyes gázok között az a különbség, hogy az előmelegítés egyiknél lassúbb, a másiknál gyorsabb. Ennek különösebb jelentősége a vas vágásánál nincs, mivel az előmelegítéshez szükséges melegmennyiség legnagyobb részét az oxidációból keletkező melegmennyiség biztosítja.

Az előmelegítő gáznál fontosabb a vágóoxigén nyomása és tisztasága. Minél nagyobb a vágandó lemez vastagsága, annál nagyobb legyen az oxigén nyomása és a fúvóka furata. Az oxigén nyomását azonban csak a gyakorlati tapasztalati adatok alapján megállapított optimális értékig célszerű növelni. Előnyösen befolyásolja a vágási teljesítményt az oxigén tisztasága. Tapasztalati adatok szerint 97,5%-os oxigénnel a vágási idő 30%-kal, az oxigénfogyasztás pedig 70%-kal nagyobb, mint 99,5%-os oxigén használatakor. Természetesen a nagyobb tisztaságú oxigén előállítása költségesebb, a költségtöbblet azonban megtérül.

A lángvágás legelőnyösebben a kis karbontartalmú acélokhoz használható. Gazdasági előnyt jelent, ha a vágandó anyagot előmelegítik. Ha például a hengerművekben 700...900 °C hőmérsékletű hengerelt terméket vágunk, a vágási sebesség kb. háromszor akkora lehet, mint a hideg anyagok vágásakor. Az oxigén előmelegítésének nincs különösebb hatása.

A lángvágás elvét felületi megmunkálásra is használják. Ezt a célt szolgálja az oxigéngyalu, amely lényegében egy megnagyobbított vágóberendezés azzal a különbséggel, hogy az oxigéngyalun a hangsebességnél kisebb az oxigén kiáramlási sebessége. Az oxigéngyalu működési elvét szemlélteti a 2.64. ábra. A gyalulás kezdetén az égőt kb. 45°-os szögben tartják a horony vagy vajat kezdőpontján. Az anyag kellő előmelegítése után nyitják az oxigéncsapot. Az oxigénsugár hatására ugyanaz a folyamat játszódik le, mint vágáskor, csak az oxigénsugár a keletkező salakot nem fújja ki a vájatból, hanem maga előtt tolja. A salak a gyalulásra kerülő anyagot előmelegíti, tehát az előmelegítő láng és az oxigénsugár már előmelegített helyre érkezik.

A lánggyalulás ilyen formájában nagyon jó eredménnyel használható öntött acéltuskók, hengerelt bugák és szabadon alakított kovácsdarabok felületi hibáinak eltávolítására.

---

[A jegyzet elejére](#)

[Az oldal elejére](#)

[A következő oldalra](#)

---

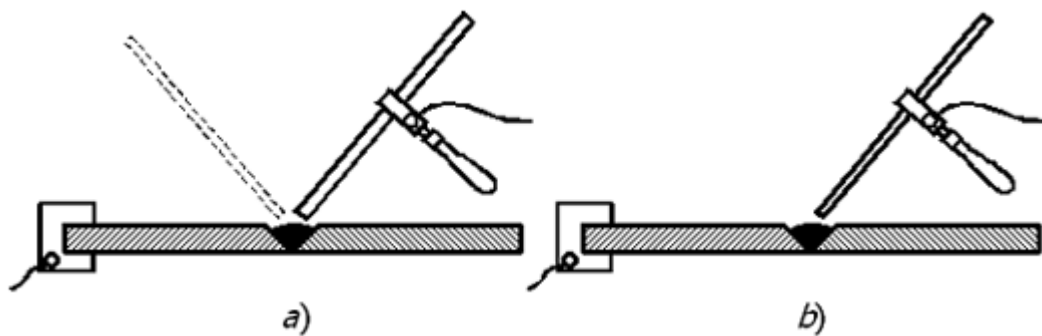
*Dr. Szabó László: Forgácsolás, hegesztés  
Miskolc, 2000 © Szabó László*

---

### **2.3.3. Villamos ívhegesztés**

Az elektromos áram hőhatása kétféleképpen alkalmazható hegesztési célokra. A *Joule*-hővel végzett ellenálláshegesztés mellett még az ívhegesztést használjuk, amely az ívfény hőhatását hasznosítja.

A legrégebbi ívhegesztést 1885-ben *Benardos* fedezte fel. Ennél az eljárásnál az áramforrás egyik sarkát a hegesztendő tárgyhoz, a másikat egy szénpálcához kötik. A szénpálcát a munkadarabhoz érintve villamos ív keletkezik, amely az alapanyagot az ív keletkezési helyén megömlesztí. A két összehegesztendő darab közötti hézagot egy ugyancsak az ív segítségével megömlesztett fém-pálcával kell feltölteni (2.38/a. ábra). A *Benardos*-eljáráshoz egyenáramot szokás használni. Az áramforrás pozitív sarkát a munkadarabhoz, a negatív sarkát pedig a szénpálcához kell kötni. Ezt az eljárást ma már csak különleges esetekben használják, a gyakorlatban a *Slavianoff*-féle eljárás terjedt el.



2.38. ábra

A *Slavianoff*-eljáráshoz elektródként fém-pálcát használnak, míg a másik sarkot a hegesztendő tárgyhoz. A fém-pálcát és a munkadarab összeérintésével lehet az ívet húzni, amelynek hőhatása mind a munkadarab szélét, mind a hegesztőpálcát megolvasztja. A pálcát lecsepegtető ömlédeke szolgál a varrat feltöltésére (2.38/b. ábra). Ez az eljárás lényegesen kényelmesebb, mint a *Benardos*-eljárás, mert a hegesztőnek csak egyik kezével kell dolgoznia.

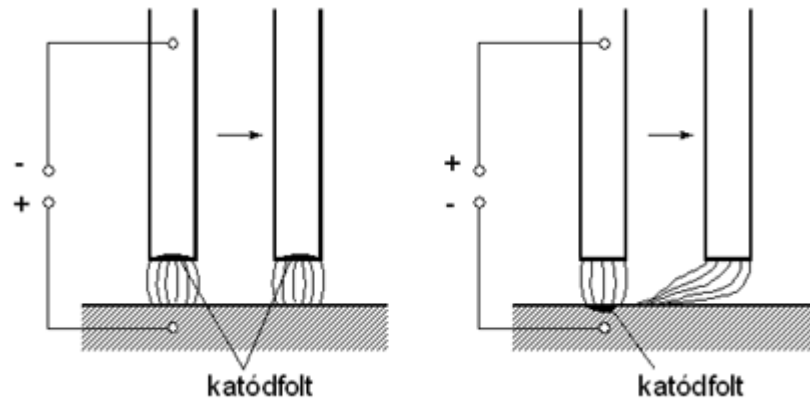
A *Slavianoff*-eljáráshoz mind egyenáramot, mind váltakozó áramot lehet használni. Mindkét áramnemnél az ív gyújtása rövidzárlattal történik. Az érintkezési felületek, mint a legnagyobb ellenállási helyek, erősen felmelegednek, a levegő pedig ionizálódik, a semleges atomok negatív töltésű elektronokra és pozitív töltésű ionokra esnek szét. A felizzott hegesztőpálcán szintén elektronokat bocsát ki. A negatív elektronok az elektromos erőter hatására felgyorsulva igen nagy sebességgel haladnak a pozitív sark felé. Ezzel az elektronok útjukban semleges atomokkal ütköznek össze, és lökési ionizáció útján újabb elektronokat, illetve ionokat hoznak létre. A lényegesen kisebb sebességű, de anyagi tömeggel rendelkező ionok a negatív sark felé haladnak.

Az ív természetéből tehát az következik, hogy egyenáramú hegesztéskor a pozitív sark hőmérséklete nagyobb lesz (kb. 4000 °C), mivel a nagy sebességgel érkező elektronok kinetikai energiája hővé alakul át. A negatív sark hőmérséklete valamivel kisebb, kb. 3500 °C.

Az ívben bizonyos fokú anyagvándorlás is folyik, mivel a negatív pólusra ütköző ionok anyagi tömeget is képviselnek. Ennek alapján egyenáramú hegesztéskor a munkadarabot a pozitív pólusra, az elektródot pedig a negatív pólusra szokás kapcsolni. Így a nagyobb területen megömlesztendő tárgy hőmérséklete lesz a nagyobb.

A katódon az ív keletkezési helyén egy folt keletkezik, amit *katódfolt*nak nevezünk. A katódfolt annak a következménye, hogy az elektronok kilépése leginkább a legmelegebb ponton jön létre. Ha a negatív sarkot az elektródra kötjük, akkor a katódfolt mindig helyben

marad, csupán az ív pozitív pólusának kell haladnia a hegesztés előrehaladásával együtt. Megfordítva viszont, ha a negatív sarkot kötjük a tárgyhoz, akkor a hegesztés előrehaladásával a katódfoznak is el kell mozdulnia. Tekintettel arra, hogy ilyenkor az ívnek a melegebb helyről a hidegebb hely felé kell haladnia, a katódfozt pedig a melegebb helyen akar maradni, ilyen kapcsolás mellett az ív könnyen megszakadhat (2.39. ábra).



2.39. ábra

Váltakozó áramú hegesztéskor az ív sarkai az áram frekvenciájának megfelelően változnak. A váltakozó áramú ív tehát másodpercenként a periódusszámnak megfelelően elalszik, és ismét kigyullad. Az ív hőmérséklete mindkét sarkon egyenlő, kb. 3500 °C. A váltakozó áramú ív tehát kevésbé állandó, mint az egyenáramú ív, gerjesztése viszont egyszerűbb berendezésekkel történik, ezért a gyakorlatban szívesen alkalmazzák.

### ***Hegesztés csupasz elektróddal***

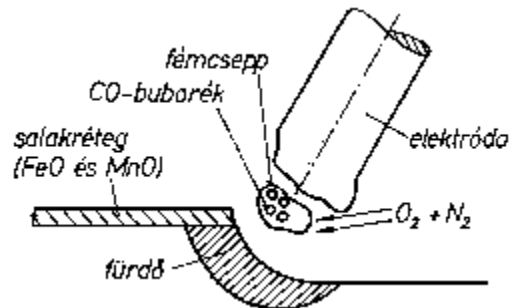
Váltakozó áramú hegesztéskor az egyszerű, csupasz hegesztópálca, amelynek összetétele közelítőleg megegyezik a munkadarab összetételével, nagyon kevés iont termel a villamos ívben. Ezért egyszerű, csupasz pálcával csak egyenáramról lehet hegeszteni, tekintettel arra, hogy váltakozó áramú ívben a feszültség - 50 periódusú áram esetén - másodpercenként százszor halad át a nullponton, így az ív újragyulladásához az a csekély ionizáció, amely csupasz pálcával létrejön, nem elegendő.

Hegesztés közben az elektród vége az ívben megolvad, cseppek képződnek, amelyek leválnak az elektródról, és áthaladnak az íven. Ezek a kis tömegű fémrészecskék az ív hőmérsékletétől függően erősen felmelegsznek. Ezen a nagy hőmérsékleten - kb. 3000...4000 °C-on - a vas és kísérő elemei egyrészt elgőzölöghetnek, másrészt az ív atmoszférájának megfelelően kölcsönhatásba is léphetnek az ívben található oxigénnel, nitrogénnel stb.

A vas 3200 °C felett forr, ezért az ívben történő vándorlásakor csak kismértékben párolog. A kísérő elemek közül azonban különösen a mangán elpárolgása számottevő, mivel már 1900 °C-on forr, tehát 3000 °C felett könnyen gőzzé válik. Ezzel magyarázható az a jelenség, hogy ívhegesztéskor mindig erősen csökken az acél mangántartalma. A króm forráspontja 2200 °C, ezért a krómmal ötvözött acél krómtartalma is jelentősen csökken.

Az ív atmoszférája csak kevéssel tér el a környezet atmoszférájától, tehát nagy hőmérsékletű oxigént és nitrogént tartalmaz. Ezért a vas oxidálódik, és ezen a hőmérsékleten a nitrogén is reakcióképesé válik, tehát vegyül a vassal. Az oxidáció hatására erősen csökken az acél karbontartalma, és tovább csökken a mangántartalom is, mangánoxid keletkezik. A képződött

mangánoxid mellett - amely szilárd, salakszerű anyagként található a csupasz elektróddal hegesztett varraton - a salakban megtaláljuk a vasoxidot is. A varraton található salaktakarón kívül a csupasz elektróddal hegesztett varrat is mindig tartalmaz gáz- és salakzárványokat. Ezért az ilyen varrat nagyon rideg, törete durva szemcsés. A csupasz elektród leolvadásának vázlatát a 2.40. ábra szemlélteti.



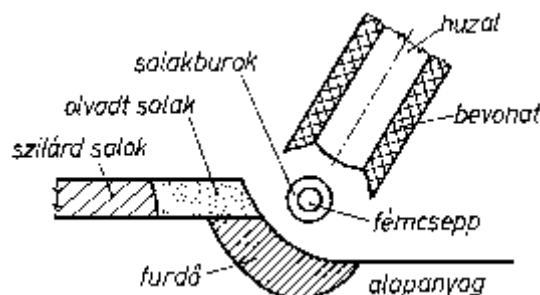
2.40. ábra

### ***Hegesztés bevont elektróddal***

Láttuk, hogy a csupasz pálcával végzett váltakozó áramú hegesztéskor nagyon csekély az ionizáció az ív újragyulladásához. Ezért már a század elején az ív stabilitásához bevont pálcákat alkalmaztak. A bevonthoz olyan anyagot használtak, amely sokkal jobban ionizálódott, mint az alapanyag. Ezek a bevont pálcák tették lehetővé az ívhegesztés gyors fejlődését.

A bevont anyagát ezen túlmenően az oxidáció megakadályozásának figyelembevételével célszerű meghatározni. Ezért a bevontok anyaga különböző oxidok, szilikátok és egyéb vegyületek elegye, amelyek az ív hőmérsékletén megolvadva az alapanyaggal együtt lecsepegnek a varratra. A bevont sűrűsége lényegesen kisebb, mint a hegesztőpálcáé, ezért a megömlött bevont folyékony salakként a megolvadt varrat felületén úszik, és véd az oxidációtól. Közben a hegyanyag és a salak között különböző reakciók folynak le, amelyek az acélgyártáshoz hasonlóan felhasználhatók a varrat minőségének befolyásolására is. Ezenkívül a salaktakaró lassítja a varrat lehülését, tehát hatással van a szövetszerkezeti változásokra is. A bevont hegesztőpálca leolvadásának vázlatát a 2.41. ábra szemlélteti.

A bevontok összetétele a fenti céloknak megfelelően igen sokféle lehet. Minden bevontra jellemző azonban az, hogy rideg anyagokból készül, így a bevont hegesztőpálca csak egyenes rúd lehet (kivéve a porbeles huzalokat).



2.41. ábra

A felhasználási terület szerint megkülönböztetünk kötőelektródokat és felrakóelektródokat. Az elektród kivitele szerint lehet csupasz vagy bevont elektród. A csupasz elektród egyszerű acélhuzal darab. Ma már alig használatosak. A bevont elektródok készülhetnek mártott vagy sajtolt kivitelben. A sajtolt elektródok a jobb minőségűek. Ezek gyártásakor a bevonatot képlékeny masszaként formahüvelyen keresztül sajtolják a huzalra, ezért az így gyártott pálcákon a bevonat sokkal simább és egyenletesebb, mint a mártott pálcákon.

A bevonat vastagsága szerint megkülönböztetünk vékony, középvastag és vastag bevonatú elektródokat. A gyakorlatban a vastag bevonatú pálcák váltak be a legjobban, mert ezek biztosítják a legjobb minőségű heganyagot. Az ilyen pálcákon a bevonat vastagsága nagyobb a huzal átmérőjének 40%-ánál (pl. a 4 mm-es alaphuzal átmérője a bevonattal együtt 5,6 mm-nél nagyobb).

A bevonatok főbb típusai: vasoxidos, vasmangánnoxidos, rutilos, cellulóz típusú és bázikus bevonat.

#### Vasoxidos bevonatok

Ezek a bevonatok főleg vasoxidot, vasércet és savas salakképző anyagokat (kovasav, szilikátok) tartalmaznak. Hegesztés közben a bevonatból oxigén szabadul fel, ami elősegíti a vas kísérőelemeinek (főleg karbon és mangán) a kiégését. Sok hígfolyós salak képződik, a heganyag is hígfolyós, a varrat külalakja szép, de szilárdsága más bevonatokhoz viszonyítva gyenge.

#### Vas-mangánnoxidos bevonatok

Az ilyen típusú bevonat vasércet helyett mangánérceket, sok fémes alkotót és dezoxidáló ötvözetet tartalmaz. A dezoxidáló ötvözet megköti a felszabaduló oxigént, és megakadályozza a kísérő elemek kiégését. A varrat kevésbé szép, de nagyon jók a szilárdsági tulajdonságai.

#### Rutilos bevonatok

Az ilyen bevonatok onnan kapták nevüket, hogy nagy mennyiségű rutilt,  $TiO_2$ -alapú ásványt tartalmaznak. Tetszetős varratot biztosítanak, a beolvadás csekély. Az ív rugalmas és stabil.

#### Cellulóz típusú bevonatok

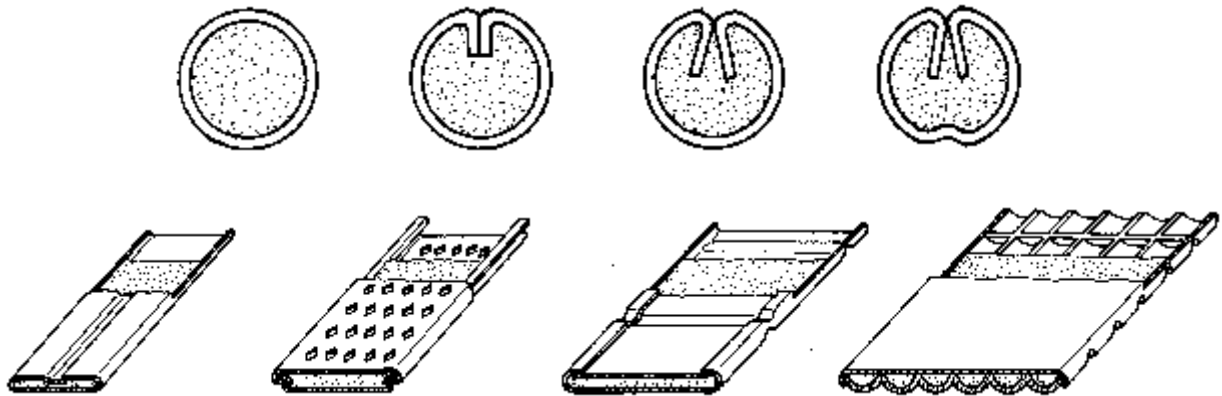
Ezek a bevonatok sok éghető anyagot tartalmaznak (faliszt, keményítő, cellulóz stb.). Ezért sok gáz keletkezik, tehát a heganyag hatékony védelemben részesül. A gázok növelik az ívfeszültséget, tehát mélyebb lesz a beolvadás. Nagy cseppekben olvadó, kevés salak képződik.

#### Bázikus elektródok

Az előző bevonat típusoktól eltérően - ahol a salak összetétele többé-kevésbé savas volt - a salakot főleg bázisképző anyagok alkotják (mészke, dolomit, folypát). Az ívben kismennyiségű széndioxid és szénmonoxid is képződik, ezért védőgáz atmoszférával is számolhatunk. A folypát hatására a nagymennyiségű salak hígfolyós lesz, de nem oxidálja a bevonatba adagolt dezoxidáló ötvözeteket, így a heganyag jól dezoxidálódik és ötvöződik. A varrat szabályos alakú, kissé domború és nagyon jó szilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik. Ilyen pálcákkal hegesztik a legnagyobb igénybevételű szerkezeteket.

A porbeles elektródhuzal egy acélszalagból készült cső, belsejében por alakú töltettel. Ez a hajlított acélszalag - a köpeny - biztosítja a jó áramvezetést, és képezi a leolvadó cseppek fémanyagának döntő hányadát. A porbeles elektródhuzalos hegesztés a bevontelektródos kézi

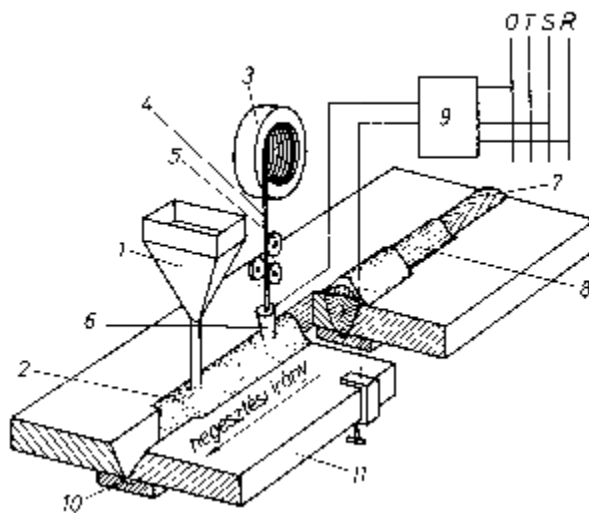
ívhegesztés és a védőgázos hegesztés előnyeit egyesíti. A porbeles huzalokat ma már nemcsak egyszerű kör keresztmetszetűre készítik, hanem a szalagot bevezetik a huzalkeresztmetszet belsejébe. Jellegzetes porbeles elektródhuzalok keresztmetszetét szemlélteti a 2.42. ábra.



2.42. ábra

### 2.3.4. Fedettívű automatikus hegesztés

A kézi ívhegesztés nagyon munkaigényes, sok jól képzett szakmunkást igényel, a varrat minősége erősen függ a hegesztő szakmunkás egyéni képességeitől. Ezért a hegesztési folyamatok gépesítése és automatizálása a hegesztési technika egyik alapvető kérdése. A fedettívű hegesztés elvi vázlatát a 2.43. ábra szemlélteti. A villamos ív fedőporréteg alatt ég, amelyet egy tölcéses adagoló juttat a varrathézagba. Elektródként különleges összetételű csupasz huzalt használnak.



2.43. ábra

1 portölcsér, 2 fedőpor, 3 huzaldob, 4 hegesztőhuzal, 5 előtoló és egyengető görgők, 6 hegesztőfej, 7 hegesztési varrat, 8 salak, 9 hegesztő áramforrás, 10 fürdőbiztosítás (rézalátét), 11 munkadarab.

A fel nem használt fedőport visszaszívják a tartályba. Az automatikusan működő hegesztő berendezéshez tartozik még a hegesztőkocsi, az ún. traktor. Automatikus hegesztéskor a huzalelőtolás és a traktor hosszirányú mozgása gépesített (félautomatikus a hegesztés, ha csak az egyik mozgás gépesített).

A fedettívű hegesztés előnyei: nagy hegesztési teljesítmény (200...1800 A áramerősség, 12...120 m/h hegesztési sebesség), mély beolvadás (élelemunkálással két rétegben 140 mm, élelemunkálás nélkül két rétegben 18 mm), csekély huzalfelhasználás (2/3 rész alapanyag, 1/3 rész hozaganyag), a hegesztés folyamatos és mentes a szubjektív hatásoktól, a varrat jó minőségű, csekély a fajlagos villamosenergia-felhasználás, fizikailag könnyű a munkavégzés, nincs szükség különleges védőrendszabályokra (pl. az ív nem látható, így nincs ibolyántúli sugárzás sem, csekély a gáz- és porképződés).

A rossz hővezetés és a fedőpor hőszugárzás-gátlása miatt nagyon jó a hőhatásfok. A bevezetett villamos energia 97%-a felhasználható (villamos kézi ívhegesztéskor kb. 40%).

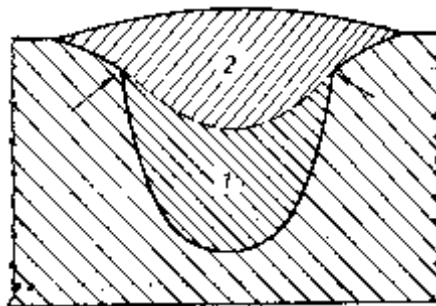
A fedettívű hegesztéshez leggyakrabban rézzel bevont hidegen húzott huzalokat használnak. Rozsdás huzalt nem szabad alkalmazni, mert érintkezési zavarokat okoz, ami varrathibákhoz vezethet. A huzal felülete sem zsíros, sem olajos nem lehet, mert ezek a szennyező anyagok elgázosodnak, és porózussá teszik a varratot.

A huzalok vegyi összetételének a meghatározásakor ügyelni kell arra, hogy a foszfor és a kén együttesen nem haladhatja meg a 0,03%-nál, a Si-tartalom 0,25%-nál kisebb legyen. A varrat metallurgiai biztonságához szükséges szilíciumot a fedőpor biztosítja.

A hegesztéshez használt fedőpornak hasonlóak a feladatai, mint a bevont elektródok bevonatainak. A fedőpor fizikailag védi a hegfürdőt a légkör befolyásától, lassítja a varrat dermedését és lehűlését. Metallurgiailag a por ötvöző tulajdonságai révén hat, miközben a fontos elemek kiegészi veszteségét megakadályozza, vagy pótolja.

A fedőporok mesterségesen megömlesztett szilikátok, tulajdonképpen üvegnek tekinthetők. A porok gyártását illetően lehetnek szárazon vagy nedvesen granulált porok, szinterizált vagy agglomerált porok.

A fedettívű hegesztés varratának alakja eltér az egyéb módszerrel készített varrat alakjától. A varrat keresztmetszete jellegzetes, könnyen felismerhető a két megömlesztési övezetből összetett hernyó (2.72. ábra).



2.44. ábra



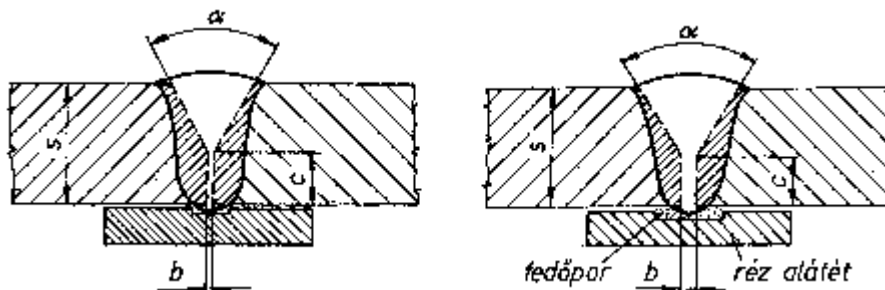
A varrat alakja (a  $b/t$  és a  $b/h$  viszony) függ az áramerősségtől, az ívfeszültségtől, a hegesztési sebességtől és a munkadarab dőlési szögétől.

Fedettívű hegesztéskor a lemezek előkészítését két nagy csoportba sorolhatjuk:

- lemezelőkészítés segédeszközzel,
- lemezelőkészítés segédeszköz nélkül.

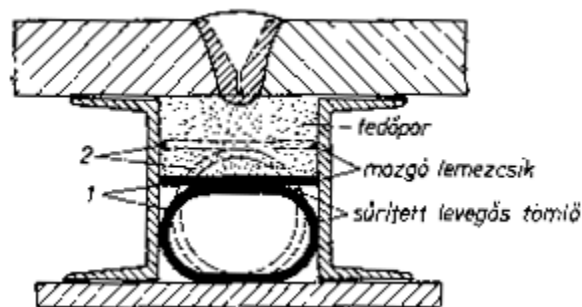
Segédeszközök a hegfürdő biztosításához szükséges alátétek. Ezekre olyankor van szükség, ha a munkadarabot egy műveletben hegesztjük.

Az egyoldali hegesztés széles körben elterjedt módszere a rézalátéttel végzett hegesztés (2.45. ábra). Rövid munkadarabokhoz elegendő a mechanikus szorítás excenterrel vagy keresztmelőkarral. Hosszú lemezekhez pneumatikus vagy hidraulikus működtetésű szorítóelemeket kell alkalmazni. Amennyiben a lemezeket illesztési hézaggal kell hegesztetni, akkor porbetétes rézalátétet használnak.

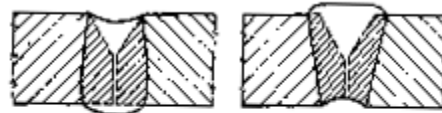


2.45. ábra

Bevált módszer a porpárnán végzett hegesztés. Egyszerű készülékkel pneumatikusan nyomják a fedőport az illesztési hely alá. A porpárnás hegesztés elvi vázlatát mutatja a 2.46. ábra.



a)

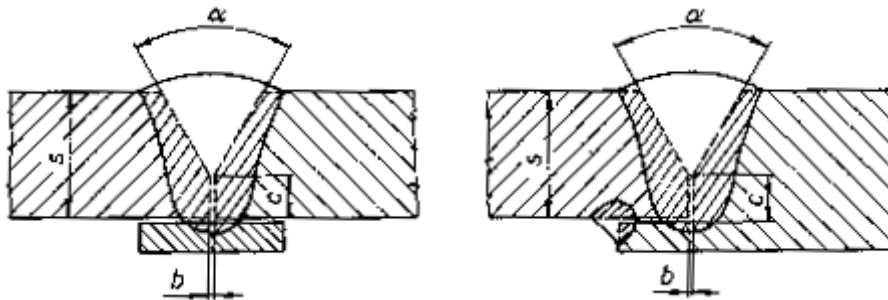


b) Nem elegendő a szorítónyomás: a varrat lent homorú, alul erősen túlfolyik.

c) Túl nagy a szorítónyomás: a varrat-dudor lent erősen túlemelkedik, a varratgyak alul homorú.

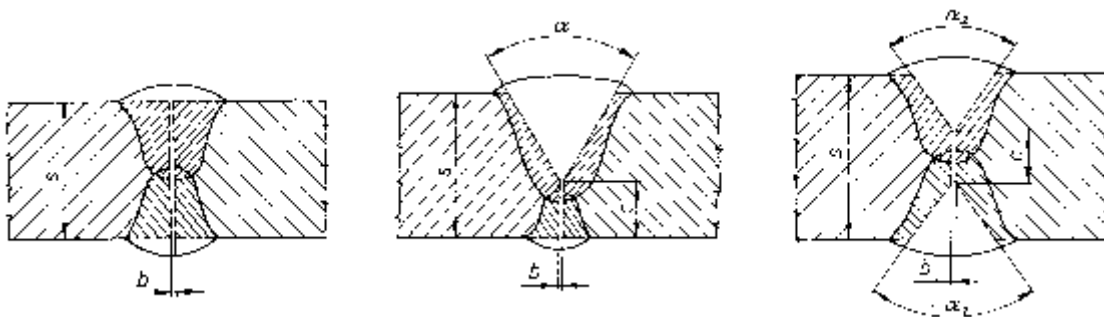
2.46. ábra

A hegesztőpor tömlőn keresztül kapja a szorítónyomást. A tömlő az acéllemezre fejt ki a nyomást, ezáltal a fedőpor felemelkedik, és a munkadarab alsó részének nyomódik. A varrat képződését a szorítónyomás nagysága befolyásolja (2.75/b. ábra). Kedvelt technológia a munkadarabon maradó acélalátéttel végzett hegesztés. Az illesztési hely alá fűzővarratokkal acél lemezcsíkot erősítenek, amit az ív megömleszt, így biztosított a teljes keresztmetszet áthegedése (2.47/a. ábra). A lemezcsík méretei a hegesztendő lemezek vastagságától függenek. A fogazott lemezillesztés technológiailag hasonló a lemezcsíkokkal végzett hegesztéshez. A varratelőkészítés a bejelölt varrattal a b) ábrán látható.

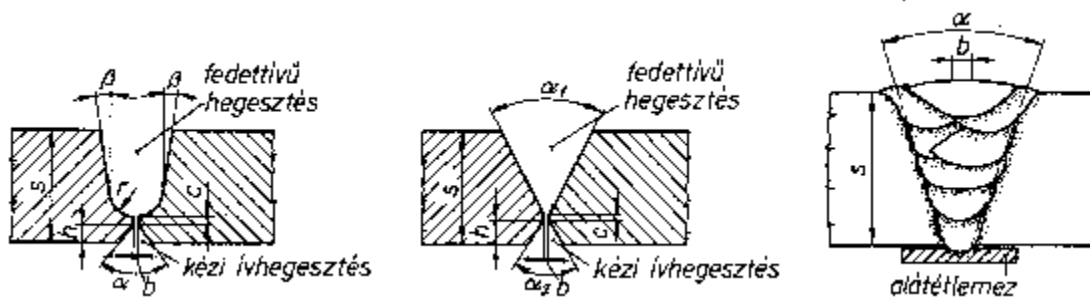


2.47. ábra

A 16 mm-nél vastagabb lemezeket általában két oldalról hegesztik úgy, hogy kiegészítő segédeszközre ne legyen szükség. A legegyszerűbb és legolcsóbb varrat az I-varrat (2.48/a. ábra). A 16...30 mm lemezvastagság-tartományban végzett hegesztés elterjedt varrata az Y-varrat (2.48/b. ábra). Vastag lemezekhez alkalmazzák a kettős Y-varratot (2.48/c. ábra). Többretegű hegesztéshez gyakran az U- és az X-varratot (2.49. ábra) alkalmazzák.

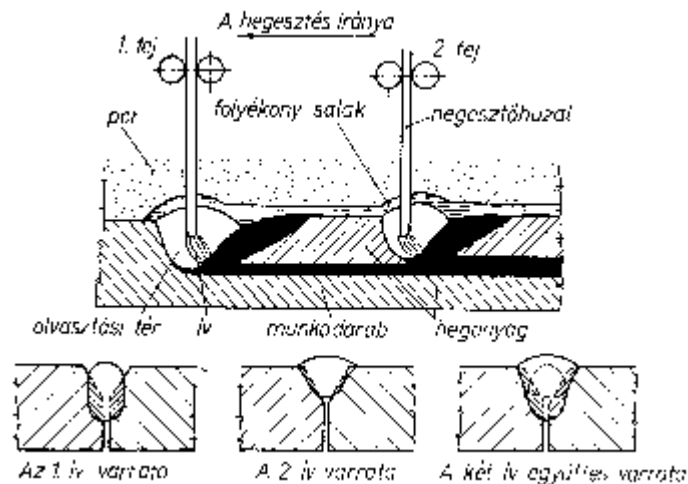


2.48. ábra



2.49. ábra

A hegesztés termelékenységének növelésére a tömeggyártás területén mindjobban terjed a kettősívű hegesztés (gyorshegesztés). A 2.50. ábra az első és a második hegesztőfej ívvezeteinek vázlatos elrendezését mutatja. Az első ív biztosítja a mély beolvadást a varrat alakjára való tekintet nélkül, a második ív feladata a varrat alakjának a biztosítása. A kettősívű hegesztés a sebesség növelésén túlmenően olyan anyagok hegesztésére is alkalmas, amelyek egyhuzalos hegesztéskor csak különleges hőkezelési rendszabályokkal köthetők össze.



2.50. ábra

### 2.3.5. Védőgázos ívhegesztés

Ívhegesztéskor a védőgáz feladata az oxigén és a nitrogén kiszorítása az olvasztótérből. A védőgázos hegesztést a kötések jó minősége, a fedőpor- és a salak-eltávolítás elmaradása, semleges védőgáz alkalmazásakor a varrat kémiai összetételének állandósága, a koncentrált hőhatás következtében a keskeny hőhatásövezet, és ennek megfelelően a minimális elhúzóadás jellemzi. Védőgázos ívhegesztéssel 0,5...100 mm vastagsági tartományban hegeszthetők a lemezek. Az ívet szemmel meg lehet figyelni, nagy a termelékenység, az eljárás jól automatizálható.

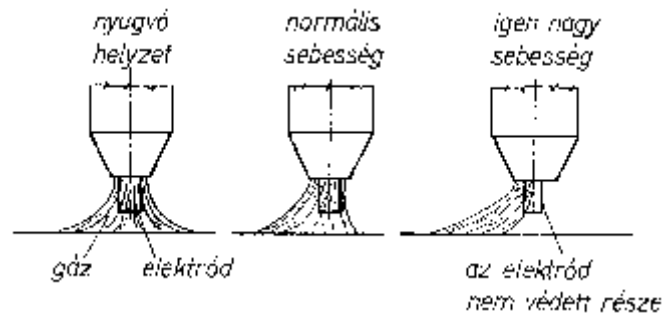
A védőgáztól függően ötvöztelen, gyengén és erősen ötvözött acélok, könnyű- és színesfémek, ill. ötvözetek, valamint különleges fémek és ötvözeik egyaránt jól hegeszthetők. A védőgázos hegesztés lehet fogyóelektródos és nemolvadó elektródos. A legelterjedtebb eljárások: az argon, a hélium és a széndioxid védőgázos hegesztés. Terjed a semleges és aktív gázok keverékével végzett hegesztés is (pl. Ar-O<sub>2</sub>, Ar-CO<sub>2</sub>).

A védőgáz kiválasztása a munkadarab anyagának összetételétől függ. A nagy kémiai affinitású fémek hegesztésekor a védőgáz szennyezőtartalma nem haladhatja meg a 0,02%-ot, a más fémeknél ez a követelmény csökkenthető. A CO<sub>2</sub> gáz, illetve keveréke csak acélok hegesztésére alkalmas.

A semleges védőgázokhoz nemolvadó elektródként tiszta, illetve tóriumoxiddal vagy lantánnal ötvözött wolframot használnak. Az ötvözés hatására jobb lesz az ívstabilitás, és az elektród nagyobb árammal terhelhető.

## Argon védőgázos wolfram-elektrodos ívhegesztés (AWI)

Az argon védőgázos AWI-hegesztéskor a wolfram-elektrod és az alapanyag között húzott ívet argon gázburok veszi körül. A gázburok hatásossága nagymértékben függ a gáz sűrűségétől és a hegesztés sebességétől. A hegesztési sebesség növelésekor előfordulhat, hogy az ív kilép a védőgázburokból (2.81. ábra).

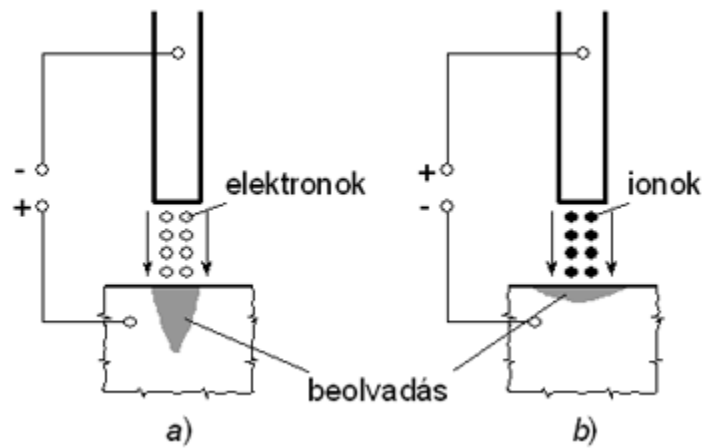


2.51. ábra

Az argongázban égő ív sok szempontból eltér a levegőben égő ívtől. Az argon egyatomos gáz, amelyben az elektronok mozgékonyasága sokkal nagyobb, mint a kétatomos gázokban. Ezen az alapvető különbségen kívül egy másik jellegzetes különbség az, hogy az ív egy igen nagy olvadáspontú wolfram-elektrod és egy viszonylag kis olvadáspontú fém között ég. Különösen nagy a két olvadáspont közötti különbség pl. alumínium hegesztésekor.

Abban az esetben, ha két nagyon különböző olvadáspontú anyag között képződik az ív, az anód és a katód hőmérséklete között jelentős különbség adódik. Az előzőekben már láttuk, hogy két azonos anyagból készült elektrod között húzott ívben az anód hőmérséklete rendszerint valamivel nagyobb, mert a nagysebességű elektronok ütközésének hatására nagyobb hőmennyiség fejlődik. Ez a hatás argonív esetén fokozatosan érvényesül, mert az elektronok az argonívben lényegesen nagyobb sebességűek.

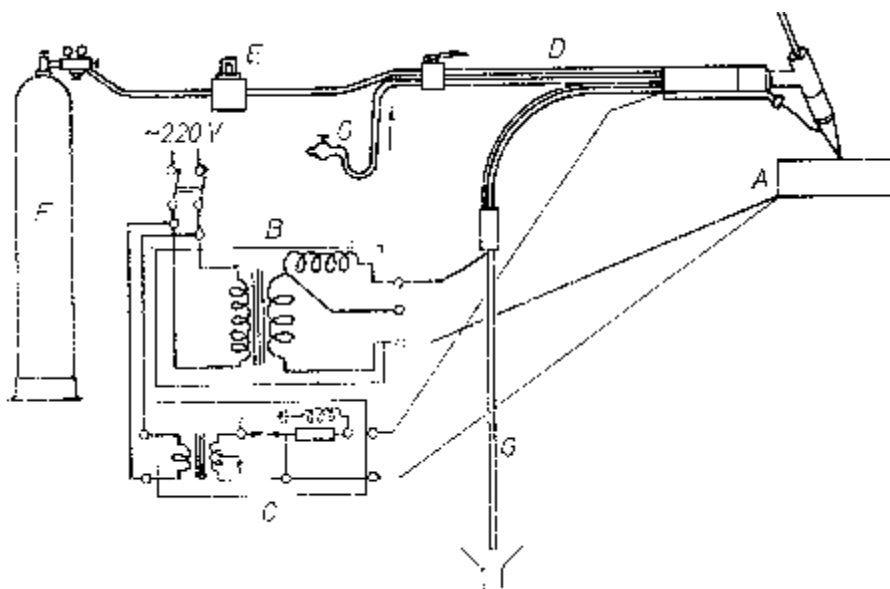
A hőmérsékletkülönbség nagymértékben függ attól, hogy egyenes, vagy fordított polaritású kapcsolást alkalmazunk-e. Egyenes polaritású kapcsoláskor a wolfram-elektrod a negatív, a hegesztendő anyag a pozitív sarkok (2.52/a. ábra). Ebben az esetben az elektrodon levő katódfoltból igen nagy sebességű elektronok indulnak ki, amelyek az anódként kapcsolt alapanyagba ütköznek, amely aránylag keskeny területen, de nagyon erősen felmelegszik. Az így képződő varrat tehát keskeny, de nagyon mély. Az argongáznak ebben az esetben csak védőgáz szerepe van.



2.52. ábra

Fordított polaritású kapcsoláskor (2.52/b. ábra), amikor a hegesztendő anyag a negatív pólus, a nagy sebességű elektronok a wolfram-elektrod felé áramolnak, és abba ütközve fejlesztnek nagy hőt. Ennek hatására a wolfram-elektrod jobban fogy, amit vastagabb elektrod alkalmazásával és vízhűtéssel lehet meggátolni. A fordított polaritású kapcsolás előnye az, hogy a nagy sűrűségű, nagy tömegű argon ionok a tárgy felületére ütköznek, és az ott lévő esetleges oxid- és nitridhártyát elgőzölögtetik. Ebben az esetben az argongáznak nemcsak védőhatása, hanem tisztító hatása is van. Ez a jelenség különösen olyan fémek esetében fontos, amelyeknek felületén könnyen képződik oxid (pl. alumínium és magnézium). A különböző polaritású kapcsoláskor jelentkező előnyök váltakozó áramú hegesztéskor is jelentkeznek. Itt ugyanis az egyenes és fordított polaritás a váltakozó áram periódusának megfelelően váltakozik.

Az argonívhegesztő berendezések kétféle kivitelben készülnek: egyenáramú dinamóval vagy váltakozó áramú transzformátorral. Az argonívhegesztő berendezés a következő részekből áll: hegesztőpisztoly (A), áramforrás (B), nagyfrekvenciás áramot gerjesztő berendezés (C); gázvezeték (D), gázsebességmérő (E), gázpalack (F), és nagy teljesítményű hegesztőpisztolyok esetében a hűtést biztosító vízvezeték (G) (2.53. ábra).



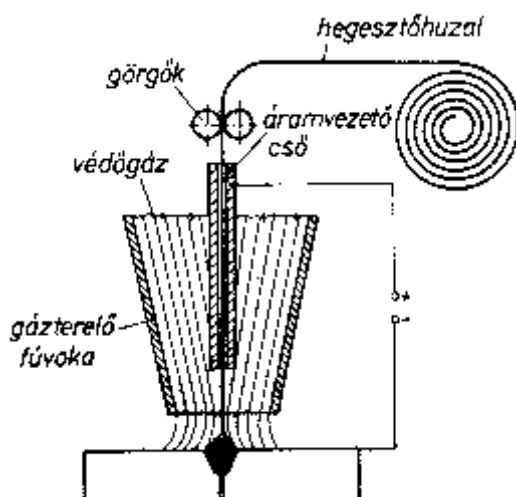
## 2.53. ábra

A hegesztéshez használt argon tisztasága rendkívül fontos. Tapasztalati adatok szerint a 99,8%-os tisztaságú argonnal érhető el jó eredmény. Az argonban levő 0,2% szennyező csak nitrogén lehet, oxigént vagy vízgőzt az argon nem tartalmazhat. Mivel a kereskedelemben kapható argon nem mindig éri el a megkívánt tisztaságot, egyes munkákhoz célszerű az argont a felhasználás előtt tisztítani.

Az AWI-hegesztés sikerének egyik alapfeltétele a hegesztés helyének és hegesztőanyagainak gondos megtisztítása minden szennyeződéstől.

### Argon-védőgáz as fogóelektródos ívhegesztés (AFI)

A röviden AFI-hegesztésnek nevezett eljárás során a hegesztőív a folyamatosan előrehaladó hegesztőhuzal és a munkadarab között ég. A hegesztőhuzalt két görgő tolja előre, amelyeket a huzalelőtoló hajtószerkezete mozgat. A hegesztőhuzalt a hegesztőpisztoly huzalbevezető tömlőjén keresztül vezetik a hegesztés helyére. Az áramot réz érintkezőcső vezet a huzalhoz (2.54. ábra).



2.54. ábra

AFI-hegesztéskor egyenárammal dolgoznak. Legtöbb esetben fordított polaritást alkalmaznak. Más esetben az ív stabilitása csökken, a fröcskölési veszteség pedig növekszik. Az elektródról leváló cseppek mérete és átlaghőmérséklete, az elektródhuzal és a védőgáz minőségének, az áramerősségnek és az ívfeszültségnek a függvénye. A hegesztőívben a fém átvitele a munkadarabra a hegesztőhuzal nagy áramerterhelése miatt permetszerűen megy végbe. Permetszerű anyagátvitelkor az ív stabilitása, a varratképzés és a varrat minősége javul.

Az AFI-eljárás gazdaságosabb, mint az AWI-eljárás, mert vele nagyobb hegesztési sebességgel lehet dolgozni. A hegfürdőt argongáz védi a levegő oxidáló hatásától. Hegesztő áramforrásként az áramátalakítók és az egyenirányítók egyformán alkalmasak. Az egyenirányítók közül azok az előnyösek, amelyek a CO<sub>2</sub>-védőgáz és az AFI-hegesztéshez egyaránt beváltak.

AFI-hegesztéshez zsírtalanított, száraz, tiszta, főleg hántolt felületű, dobra tekercselt huzal használható. A használatosabb huzalátmérők: 0,8; 1,2; 2,0 és 2,4 mm (vastaghuzal hegesztéshez 4,0; 4,8 és 5,6 mm).

Az áramerősség kritikus értéke a folyékony fém felületi feszültségének a függvénye: a felületi feszültséggel arányosan növekszik, ezzel a csepp mérete növekszik. A felületi feszültség az ívatmoszféra összetételével változtatható, pl. az argonhoz nitrogént, illetve hidrogént keverve a hegesztőáram kritikus értéke és a felületi feszültség egyaránt növekszik. Az argonhoz oxigént vagy CO<sub>2</sub> gázt keverve mindkettő csökken.

Fogyóelektródos hegesztéskor az egyik legfontosabb feladat az ívhossz állandó értéken tartása. Az ív stabilitása legkedvezőbb a vízszinteshez közelálló statikus jellegű görbék áramforrások alkalmazásakor.

### **CO<sub>2</sub> védőgáz as fogyóelektródos ívhegesztés**

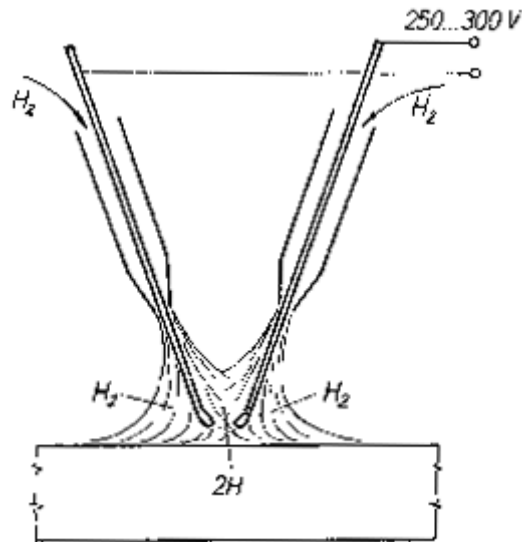
Ezt az eljárást elsősorban ötvöztelen és gyengén ötvözött szerkezeti acélok egyesítésére használják. A CO<sub>2</sub> védőgáz alkalmazásakor problémát jelent, hogy a CO<sub>2</sub> gáz szénmonoxidra és oxigénre bomlik, ezért jelentős oxidációval kell számolnunk. Az elektródhuzalba ezért dezoxidáló elemeket (mangánt és szilíciumot) kell ötvözni.

A védőgáz áramlási viszonyai lehetővé tehetik a levegő bejutását még nyugodt környezetben is, néhány m/s sebességű légmozgás pedig a védőgázt elfújja, ezért a hegesztést védett helyen kell elvégezni.

Egyes kutatók kísérletei szerint a CO<sub>2</sub>-gázba kevert oxigén ötvöztelen acélok hegesztésekor előnyös lehet a kiegészítő veszteség növekedése ellenére, mert a nagyobb salakmennyiség szebb felületet eredményez, növeli a beolvadási mélységet és a teljesítményt, csökkenti a fröcskölési veszteséget, csökkenti a varrat nitrogén- és hidrogéntartalmát, csökkenti a varrat melegrepedési hajlamát.

### **Hidrogén védőgáz as ívhegesztés**

A hidrogén védőgáz as ívhegesztést *Langmuir* fedezte fel, s a külföldi szóhasználatból átvett kifejezéssel *arcatom*-hegesztésnek is szokás nevezni.



2.55. ábra

Az eljárás elvi alapja különbözik a többi védőgázos ívhegesztési eljárástól (2.55. ábra). Az ív két wolfram pálca között ég. Az ív hőmérsékletén a molekuláris hidrogén atomos hidrogénné esik szét, majd pedig a hidegebb részeken az atomos hidrogén ismét molekuláris hidrogénné alakul. Az első folyamat hőfogyasztó, a második pedig hőleadó. A hegesztés tehát tulajdonképpen az atomos hidrogén molekuláris hidrogénné való visszaalakulásakor fejlődő hővel történik. Az *arcatom*-eljárásban tehát a hőhatás közvetve, az ív hőhatása révén létesül, a hegesztés helyét pedig körülveszi a hidrogén gázatmoszféra.

Az *arcatom*-hegesztés munkamenete hasonló a gázhegesztéshez. A varrat feltöltéséhez itt is az alapanyaghoz hasonló összetételű hegesztőpálca szükséges. Mivel a hidrogénív erősen redukáló hatású, nemcsak megakadályozza az oxidálódást, hanem a nagyobb karbon tartalmú acélok hegesztésekor a karbon tartalom csökkenését idézi elő. Kisebb karbon tartalmú acélok esetében ez a jelenség nem okoz nehézséget. Ezért általában a szerkezeti anyagokat saját anyagukkal közelítőleg megegyező összetételű hegesztőpálcával szokás hegesztetni. A nagyobb karbon tartalmú alapanyag hegesztéséhez azonban az alapanyag karbon tartalmánál nagyobb karbon tartalmú hegesztőpálcát kell alkalmazni. Az eljárás hátránya az, hogy egyes fémek hegesztésekor a varrat könnyen porózussá válhat. Ennek az az oka, hogy ezek a fémek folyékony állapotukban nagymennyiségű hidrogént képesek oldani. Ezért az eljárás nem alkalmas pl. nikkel vagy nagy nikkeltartalmú króm-nikkel acélok hegesztésére. Alkalmatlan a réz és a rézötvözetek hegesztésére is, mert a technikai minőségű vörösrézben mindig jelenlévő oxigén miatt hidrogénbetegség lép fel.

### 2.3.6. Salakhegesztés

A salakhegesztés a fedettívű hegesztés függőleges változatából fejlődött ki. A hegesztés mindkét eljárásban ívkeltéssel kezdődik. Fedettívű hegesztéskor ez az ív folyamatosan ég a fedőporral fedett térben, salakhegesztéskor a fedőpor megolvadását követően az ív kialszik (a salak villamos ellenállása kisebb, mint az ívé). A hegesztő áramkör az elektródhuzalon, a salakfürdőn, a fémfürdőn, ill. az alapanyagon át záródik. Salakhegesztéskor tehát a salakon, mint villamos ellenálláson fejlődő *Joule*-hő szolgál hőforrássul. Az elektródhuzal és az



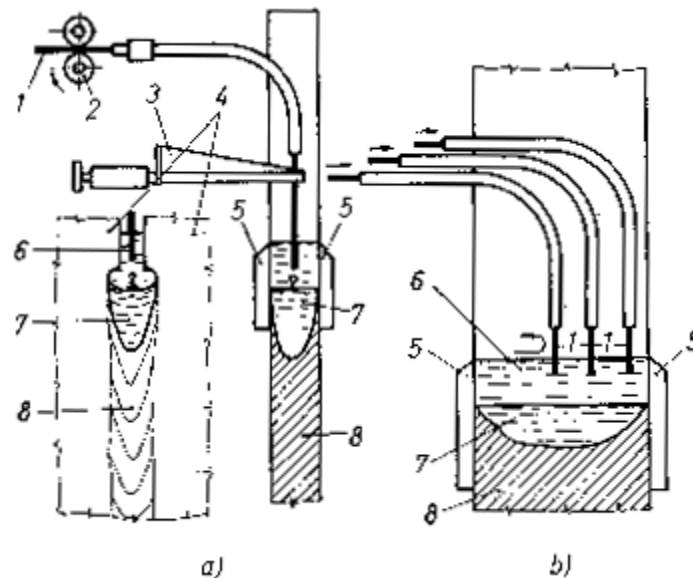
alapanyag homlokfelületeinek megolvastását egyaránt a nagy hőmérsékletű salakfürdő biztosítja.

A salakhegesztéshez használt fedőporak az alábbi tulajdonságokkal kell rendelkeznie: megfelelő villamos ellenállás ill. vezetőképesség, nagy forráspont, minimális gázképződés, mérsékelt ívstabilizáló hatás.

Salakhegesztéskor a fedőporfogyasztás a leolvasztott elektród fém tömegének kb. 5%-a. Ebből következik, hogy a fedőpor megolvastására fordított hőenergia kedvezően kicsi, viszont ezzel párhuzamosan kedvezőtlenül csökken az ötvözés lehetősége is.

A hegesztendő tárgy vastagságától függően a hegesztő berendezés kétféle lehet:

- álló helyzetű, egy (körkeresztmetszetű) elektródos berendezés (2.56/a. ábra),
- lengetett, három (körkeresztmetszetű) elektródos berendezés (2.56/b. ábra).



2.56. ábra

1 elektródahuzal, 2 huzaladagoló görgők, 3 áramvezető, 4 összekötendő lemezek, 5 vízzel hűtött csúszó rézsaluk, 6 salakfürdő, 7 fémfürdő, 8 hegyvarrat.

A salakhegesztő berendezések egy része alkalmas szalagelektrod leolvasztására is. A salak- és fémfürdő elfolyását az összekötésre kerülő munkadarabok felületéhez szorított, vízhűtéses csúszó rézsalukkal akadályozzák meg. Salakhegesztéssel függőleges, vagy a függőlegestől maximum 30°-kal eltérő dőlésszögű tárgyak hegeszthetők. Alkalmas ez a módszer továbbá a hegesztőfej alatt forgathatóan elhelyezett hengeres tárgyak varratának egyetlen rétegben való elkészítésére.

Salakhegesztéskor a hevítés és a hűtés sebessége két nagyságrenddel kisebb, mint ívhegesztéskor, így az edződés veszélye erősen csökken, a szemcsedurvulás veszélye viszont növekszik. A hegyvarrat kívánt kémiai összetételét (ötvözését) ötvözött elektródhuzallal lehet biztosítani. A nagytömegű hegyfürdő lassú dermedése elősegíti a nemfém anyagok és gázok

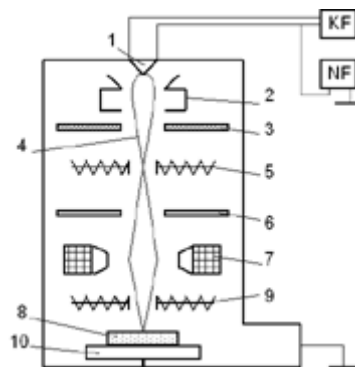
kiválását a folyékony fémből, ezáltal nagyon tiszta, nagy képlékenységgű, szívós hegyarratot lehet előállítani.

A salakhegesztés fajlagos energiafelhasználása nagyon kedvező, a leolvastási tényező kb. kétszer akkora, mint a fedettívű hegesztéskor. További előny, hogy a lemezeket nem kell leélezni, az illesztési hézag az anyagvastagságtól függetlenül 20-30 mm közé választható, így lényegesen csökken az elektródhuzal felhasználása.

Az elektrosalakos hegesztési technológia kötő- és felrakóhegesztésre egyaránt alkalmas. Kovácsolt, hengerelt és öntött darabok egymás között különösebb nehézség nélkül egyesíthetők.

### 2.3.7. Elektronsugaras hegesztés

Az elektronsugaras hegesztés alapja: a mintegy  $10^5$  km/s sebességre gyorsított elektronok ütközésekor (lefékezésekor) a kinetikai energia hővé alakul, és helyileg megolvastja a munkadarabot. Az ilyen nagy sebesség eléréséhez az elektronokat  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  Pa nyomású légritkított térben 20...150 kW feszültséggel gyorsítják.



2.57. ábra

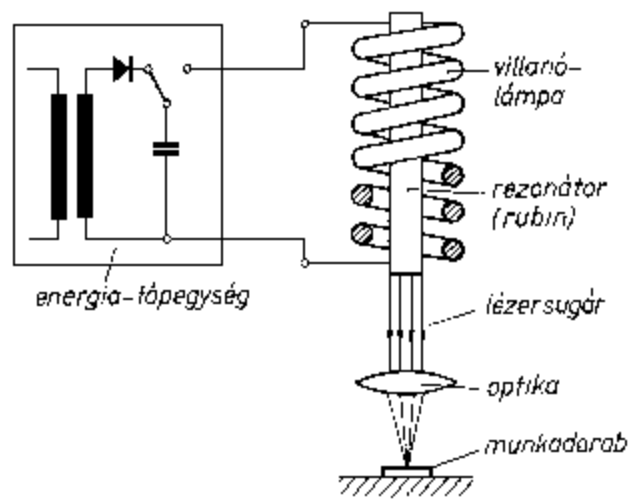
A hegesztő berendezés elvi vázlatát a 2.57. ábra szemlélteti. A termikus elektronemissziót az izzó 1 wolfram katód szolgáltatja, amelyet 2 gyűrűs kiképzésű elektród vesz körül. Ez alatt helyezkedik el a központi furattal ellátott 3 tárcsaszervó anód. A gyűrűs katód feladata a 4 elektronsugár szabályozása és modulálása az impulzusgenerátor által szolgáltatott nagyfeszültséggel. A katód és az anód közötti nagy feszültség az elektronokat gyorsítja, az egyenárammal táplált 5 szabályozó tekercsek mágneses tere a sugarat az elektronágyú tengelyének az irányába tereli. A 6 diafragma formálja, a 7 mágneslencse a 8 munkadarab felületére koncentrálja az elektronsugarat. A 9 eltérítő tekercssel az elektronsugár a munkadarab felületén elmozdítható. A munkadarabot a villanymotorral hajtott 10 asztalra lehet felerősíteni. Az elektronsugár átmérője  $2 \dots 0,002$  mm, a fajlagos teljesítmény  $0,15 \dots 0,5$  kW/mm<sup>2</sup> között változtatható.

Ilyen nagyságrendű energiakonzentráció hatására a hevített pont hőmérséklete elérheti az anyag forráspontját. Ezt használják ki pl. a zafír, a rubin, a gyémánt és a keményüveg fűrésére. Az elhanyagolható méretű keskeny hőhatásövezet miatt kedvezően alakul a munkadarab elhúzódnása. A nagy energiasűrűség keskeny és mély varratok előállítását teszi

lehetővé. Az elektronsugaras hegesztés gyakorlatilag minden anyag egyesítésére alkalmas, beleértve a különleges anyagokat és azok tetszés szerinti párosítását is.

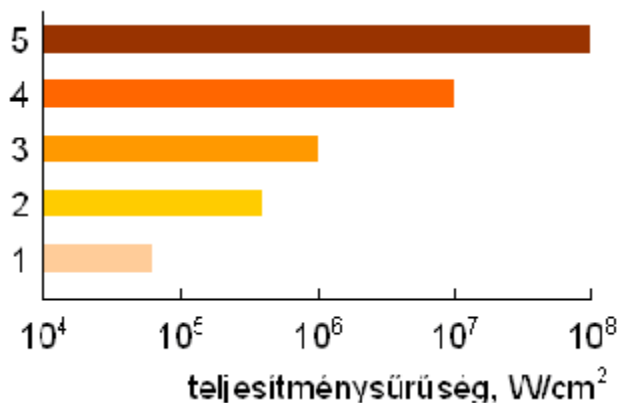
### 2.3.8. Lézersugaras hegesztés

A lézersugaras hegesztéshez szilárdtest-lézereket alkalmaznak. A lézerek működési elve az anyagok felépítésének kvantummechanikai modelljével magyarázható. A szilárdtest-lézer olyan fényforrás, amely nagy energiájú fényimpulzusokat bocsát ki. A lézerhatás úgy jelentkezik, hogy a nagy intenzitású fény formájában kapott energiát a rubin rezonátorba sugározzák, a besugárzott fény egy csekély részét a rezonátor egy rövid időre elnyeli, és nagy energiájú impulzusként újra kisugározza. A klasszikus szilárdtest-lézer rubinkristályos lézer, amelyben a rubin krómot is tartalmazó alumíniumoxid kristály. A króm aránya 1 :1000.



2.58. ábra

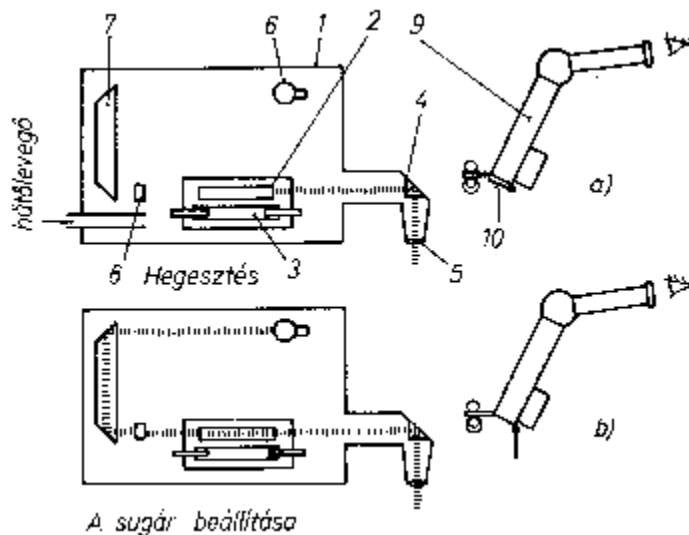
A lézersugaras hegesztő berendezés elvi működését a 2.58. ábra szemlélteti. Az energiát kondenzátortelep szolgáltatja. A lézer magva a rubinkristály rezonátor. A villanólámpa csiga vagy rúd alakú. A hatásfok növelésére a lézert hűteni kell (levegővel, vízzel, folyékony nitrogénnel). A rezonátorból kilépő lézersugarat optikailag igen kis átmérőre fókuszolják, ezzel válik nagy intenzitásúvá, így gyakorlatilag minden fém megömleszthető. A megömlesztett felületi réteg hőmérséklete nem haladhatja meg a hegesztett fém forráspontját, ami a legtöbb esetben  $10^5 \dots 10^6 \text{ W/cm}^2$  teljesítménysűrűséggel érhető el, tehát messze a lézerral elérhető maximum alatt. Ha az intenzitás túl nagyá válik, akkor hegesztés helyett fűrés jön létre. A különféle hegesztési eljárások teljesítménysűrűségének az összehasonlítását tartalmazza a 2.59. ábra.



2.59. ábra

1 ívhegesztés, 2 CO<sub>2</sub>-védőgáz hegesztés, 3 plazmaív-hegesztés, 4 elektronsugár-hegesztés, 5 lézerhegesztés

A lézerberendezés az energiaátalakítóból, az áramelosztóból, a kondenzátorokkal ellátott asztalból és a sztereoszkopikus mikroszkópból áll (2.60. ábra). Az 1 fénykamra belsejében található a 2 rubinkristály. A kristállyal párhuzamosan helyezkedik el a 3 impulzuslámpa, amelynek a végéhez nagyfeszültséget kapcsolnak. A fénykamra belsejének felülete polírozott, így fényvisszaverő. A rubinkristályt a kamrába juttatott sűrített levegővel hűtik. A rubinkristály által kibocsátott sugár formálását, és a hegesztés helyére irányítását szolgáló optikai rendszer a 4 prizmából, lencséből és 5 cserélhető objektívekből áll. A sugár irányítását speciális optikai berendezés segíti, amely 6 fényforrásból, 7 prizmából és 8 kondenzátor lencséből áll. A 9 sztereoszkopikus mikroszkóp a hegesztési hely szemmel követésére szolgál. A 10 zárszerkezet a hegesztő szemét védi, mivel a fényimpulzus idejére az elektromágnes a szemlencsét automatikusan elfedi.



2.60. ábra

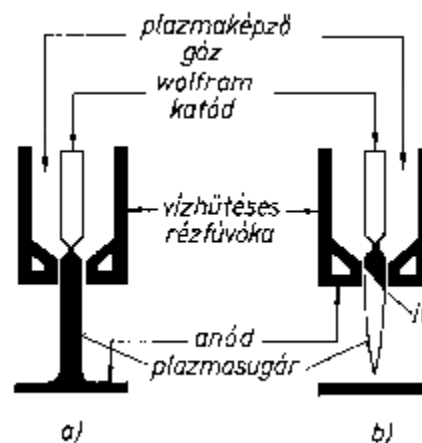
A lézersugaras hegesztés elsősorban vékonyabb anyagok hegesztésére alkalmas, főleg ponthegesztésre, vagy pontsorok készítésére. Nagy előny, hogy a hegesztőkészülék és a munkadarab között nincs szükség közvetlen érintkezésre, ezért a lézerhegesztés jól

használható ott, ahol a mechanikus alakváltozásokat vagy a kémiai szennyeződéseket mindenáron el kell kerülni.

Lézerhegesztéskor 10...100-szor nagyobb a megömlött fém dermedési sebessége, mint más hegesztési eljárásnál. A fémek szemcseszerkezetük szerint különbözőképpen reagálnak erre a rendkívül gyors dermedésre. Az alumínium-ötvözetek, a wolfram és a molibdén például hajlamos a repedésre. A lézerhegesztés alapesetei a huzal-huzal, huzal-lemez és a lemez-lemez kötések. Ezért termoelemek, tranzisztorok, vezetékklapok, szigetelt huzalok, relétekercek, elektronikus érzékelők stb. hegesztéséhez jól alkalmazható.

### 2.3.9. Plazmasugaras hegesztés

A plazmasugár nagy energiataralmú ionizált elemi részecskék áram. A hegesztésen kívül vágáshoz, felületbevonáshoz és hőkezeléshez használható. A plazmasugarat a 2.61. ábrán vázolt fűvókában állítják elő. A plazmasugár kialakulásának előfeltétele a villamos ív, amely a pisztoly szerkezeti kialakításától függően keletkezhet a wolfram-katód és az anódként kapcsolt munkadarab között (a) ábra), vagy a wolfram-katód és az anódként kialakított fűvóka között (b) ábra).



2.61. ábra

Plazmasugár akkor keletkezik, ha a villamos ívet normál állapotához képest egy lényegesen szűkebb csatornán, a fűvókán való áthaladásra kényszerítjük. A plazmaképző és a vágógáz molekulái az ív hőhatására disszociálnak, az atomok külső elektronehéjáról elektronok szakadnak le, azaz a gáz ionizálódik. A gáz hevítésére, disszociációjára és ionizációjára fordított igen jelentős hőmennyiség a visszaalakulás (rekombináció) során ismét felszabadul. A gázok előbb említett változásait térfogatnövekedés, ill. ennek hiányában nyomásnövekedés kíséri. Mivel a fűvókában a térfogat nem növelhető, a nyomásnövekedés a plazmasugarat a vízzel hűtött fűvókán át, a hangsebességet meghaladó sebességű áramlásra kényszeríti. A plazmasugár hőmérséklete 10000...30000 °C között változhat. Plazmasugár létesítéséhez semleges és aktív gázokat használnak (pl. Ar, Ar + H<sub>2</sub>, Ar + N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>, levegő).

A plazmahegesztés és az AWI-hegesztés között ez idő szerint nem lehet éles határvonalat húzni. Vannak ugyanis olyan automatikus AWI-hegesztőgépek, amelyek beszűkített ívvel dolgoznak. Az AWI-hegesztéshez használt áramforrások és kapcsolók használatosak a

plazmahegesztéshez is. A plazmahegesztés általában ugyanolyan feladatok megoldására alkalmas, mint az AWI-hegesztés, néhány esetben azonban kedvezőbb, főleg csövek hegesztésekor. Nagyon jól bevált a nemrozsdásodó acélok hegesztésére. Kötő- és felrakóhegesztésre egyaránt alkalmas. A plazmasugár előnyösen használható fémporok felrakóhegesztésekor (pl. wolframkarbid és más nagy olvadáspontú ötvözetek), mivel kis rétegvastagság mellett közel nullára csökkenthető a felrakott rétegben az alapanyag hányada.

A plazmasugár további felhasználási területe a fémszórás (bevonatolás) és a fémgőzölés (vékonyréteg technika).

Plazmavágáskor az anyag megolvasztását, részbeni elgőzölögtetését és az olvadt anyag eltávolítását a nagyhőmérsékletű és nagysebességű gázsugár végzi. Plazmasugárral a legkülönbözőbb fémek és ötvözeik, valamint nemfém anyagok is vághatóak. Az átvágható vastagság elsősorban az anyag minőségének és a berendezés teljesítményének a függvénye.

Az AWI-hegesztéssel ellentétben plazmaív-hegesztéskor az ív alakja megközelítően hengeres. Ezáltal az áramsűrűség a távolság megváltozásakor is állandó marad, tehát a plazmahegesztés kevésbé érzékeny a tisztolytávolság változásra, mint az AWI-hegesztés.

Plazmasugárral  $10^4 \dots 10^5$  W/cm<sup>2</sup> teljesítménysűrűség érhető el. A hengeres alakú, szűkített ív a munkadarabot keresztülszúrja. A felolvasztott anyagot az ív mozgási energiája félrenyomja, így egy kis átmérőjű lyuk keletkezik, amely a hegesztés továbbhaladásával együtt vándorol. A folyékony fém a felületi feszültség hatására a plazmaív mögött ismét összezárul, és varratot alkot. Ezt a jelenséget nevezik kulcslyuk-hatásnak. A plazmaív mozgási energiájának akkorának kell lennie, hogy az átlyukasztás megtörténjen, de a megömlesztett anyag ne sodródjon ki a hézagból. Ha a hegesztés gyökében anyag csepeg le, a varrat szabálytalan lesz.

A plazmahegesztés előnyei más hegesztési eljárásokkal szemben:

- a megnövelt energiakoncentráció következtében a hőbevitel kevesebb, ezért vékony lemezek hegesztésekor kisebb lesz a vetemedés, csökken a hegesztés utáni egyengetési munka;
- a nagy energiakoncentráció miatt a varratszélesség-varratmélység viszonya kisebb, mint más eljárások esetén;
- a plazmaív majdnem hengeres alakjának a következményeként jó az ívstabilitás, ezért pontatlanul illesztett darabok is jól hegeszthetők. Az alaplyuk létrejötte lehetővé teszi 13 mm vastag lemezek tompaillesztésű egyoldalú hegesztését;
- a kulcslyukhatás lehetővé teszi az áthegesztés és a gyökkialakítás egyértelmű ellenőrzését;
- a kulcslyukhatás következményeként olyan kötésfajták készíthetők, amelyek más ívhegesztési eljárással nem lehetségesek;
- a plazmaív-hegesztés sebessége az AWI-hegesztésénél nagyobb;
- ha jól illeszthetők a hegesztendő lemezek, a nagy hőtágulású anyagok (króm-nikkelacél) hegesztőanyag nélkül hegeszthetők.

Más hegesztési eljárásokkal szembeni hátrányaként a nagyobb berendezési költségeket kell megemlíteni.

## 2.4. Forrasztás

Forrasztással a hegesztéshez hasonlóan oldhatatlan kötést lehet készíteni. A forrasztás a diffúziós kötés egyik fajtája, a kötést azonban a hegesztéssel ellentétben az alapanyagok megolvadása nélkül lehet létrehozni. A forrasztás mindig egy, az alapanyagtól különböző, kisebb olvadáspontú anyaggal történik. Igen jól forrasztható valamilyen fémmel egy alapanyag akkor, ha a forraszanyag és az alapfém a forrasztás hőmérsékletén oldják egymást. Például a réz az ezüstöt oldja, így a réz ezüsttel jól forrasztható. Ezzel szemben sem az ezüst a vasat, sem a vas az ezüstöt nem oldja, a vas az ezüsttel mégis jól forrasztható. Ez az utóbbi példa arra mutat, hogy a forrasztás adhéziós jellegű kötés, amely a határfelületeken lévő atomok kohéziós kapcsolatából jön létre. Forrasztáskor a diffúziós jelenségek ugyan szerepet játszanak, de nem képezik a forraszthatóság feltételét.

A forrasztás nagy előnye a hegesztéssel szemben, hogy az alapanyag megolvasztása nélkül végezhető el, így készremunkált alkatrészeket lényeges alakváltozás nélkül köthetünk össze. További előnye, hogy kisméretű tömegcikkék forrasztása könnyen gépesíthető. A forrasztandó felületeket a forrasszal bevonják, a darabokat összeillesztik, és meghatározott ideig a kívánt hőmérsékletre hevítik, pl. úgy, hogy a munkadarabokat kemencén húzzák át. Az áthúzás ideje alatt a forrasz megolvad, a lehűléskor a kötés létrejön.

A forrasztáshoz a már említett forraszanyagokon kívül hőforrás is szükséges. Szükséges továbbá a forrasztandó felületek tisztításához valamilyen forrasztópor vagy forrasztóvíz, amely a tisztítást kémiai úton végzi.

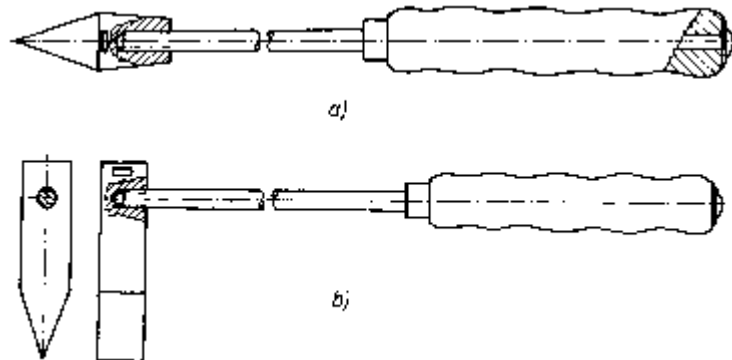
### 2.4.1. Forraszanyagok

Forrasztáskor a szilárd állapotban maradó fém felülete tiszta legyen, a forraszanyag pedig ne tartalmazzon olyan nem fémes jellegű szennyezéseket, amelyek a fémes kötést akadályozzák. Olyan fém, amely könnyen oxidálódik, és felületén stabil oxidhártya keletkezik, forraszanyagként csak kivételes esetben alkalmas. A forrasztás másik fontos követelménye, hogy a forraszanyag jól nedvesítse a forrasztandó felületet. Ez alatt azt értjük, hogy a forraszanyag jelentősebb túlhevítés nélkül könnyen terüljön szét az alapfém felületén. A túlhevítés a forrasztáskor is káros hatású, mivel itt is tulajdonképpen folyékony fém dermedési folyamata játszódik le, amely vagy csak a határfelületen, vagy esetleg mélyebben ötvöződik az alapanyagba.

A forrasztás céljaira sokféle fém használható, alapvető követelmény azonban, hogy a forraszanyag az alapanyagnál kisebb olvadáspontú legyen. Mivel a vas a technikailag legjobban elterjedt fém, a forraszanyagokat a vas szempontjából szokás csoportosítani. A kis olvadáspontú fémeket és ezek ötvözeteit *lágyszerforraszoknak*, a nagy olvadáspontúakat és ezek ötvözeteit *keményforraszoknak* nevezzük. A lágyszerforraszok közé tartozik az ón (olvadáspontja 231,9 °C) a bizmut (271,3 °C), a kadmium (320,9 °C), az ólom (327,4 °C) és a cink (419,4 °C), valamint ezek ötvözetei. A keményforraszok az ezüst (960 °C), az arany (1063 °C) és a réz (1083 °C), valamint ötvözeteik. Az alumínium és a magnézium nagyon gyorsan oxidálódik, ezért forraszanyagként való alkalmazásuk csak kivételes esetben indokolt.

### 2.4.2. A forrasztás hőforrásai

A lágyforrasztáshoz hőforrásként legtöbbször az úgynevezett forrasztópákát használják. A forrasztópáka nyéllal ellátott réztömb, amely kétféle kivitelben készül: hegyes és kalapács alakú kivitelekben (2.62. ábra). A páka feje mindig rézből készül, mert a réznek nagyon jó a hővezető képessége, és nagy a hőkapacitása, így a fejben tárolt hőmennyiséggel a forrasztóanyag megolvasztható. Az ilyen rendszerű forrasztópákákat kisméretű kályhákban szokás felmelegíteni. A kályha bármilyen fűtésű lehet. Az ilyen módon felmelegített pákának az a nagy hátránya, hogy munka közben lehül, így bizonyos idő elteltével újra kell melegíteni. A folyamatos munkához ezért a villamos forrasztópákát szokás alkalmazni. Ennél a pákánál a fejben elhelyezett ellenállásfűtéssel történik a fej melegítése.

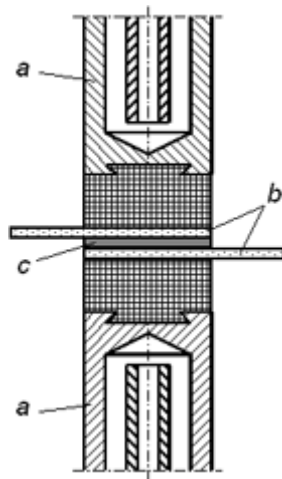


2.62. ábra

A pákával való forrasztást csak a kis olvadáspontú lágyforrasztóhoz lehet alkalmazni. Kisebb tárgyak tömeges forrasztására a kemencében való forrasztást alkalmazzák. Ez az eljárás egyaránt használható lágy- és kemény forrasztáshoz. A forrasztandó tárgyakat a kívánt felületen bevonják a forrasztóanyaggal (például folyékony forrasztóanyagba való bemártással), a felületeket összeillesztik és összeszorítják. Az így előkészített munkadarabokat áthúzó kemence szállítószalagjára helyezik. A kemence első részén a kívánt értékre beállított hőmérséklet hatására a forrasztóanyag megömlik, a kemence másik részében a munkadarabok lehűlnek, így a szállítószalag végéről a kész darabok levehetőek.

Hőforrásként a nagyfrekvenciás indukciós melegítés is alkalmazható. Ennél a módszernél vagy szállítószalag viszi át a darabokat az induktortekercsek között, vagy egy megfelelően szigetelt fogóval az induktortekercset a forrasztandó hely fölé helyezik.





2.63. ábra

A sorozatgyártásban előnyösen használható a villamos ellenállásfűtés. Az eljárás elvi alapjait a 2.63. ábra szemlélteti. A rendszerint vörösréz-ből készült, vízzel hűtött elektródok (a) közé fogják a forrasztandó tárgyat (b). A forrasztandó felületek között helyezkedik el a forrasztóanyag (c). Az elektródokat összeszorítják, majd bekapcsolják az áramot. A legnagyobb ellenállás az összeillesztett felületeknél lép fel, így a forrasztóanyag a *Joule*-hő hatására megolvad. Ezt az eljárást használják rendszerint a forgácsoló szerszámok gyorsacél vagy keményfémlapkáinak a felforrasztásához.

A keményforrasztáshoz a hegesztőpisztolyhoz hasonló égőket szokás használni. A kétféle égő között csupán az a különbség, hogy a forrasztáshoz nem szükséges olyan nagy hőmérséklet, mint a hegesztéshez, ezért a forrasztópisztolyokhoz égőgázként megfelel a világítógáz is.

### 2.4.3. Folyasztószer

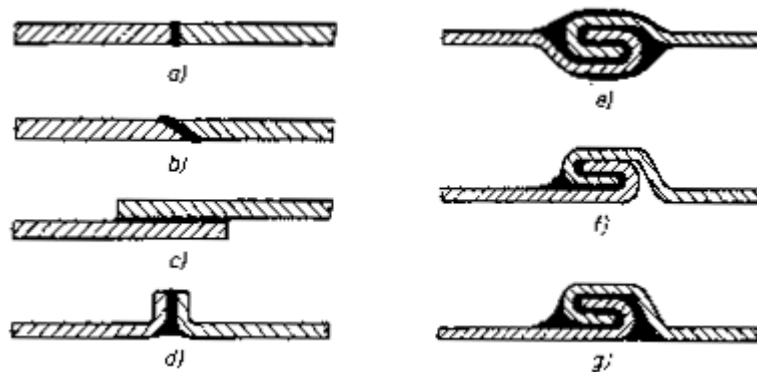
Forrasztáskor a folyasztószer feladata kettős. Egyrészt megtisztítják a felületet a szennyezőktől, másrészt megvédik a forrasztás helyét a további oxidációtól. Ebből következik, hogy a folyasztószer a forrasztás hőmérsékletén lehetőleg folyékony legyenek, továbbá jól nedvesítsék a forrasztandó felületet.

A folyasztószer kiválasztásakor lényeges szempont, hogy lágy- vagy keményforrasztáshoz kell-e őket alkalmazni. A folyasztószerrel szemben támasztott követelmények közül az a legfontosabb, hogy kisebb olvadáspontúak legyenek, mint a forrasztóanyagok. Az oldásra kerülő fémoxidok olvadáspontja rendszerint jóval nagyobb, mint a lágyforrasztók olvadáspontja. A legtöbb fém kloridja viszont kis olvadáspontú, ezért a legtöbb folyasztószer kloridvegyület, amelyek a fémoxidokat fémkloridokká alakítják át. Ezek már elég kis olvadáspontúak ahhoz, hogy a lágyforrasztás hőmérsékletén híg folyósak legyenek.

Lágyforrasztáshoz a gyakorlatban legjobban bevált folyasztószer a cinkklorid és az ammóniumklorid elegye, amelynek keverési arányát az szabja meg, hogy milyen hőmérsékleten kell a folyasztószernek megolvadnia.

#### 2.4.4. Forrasztott kötések

A forrasztott kötések elkészítésekor is érvényes az a szabály, hogy minél egyszerűbb a kötés, annál megbízhatóbb. A különféle forrasztott kötések vázlatát a 2.64. ábra szemlélteti. A forrasztott kötéseket legcélszerűbb tompaillesztéssel készíteni (a) és b) ábra). A c) ábra átlapolt kötést, a d) ábra pedig peremezett kötést mutat. Főleg vékony lemezek forrasztásakor szokás olyan kötést alkalmazni, amely megnagyobbítja az érintkező területeket, és már önmagában, forrasztás nélkül is egy bizonyos fokú szilárdságot biztosít (e), f), g) ).



2.64. ábra

A forrasztott kötések szilárdságát magából a forrasztóanyag szilárdságából nem lehet megítélni. A forrasztóanyagokat ugyanis általában húzott vagy hengerelt minőségben használják. Az ilyen anyagok szilárdsága és nyúlása nem hasonlítható össze a forrasztás helyén keletkezett öntött állapotú anyag szilárdságával és nyúlásával. Ezenkívül a forrasztás szilárdsága nagymértékben függ a forrasztóanyag mennyiségétől is. Mindezek figyelembevételével forrasztott kötéseket ritkán alkalmaznak szilárdsági igénybevételnek kitett helyeken. A szilárdságnál általában fontosabb a kötés villamos vezetőképessége vagy korrózióállósága. Ha valamilyen ok miatt mégis szilárdsági igénybevételnek kitett helyen kell forrasztani, feltétlenül keményforrasztást kell alkalmazni.

---

A jegyzet elejére

Az oldal elejére

---