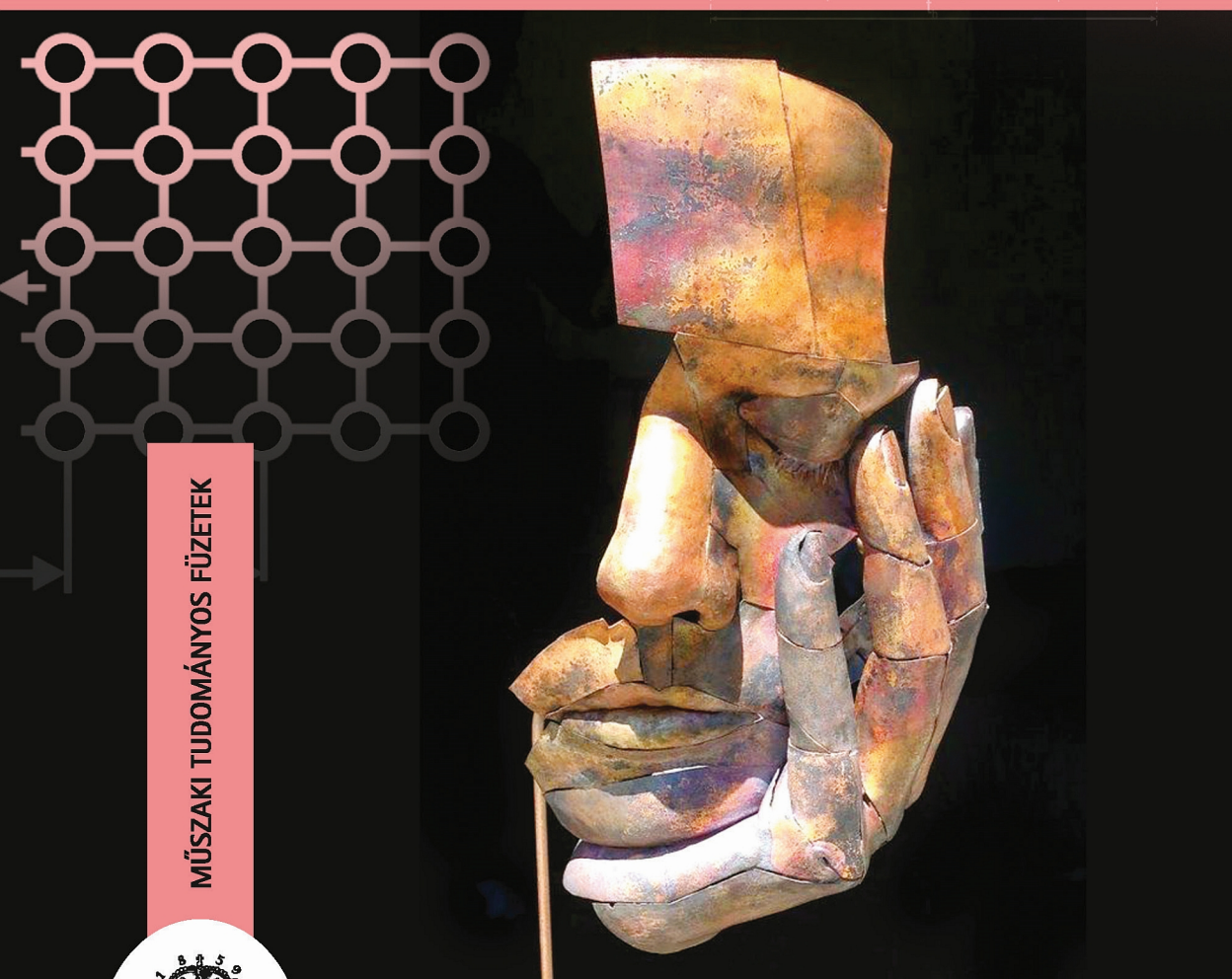
BITAY ENIKŐ

HEGESZTÉSI ALAPISMERETEK



MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK

ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

BITAY ENIKŐ

HEGESZTÉSI ALAPISMERETEK

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK

16.

ISSN 2068 – 3081

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK
16.

BITAY ENIKŐ

HEGESZTÉSI ALAPISMERETEK

ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2021

A kutatást támogatta az MTA DOMUS-program
A kötet megjelenését támogatta a Magyar Tudományos Akadémia,
a Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt., az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya

© Bitay Enikő, EME 2021

Szaklektorok**:**
Bagyinszki Gyula gépészmérnök, hegesztő szakmérnök, CSc, PhD, egyetemi docens, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet
Dobránszky János, gépészmérnök, hegesztő szakmérnök, PhD, DSc., tudományos tanácsadó, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat, MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport; BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Kiadó: Erdélyi Múzeum-Egyesület
Felelős kiadó: Biró Annamária
Sorozatszerkesztő: Bitay Enikő
Olvasószerkesztő: András Zselyke
Borítóterv: Könczey Elemér
Műszaki szerkesztő: Szilágyi Júlia

A borítón Matteo Baroni képzőművész alkotása

Nyomdai munkálatok:
F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós
Ügyvezető igazgató: Ambrus Enikő
Tel./Fax: +40-266-364171

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
BITAY, ENIKŐ
Hegesztési alapismeretek / Bitay Enikő. - Cluj-Napoca : Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2021
Conţine bibliografie
Index
ISBN 978-606-739-206-7

62

DOI: 10.36242/mtf-16

TARTALOM

ELŐSZÓ 7

BEVEZETÉS 9

1. A HEGESZTETT ÉS A FORRASZTOTT KÖTÉS 11
   1.1. A hegesztett kötés fogalma 12
   1.2. A hegesztés fogalma 12
   1.3. A hegesztett kötés fő részei 12
   1.4. A sajtolóhegesztési eljárások 14
   1.5. Az ömlesztőhegesztési eljárások 14
   1.6. A forrasztási eljárások 15

2. A FONTOSABB SAJTOLÓHEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK 17
   2.1. Az ellenállás-hegesztési eljárások 19
   2.2. Az ellenállás-ponthegesztés 19
   2.3. Az ellenállás-vonalhegesztés 22
   2.4. Az ellenállás-dudorhegesztés 24
   2.5. Az ellenállás-csaphegesztés 27
   2.6. Az ellenállás-tompahegesztések 28
   2.7. Az ívhúzásos csaphegesztések 30
   2.8. Az ultrahangos hegesztés 33
   2.9. A dörzshegesztés 37
   2.10. A kavaró dörzshegesztés 38
   2.11. A robbantásos hegesztés 40
   2.12. A mágneses impulzusos hegesztés 42

3. AZ ÖMLESZTŐHEGESZTÉSEK 44
   3.1. A villamos ívhegesztések 45
   3.2. A kézi ívhegesztés 46
   3.3. Az önvédő, porbeles, huzalelektródás ívhegesztés 47
   3.4. A fedett ívű hegesztés 48
   3.5. A huzalelektródás, védőgázos ívhegesztés 50
   3.6. A volfrámelektródás, védőgázos ívhegesztés 51
   3.7. A plazmaívhegesztés 53

3.8. A lánghegesztés 54
3.9. Az elektronsugaras hegesztés 56
3.10. A lézersugaras hegesztés 58
3.11. A termithegesztés 62

4. A HEGESZTŐANYAGOK FONTOSABB JELLEMZŐI 64
4.1. A bevont elektródák 64
4.1.1. A bevonatos elektródák alaptulajdonságai 65
4.1.2. A bevonatos elektródák fajtái és fő jellemzői 67
4.2. A hegesztési védőgázok 68
4.3. A lánghegesztés gázai 70

5. A FORRASZTÁS ALAPJAI 72
5.1. A lágyforrasztás 73
5.2. A keményforrasztás 76

6. A HEGESZTŐFORRASZTÁS 79
6.1. A láng-hegesztőforrasztás 79
6.2. Az ív-hegesztőforrasztás 80

7. RAGASZTÁS 82

8. A TERMIKUS VÁGÁS ALAPISMERETEI 87
8.1. A lángvágás 87
8.2. A plazmavágás 90
8.3. A lézersugaras vágás 91

9. FONTOS ÁLLOMÁSOK A HEGESZTÉS TÖRTÉNETÉBEN 94
Néhány jelentős esemény a hegesztés történetében 94
Miklósi Kornél akadémikus, gépészmérnök, a „sínhegesztés atyja” 96

10. A HEGESZTÉS MŰVÉSZETE 101
A hegesztés mint a művészek eszköze 101
Matteo Baroni művészete 103

MELLÉKLET: A könyvben szereplő hegesztési és rokon eljárások elnevezése magyar, angol és román nyelven 108

SZAKIRODALOM 113

BASICS OF WELDING (Summary) 115
Contents 117

GRUNDLAGEN DES SCHWEIßENS (Zusammenfassung) 119
Inhalt 121

BAZELE SUDĂRII (Rezumat) 123
Cuprins 125

Előszó

A vas feldolgozásának kezdetével („vaskorszak") szinte együtt született gyártási módszer a kovácshegesztés, amely a XIX. század közepéig egyeduralkodó kötéstechnikai eljárásnak számított a fémes anyagok szét nem szerelhető kötései terén. Az anyagtechnológiák, köztük a hegesztés gyors, látványos fejlődése a 19–20. század időszakára esik, aminek magyarázata a villamosság és eszközeinek felfedezésében és nagyarányú térhódításában keresendő.

1827-ben Georg Simon Ohm felismerte a villamosság áramlását, az áramerősség és a feszültség közötti kapcsolatot, illetve definiálta a villamos ellenállás fogalmát. A villamos áram hatására létrejövő hőfejlődés törvényét 1841-ben James Prescott Joule fogalmazta meg. Werner Siemens – André Marie Ampère nyomdokán – 1866-ban felfedezte az elektrodinamikai elvet, és a magyar Jedlik Ányos után másodikként a dinamógépet. 1885-ben szabadalmaztatta Déri Miksa, Bláthy Ottó Titusz és Zipernowsky Károly az első, energiaátvitelre alkalmas, zárt vasmagú transzformátort. Mindezen előzmények után lehetővé vált tetszőleges feszültségű és erősségű villamos áram előállítása.

Az ellenállásfűtésnek különleges módját fedezte fel 1866-ban Elihu Thomson, aki két fémrudat erősen összeszorított, és igen nagy áramot vezetett át rajtuk. A viszonylag nagy villamos ellenállású érintkezési felület ekkor olyan mértékben felmelegedett, hogy a két fémdarab összehegedt. Így született meg az azóta sokféle változatban alkalmazott ellenállás-hegesztés.

Humphry Davy 1820-ban felfedezte a villamos ívet, de az első ívhegesztési eljárás (1885) az orosz Nyikolaj Nyikolajevics Benardosz és anyagi támogatója, Staniszlav Olsevszkij báró nevéhez fűződik. Szénelektródák és két érintkező fémdarab között villamos ívet hoztak létre, hogy az így képződő olvadék megdermedve a fémdarabokat összekösse. Az ugyancsak orosz Nyikolaj Gavrilovics Szlavjanovtól származik a ma is használatos leolvadó fémelektródás ívhegesztési eljárás kifejlesztése (1891), melyhez a svéd Oscar Kjellberg 1905-ben szabadalmaztatta a bevonatos hegesztőelektródát.

Talán ez a kis technikatörténeti visszapillantás is jelzi, milyen fontossá vált a hegesztési eljárások fejlesztése és alkalmazása az ipar széles területén. Az igen nagy számú eljárásváltozat megjelenése, a hozzájuk kifejlesztett hegesztőanyagok széles köre, a gépesítésük lehetősége olyan hegesztéstechnikai bázist jelent, amelyre egyaránt építhet a géptervező, a gyártás- és az anyagtechnológus, sőt, akár a menedzser is.

A hegesztés az iparban a fémes anyagok legfontosabb kötési technológiája, amit jól kifejez az igen nagy számú eljárásváltozat megjelenése, a hozzájuk kifejlesztett hegesztőanyagok széles köre és a gépesítés, automatizálás sokféle lehetősége.

A kötet alapját képezi a Bagyinszki Gyulával közösen írt *Hegesztéstechnika* kötet, valamint a hármas szerzőségben Dobránszky Jánossal együtt összeállított *A hegesztés, a forrasztás és a termikus vágás fémtechnológiai alapismeretei* című jegyzet. Ezúttal köszönöm meg az alapos lektori munkájukat, s az együttműködési lehetőséget, a tőlük származó szakmai tudást, valamint az intézményükben a közös kutatások élményét. A kötet által a többéves szakmai tudáshalmaz rögződik, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem mérnökhallgatóihoz, illetve végzett (gépész)mérnökeihez is ily módon eljut, hasznosul, továbbadódik.

Ez a könyv a hegesztés és rokon eljárások – forrasztás, hegesztőforrasztás, ragasztás, termikus vágás – alapismereteit mutatja be, azzal a céllal, hogy kedvet teremtsen az abban való alaposabb elmélyüléshez. Az anyagtechnológiai mérnök szakterületéhez nyújt alapvető ismereteket, elméleti és gyakorlati példákkal, rajzokkal, illetve fotókkal kiegészítve, amelyek szemléletesebbé, érthetőbbé és talán vonzóbbá teszik a gépészmérnöki pálya egyik legizgalmasabb szakirányát.

A szerző

Bevezetés

A tantárgy elnevezése szinte kötelez arra, hogy tisztázzuk, mit is jelent ez a gyakorta használt kifejezés: technológia? Ekképpen fogalmazta meg a választ Rejtő Sándor, a Budapesti Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék professzora, 1915-ben:

„A technológia, vagyis az ipari munka tudománya, felöleli azoknak az elveknek, eljárásoknak, eszközöknek és gépeknek az ismertetését, amelyek segítségével a nyersanyagból használati cikkek készülnek, de ide tartozik a gyárak tervezése és a cikkek költségeinek kiszámítása is. Azok az átalakítások, amelyeken a nyersanyag a feldolgozás folyamán keresztülmegy, lehetnek kémiai vagy mechanikai természetűek, és eszerint a technológiát kémiai és mechanikai technológiára, vagyis a vegyi iparok és a műves iparok tudományára osztjuk; éles határt vonni a kettő között nem lehet.

A technológia gyakorlati alkalmazását tekintve, a munkának kereseti forrásként való felhasználása az ipar. Minthogy a művelt nemzetek sok ipari cikket fogyasztanak, s az ipar a nemzeti vagyon szaporításának hatályos eszköze, minden művelt nemzet egyik fő törekvése, hogy tekintélyes iparra tegyen szert."

Az itt, a technológia fogalmának Rejtő professzor általi meghatározásában emlegetett ipari termelés sokrétű rendszerét nem illik túlságosan leegyszerűsíteni, de a műfajból adódóan mégis ezt kell tennünk. Ezt is csak azért tesszük, hogy a tantárgy ismeretanyagában bemutatott szerkezeti anyagok felhasználását nagyban befolyásoló gyártási eljárások rendszerét egészében is felvillantsuk, és ezek közül néhányat röviden áttekintsünk. Az ipari cikkek gyártásának eljárásai lényegi jellemzőik szerint alakadási eljáráscsaládokba és eljárásosztályokba sorolhatók az alábbiak szerint:

Elsődleges alakadási eljárások családja:

- öntési eljárások,
- fröccsöntési eljárások,
- porformázási eljárások,
- képlékenyalakítási eljárások,
- kompozit-előállítási eljárások,

– különleges eljárások (a prototípusgyártás különféle változatai, pl. a 3D-nyomtatás, additív gyártás).

Másodlagos, alakmódosító eljárások családja:

– forgácsolási eljárások.

Kötési eljárások családja:

– kötőelemes kötési eljárások,
– ragasztási eljárások,
– forrasztási eljárások,
– hegesztési eljárások
– termikus szórási eljárások (a felszórt anyagot hegesztett vagy forrasztott kötés köti a hordozóhoz!).

Tulajdonságmódosító utólagos kezelések családja:

– hőkezelési eljárások,
– mechanikai felületkezelések (pl. polírozás),
– festési eljárások,
– elektrokémiai felületkezelések (galvanizálás).

1. A HEGESZTETT ÉS A FORRASZTOTT KÖTÉS

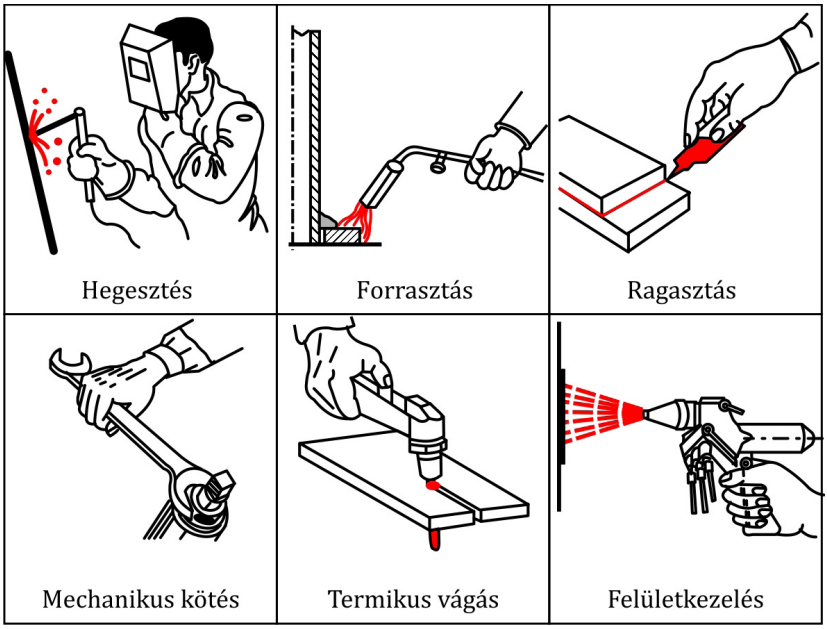
A gyártási folyamatokban az alkatrészek egymással való összekötésére különféle kötési eljárásokat lehet alkalmazni. Különféle szempontok alapján vizsgálva ezek lehetnek állandó vagy ideiglenes kötések, illetve oldható (szétszerelhető) vagy oldhatatlan kötések; az **1. ábra** mutat egy egyszerű felosztást.

Az oldhatatlan kötéseket nem lehet szétszerelni az alkatrészek vagy a kötést biztosító anyagrész roncsolása nélkül; pl. egy szegecselt kötést csak a szegecs kifúrásával lehet oldani, egy forrasztott kötést pedig csak szétvágással vagy felolvasztással lehet oldani. A két alkatrész közötti kötést létrehozhatja: összeszorító erő, alakos test (kötőelem) és végül kötőanyag; vagyis a kötés lehet erővel, alakkal vagy anyaggal záró, illetve ezek kombinációja.

Az oldható kötések közül a legismertebbek a csavar-, a csapos és a reteszkötések, de jól ismert pl. a szorítópántos (bilincses) kötés. Az oldhatatlan kötések között gyakran alkalmazzák a szegecselt, a ragasztott, a forrasztott és a hegesztett kötéseket. Mindezen kötéstípusok közül csak a forrasztott és a hegesztett kötések készítésére szolgáló legfontosabb technológiákat tekintjük át, a termikus vágások alapjaival együtt.

A hegesztés kötéstechnológiai jelentősége miatt a forrasztást, a ragasztást, a fémszórást és a termikus vágást gyakran nevezik gyűjtőfogalommal a hegesztés rokon eljárásainak (a **2. ábra** vázolja ezeket).

1. ábra. *A kötéstípusok egyszerű felosztása*



2. ábra. *A hegesztés és rokon technológiái*

1.1. A hegesztett kötés fogalma

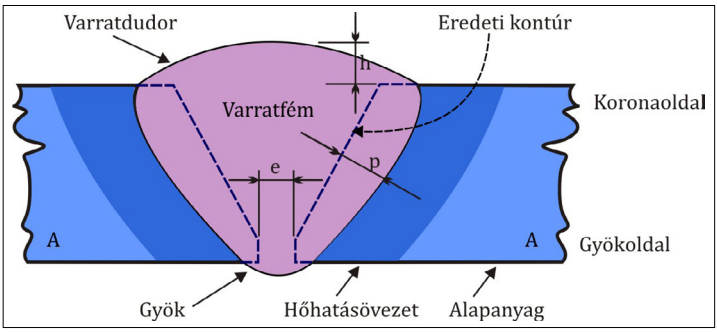
A hegesztett kötés két vagy több munkadarab között létesített állandó, oldhatatlan és folytonos kohéziós kapcsolat. A hegesztés ekkor – tehát több alkatrész egyesítésekor – kötőhegesztés. Hegesztett kötésnek tekintjük a munkadarab felületére kohéziós kötéssel kapcsolódó felületi réteggel alkotott kötést is; az ilyen kötés felrakóhegesztéssel vagy javítóhegesztéssel jöhet létre. A hegesztett kötésben eltűnnek a munkadarabok vagy a felület eredeti kontúrjai.

1.2. A hegesztés fogalma

A hegesztés tehát az anyagok közötti hegesztett kötések létesítésére szolgáló kötési eljárás. Tágabb értelemben: „felépítő” jellegű alakadási eljárás az alkatrészek közötti hegesztett kötések létrehozásával.

1.3. A hegesztett kötés fő részei

A hegesztett kötés létrehozására irányuló eljárások működésmódjának könnyű áttekinthetősége érdekében néhány további fogalmat meg kell határozni; a hegesztett kötés fő részeit az ömlesztőhegesztés példája kapcsán a **3. ábra** szemlélteti.

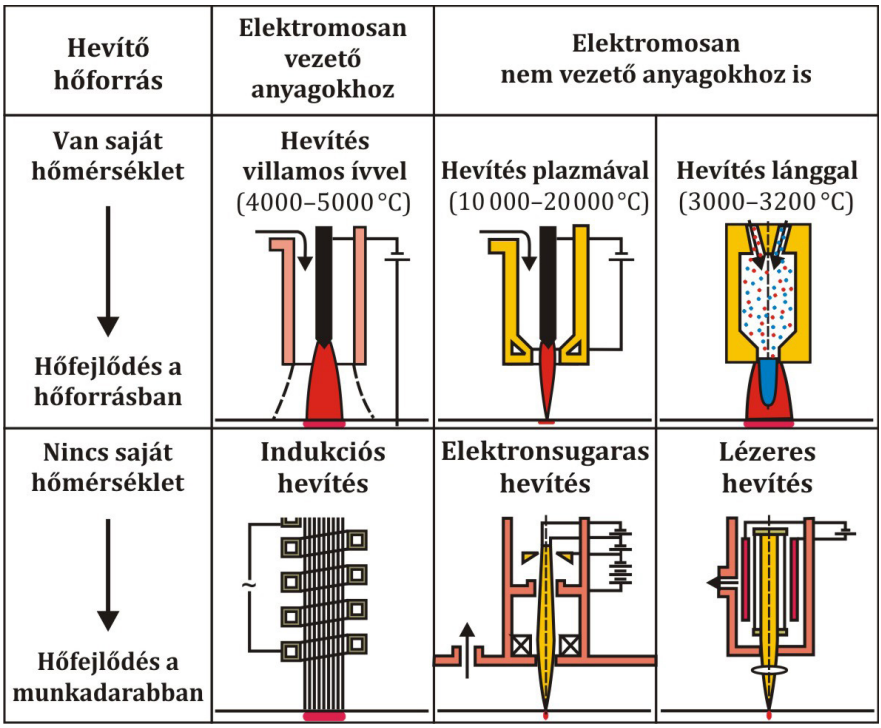


3. ábra. *A hegesztett kötés részei;*
szorosan vett értelemben a kötés részei a varratfém és a hőhatásövezet

– Varrat: a kötésnek az alapanyaghoz sem és a hőhatásövezethez sem tartozó, a kötés kohézióját biztosító része. Fémes anyagoknál a neve: varratfém. Az alapanyag egy részének megolvasztásakor az olvadékból megszilárdult anyagmennyiség alkotja.
– Hőhatásövezet: az eredeti alapanyagnak az a meg nem olvadt része, amelyben a hőfolyamat hatására a mikroszerkezeti átalakulások játszódnak le. Az allotrop átalakulást mutató anyagokban a hőhatásövezet több zónára tagolható a hőfolyamat okozta mikroszerkezeti változási sajátosságok alapján.

A hegesztett kötés feltételeként szabott, az atomok között létesülő kohéziós kapcsolatot mindenkor valamely külső forrás energiája „kényszeríti rá" az összekapcsolódó anyagokra. Ebből a célból felhasználható pl. valamilyen mechanikai energia vagy más energiaforrás. Ezek egy részének (**4. ábra**) van saját hőmérséklete, azaz a bennük fejlődő hőt kell átadni a megmunkálandó anyagnak. Idetartozik a láng, a villamos ív és a plazmaív. A hevítő energiaforrások más fajtáinak nincs saját hőmérsékletük, hanem a felmelegedést a megmunkálandó anyagban idézik elő, amikor kölcsönhatásba kerülnek vele; ilyen lehet az induktor, az elektronsugár, a lézersugár vagy a munkadarabon átfolyó villamos áram keltette Joule-hő. Míg a villamos árammal való hevítés és az indukciós hevítés csak villamosan vezető anyagokhoz alkalmazható, addig a többi hőforrás villamosan nem vezető anyagokhoz is.

A szilárd testek az egymással illeszkedő felületük mentén fellépő erők hatására köthetők össze. Külső erőnek az anyagok darabjait összefogó, összeszorító fizikai – elsősorban mechanikai – hatásokat tekintjük, amelyek meghatározzák a kölcsönös helyzetet is. Belső erők az anyagok atomjai, ionjai, molekulái között ható erők, kémiai kölcsönhatások, amelyek összetartják az atomokat. Külső erő



4. ábra. *A hegesztési és forrasztási eljárások néhány jellegzetes hőforrásának vázlata*

kapcsolja össze a kötőelemes mechanikai kötéseket, míg az összekötendő alkatrészek külső erők által okozott képlékeny alakváltozása a hegesztési eljárások egy nagy csoportjának alapvető jellemzője.

1.4. A sajtolóhegesztési eljárások

A sajtolóhegesztés olyan hegesztési eljárások gyűjtő elnevezése, amelynek során megfelelő mértékű külső erőhatást alkalmaznak annak érdekében, hogy az mindkét érintkező felületen képlékeny alakváltozást okozzon, általában hegesztőanyag hozzáadása nélkül. Az illeszkedő felületeket hevíteni is lehet a kötéskialakítás megkönnyítése érdekében.

1.5. Az ömlesztőhegesztési eljárások

A kifejezés olyan hegesztési eljárások gyűjtő elnevezése, amelyek közös jellemzője, hogy külső erőhatás nélküli, hegesztőanyaggal vagy anélkül végzett, helyi megömléssel járó hegesztési folyamatok, amelyeknek során a beolvadási felületnek meg kell olvadni.

1.6. A forrasztási eljárások

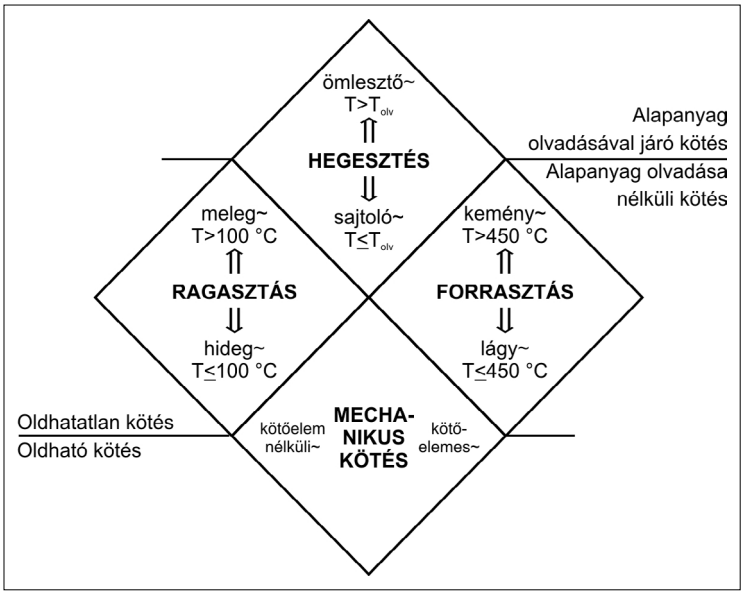
A forrasztásnál sem az alapanyag megolvadása, sem pedig képlékeny alakváltozást okozó külső erőhatás nem játszik szerepet a kötés kialakulásában, hanem az egyesítendő szilárd anyagok és a kötést biztosító forraszanyag közötti kölcsönös diffúzió révén alakul ki a kapcsolat, melynek feltétele, hogy az alapanyagok és a forrasz szilárd állapotban oldják egymást. A forrasztás tehát olyan kötéslétesítő eljárás, amelyben a megolvadt forraszanyag nedvesíti és beteríti az összekötendő felületeket, majd a megszilárdulása után erős adhéziós és/vagy diffúziós kötést képez. Amikor a forraszanyag olvadáspontja nagyobb, mint 450 °C, az eljárást keményforrasztásnak nevezzük, egyébként pedig lágyforrasztásnak.

1. táblázat. *Néhány hevítési mód és alkalmazása a hegesztés és rokon eljárásai céljára*

Hevítés	Kötési eljárás	Vágási eljárás	Felületkezelési eljárás
Láng	Lángforrasztás, lánghegesztés	Lángvágás	Lángedzés, lángszórás
Villamos ív	Ívhegesztés	Ívvágás	Ívszórás
Indukált tér	Indukciós hegesztés, forrasztás	–	Indukciós edzés
Plazma	Plazmaívhegesztés	Plazmavágás	Plazmaszórás
Elektronsugár	Elektronsugaras hegesztés	Elektronsugaras vágás	Elektronsugaras átolvasztás, felületötvözés
Lézersugár	Lézersugaras hegesztés	Lézeres vágás	Lézeres szórás

A hegesztés az oldhatatlan kötésmódok közé tartozik a forrasztással, a ragasztással és a mechanikus kötési eljárások egy részével együtt, ugyanis a kötés, illetve azt alkotó anyagok deformálása, roncsolása nélkül nem választhatók szét egymástól az összekötött darabok. Az oldható kötések (pl. csavarkötés, zsugorkötés) a kötőelem, illetve az egyesített anyagok roncsolása nélkül szétbonthatók, és azokkal újra (legalább még egyszer) létrehozhatók.

A forrasztás és a hegesztés esetében a kötésben kialakuló hőmérséklet meghatározó jelentőségű: adott egy hőmérséklethatár, amely elkülöníti az eljáráscsoportokat (**5. ábra**). Ez a határ hegesztéskor az alapanyag olvadáspontjához köthető: az alapanyag – és adott esetben a hegesztőanyag – megolvadásával járó ömlesztőhegesztés és az alapanyag olvadása nélküli – vagy erősen korlátozott térfogatra kiterjedő olvadással járó – sajtolóhegesztés különböztethető meg.



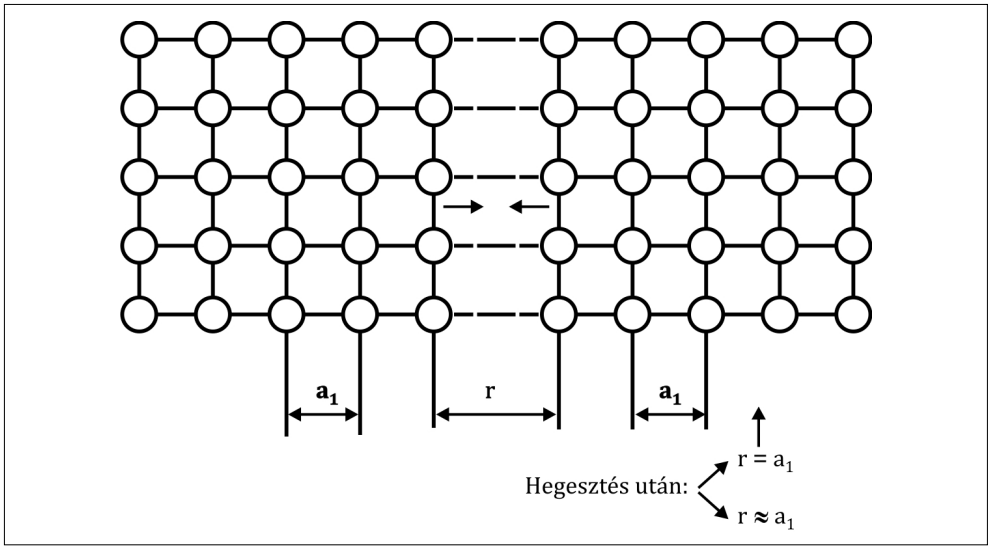
5. ábra. *A kötési eljárások felosztása*

Forrasztáskor a forraszanyagnak mindenképpen olvadék állapotba kell kerülnie, ezért két, jól elkülönülő olvadáspontú forraszanyagcsoportot választ szét a 450 °C-os hőmérsékletérték. Az ennél kisebb olvadáspontú forraszokkal végezhető a lágyforrasztás, míg a nagyobb olvadáspontúakkal a keményforrasztás.

2. A FONTOSABB SAJTOLÓHEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK

A sajtolóhegesztési eljárásokban az összekötendő felületekre ható nyomóerő teremti meg a kohéziós kötés létrejöttének feltételeit: az érintkezési felületekről a szennyeződések eltávolítását, a felületközeli réteg képlékeny alakváltozását és az atomok rácsparaméternyi távolságra közelítését (**6. ábra**). Gyakran felületi olvadás is bekövetkezik; az olvadék általában nem vesz részt a kötésképződésben, hanem a sorjába távozik, magával sodorva a felületi szennyeződéseket.

A hevítés hatására felgyorsuló diffúziós folyamatban szintén keletkeznek aktivált kristályrácspontok a felületeken is. Az összehegesztendő anyagok felülete rendszerint nem tökéletesen tiszta és sík, ezért a felületi szennyeződések eltávolításáról és a tényleges érintkezési felület lehető legnagyobbra (teljes keresztmetszetre) növeléséről gondoskodni kell. Ehhez is kellően nagy képlékeny alakváltozás, illetve megfelelő hőmérséklet szükséges.

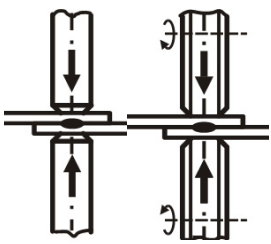


6. ábra. *A sajtolóhegesztett kötés kristályszerkezeti szinten való kialakulásának vázlata*

A sajtolóhegesztési eljárásokban az összehegesztendő munkadarabok kölcsönös helyzete és a képződő kötés kiterjedése szerint különféle kötéstípusok különböztethetők meg; néhány példát mutat a **7. ábra**.

- **Ponthegesztés**: átlapoltan illesztett lemezek között hoz létre a hegesztőszerszám méretének megfelelő, kis kiterjedésű (pontszerű) varratot.
- **Vonalhegesztés**: átlapoltan illesztett, lemezszerű alkatrészek között jön létre a hegesztőszerszám szélességi méretéhez igazodó, pontszerű egyedi varratok rendezett sorozata, végső soron vonala.
- **Dudorhegesztés**: egymásra helyezett, kis felületen érintkező alkatrészek között jön létre kis kiterjedésű, egyedi varrat. Az érintkezési felület lehet természetes – pl. a keresztkötésben –, vagy az egyiken lehetnek mesterségesen kialakított kiemelkedések, azaz dudorok.
- **Csaphegesztés**: amely által az alakos csap palástfelületen felütköztetett homlokfelületének megfelelő – a palástfelülethez képest kicsi – kiterjedésű kötést hoznak létre
- **Tompahegesztés**: az összehegesztendő alkatrészek a homlokfelületük mentén illeszkednek. Főleg rúdszerű termékek, tengelyek, csövek hegesztésére szolgál.
- **Csővonalhegesztések**: hossztengelyük mentén nyitott, csőszerű termékek, pl. hosszvarratos csövek, zárt szelvények tompán illeszkedő élei között, azok egész hosszára kiterjedően jön létre a kötés.

A **2. táblázat**ban látható energiafajtákhoz rendelhető sajtolóhegesztési eljárások között a legnagyobb jelentőségűek a villamos ellenállás-hegesztések.

Átlapolt kötés	Keresztkötés	Tompakötés
Pont-, ill. vonalhegesztés	Dudorhegesztés	Tompahegesztés
		

7. ábra. *Sajtolóhegesztéssel létesíthető hegesztett kötések elrendezési vázlata*

2. táblázat. *Néhány sajtolóhegesztési eljárás energiaforrása*

Energia jellege	Energia forrása	Eljárás neve
Villamos áram	Villamos ív	Csaphegesztés Forgóíves sajtolóhegesztés
	Joule-hő	Ellenállás-hegesztés
		Indukciós hegesztés
Mechanikai	Képlékenyalakítás	Hidegsajtoló hegesztés
		Robbantásos hegesztés
	Súrlódás	Ultrahangos hegesztés
		Dörzshegesztés

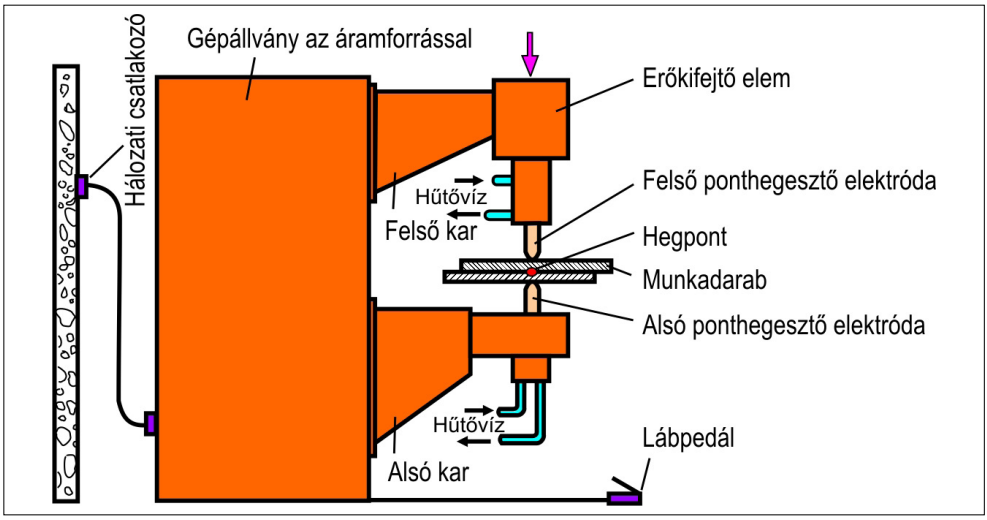
2.1. Az ellenállás-hegesztési eljárások

Az ellenállás-hegesztési eljárások közös alapelve a következő: az összehegesztendő munkadarabokat általában rézötvözetből készített és hűtött elektródákkal összenyomják (F_h), majd nagy erősségű áramot (I_h) vezetnek rajtuk keresztül. Az érintkező felületeken átmeneti ellenállás ($R_Á$) lép fel, amely az érdességi csúcsok pontszerű érintkezése okozta helyi áramsűrűség-növekedésből adódó belső ellenállás (R_B) és a felületek szennyeződéséből létrejövő felületi ellenállás (R_F) összege. Az átvezetett áram az érintkezésnél hőt fejleszt ($Q = I_h^2 \cdot R_Á \cdot t$), s a Joule-hő az anyagokat is hevíti. A nyomóerő a felületi egyenetlenségcsúcsokat ellapítja, a felületi szennyeződések alkotta hártyákat összeroncsolja. Ilyen módon a két felület bizonyos idő múltán tökéletes fémes érintkezésbe kerül, és ennek következtében megszűnik az átmeneti ellenállás.

A fejlődött hő az áramvezetési zónát ΔT hőmérséklet-különbséggel felhevítve növeli a fémes anyagok ellenállását: $R_A = R_{A0} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$. Emiatt továbbra is az áramjárta zóna ellenállása lesz a legnagyobb, vagyis itt fejlődik a legtöbb hő. A melegalakítás hőmérsékletének elérése – esetenként egy kis anyagtérfogat megolvadása – után az áramátfolyást megszüntetik, és a felületeket összeszorító erő biztosítja a képlékeny alakváltozás révén a kohéziós kötés kialakulását.

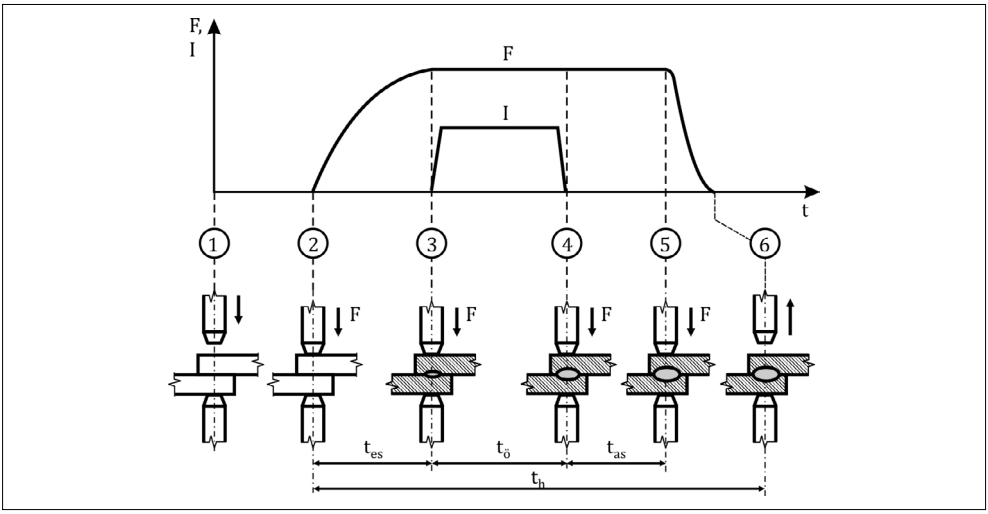
2.2. Az ellenállás-ponthegesztés

Az ellenállás-ponthegesztések közül a kétoldali ellenállás-ponthegesztés (**8. ábra**) vékony lemezek átlapolt kötéseinek hegesztésre szolgál. A lemezeket kúpos vagy félgömbvégződésű elektródákkal nyomják össze, illetve kapcsolják az áramkörbe.



8. ábra. *Kétoldali ellenállás-ponthegesztés*

A fejlődő hő az érintkező felületek között lencse alakú anyagtérfogatot olvaszt meg. Az áram kikapcsolása után a megdermedő lencse, pontszerű varratot alkotva, kohéziós kapcsolatot hoz létre a két lemez között. A nyomóerőt az áramkikapcsolás után még egy ideig fenn kell tartani, hogy a varratlencse dermedése nyomófeszültségi állapotban menjen végbe (**9. ábra**). Ezzel elkerülhető a mikroüregek, a repedések vagy más varrathibák keletkezése.



9. ábra. *A kétoldali ellenállás-ponthegesztés munkarendjének (fent) és a kötés létrejöttének (lent) vázlata*

Az áramforrás többnyire váltakozó áramú vagy pulzáló egyenáramú, az áramerősség akár 50 kA értéket is elérhet, amellyel szénacél, horganyzott acél, rozsdamentes acél 6 mm vastagságig, alumínium- és rézlemezek 2–3 mm vastagságig hegeszthetők össze. A 0,5 mm-nél vékonyabb fóliák hegesztésére általában egyenáramú berendezéseket használnak.

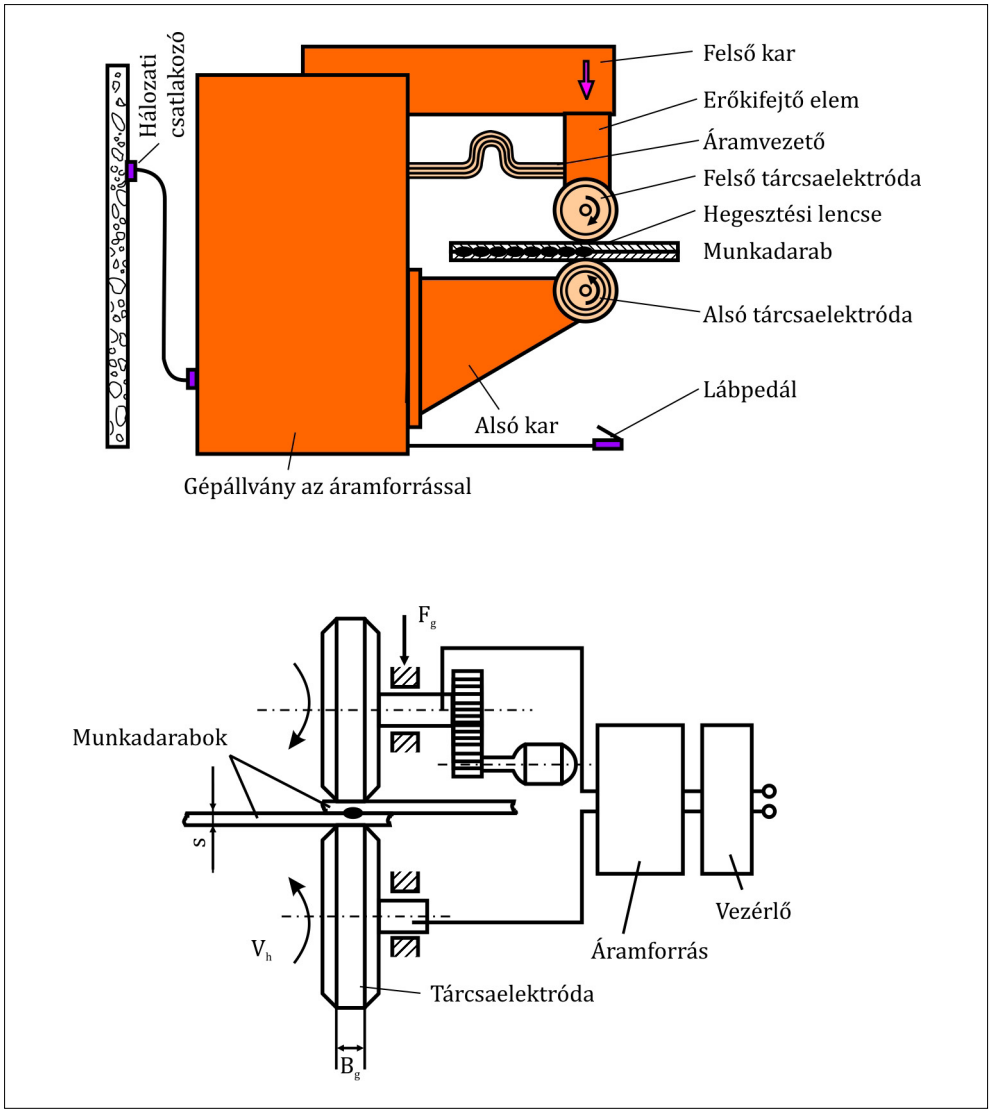
Az ellenállás-ponthegesztéshez használt elektródák anyaga leggyakrabban Cu-Cr- vagy Cu-Cr-Zr-ötvözet, amely anyagok a jó villamos vezetőképesség mellett elegendően nagy szilárdságúak is.

Alkalmazásait tekintve a ponthegesztés tehát a vékony lemezek átlapolt kötéseinek kialakítására szolgál (**10. ábra**). Minthogy teljeskörűen robotosítható, a gépkocsik alváz- és karosszériaelemeinek az összehegesztésére még ma is a legelterjedtebb eljárás.

10. ábra. *Lábpedálos kézi ponthegesztőgép (a), ponthegesztett fül búvárszivattyú-motorházfedélen (b), lemezek ellenállás-ponthegesztett átlapolt kötésének alakváltozása a nyíró-szakító vizsgálat során (c–d)*

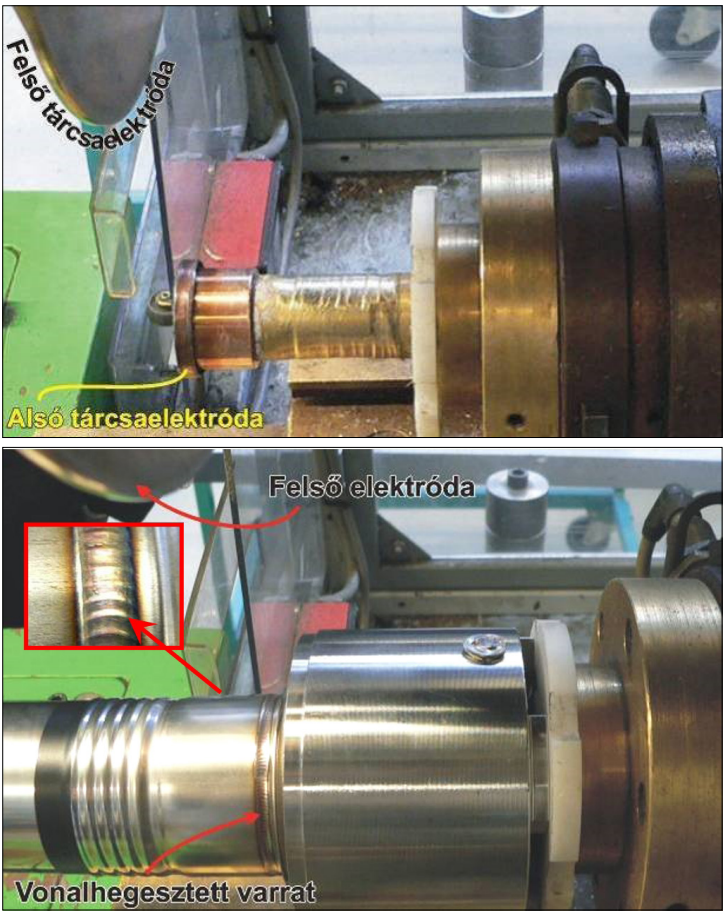
2.3. Az ellenállás-vonalhegesztés

Az ellenállás-vonalhegesztés vázlatát a **11. ábra** szemlélteti. Rézötvözetből készült, tárcsa alakú, forgó elektródapárral pontszerű varratok hegeszthetők egymás után. Jól alkalmazható vékony lemezek hosszú átlapolt kötéseinek hegesztésére vagy körvarratok hegesztésére; ez utóbbira mutat példát a **12. ábra**.

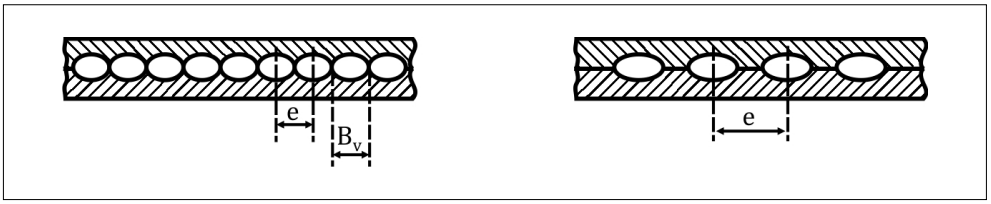


11. ábra. *Az ellenállás-vonalhegesztés alapváltozata, a felső képen oldalnézeti vázlaton, az alsó képen az átlapolásos ellenállás-vonalhegesztés a vonalvarrat hosszanti irányából nézve*

A hegesztési sebességtől és az áram bekapcsolási frekvenciájától függően egymást átfedő pontokból álló vonalvarrat vagy egyszerű pontsorvarrat készíthető (**13. ábra**).

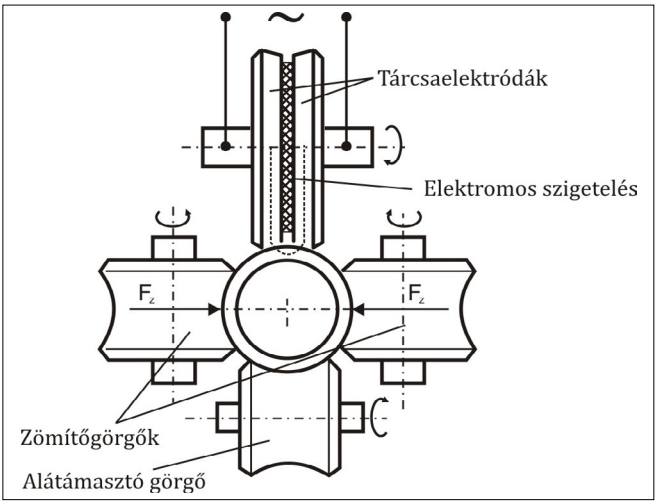


12. ábra. *Ellenállás-vonalhegesztés búvárszivattyú-alkatrészen*



13. ábra. *Ellenállás-vonalhegesztéssel készült varratok; vonalvarrat (balra), pontsorvarrat (jobbra)*

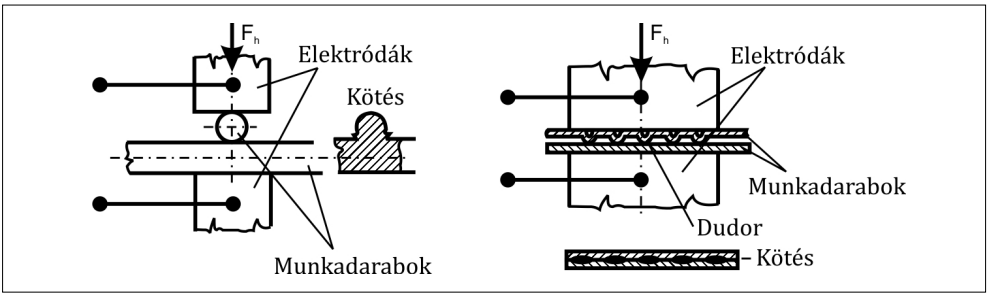
A vonalhegesztési eljárások közé tartozik a tárcsaelektródás ellenállás-csővonalhegesztés, amelynek vázlatát a **14. ábra** mutatja. Két, egymástól villamosan elszigetelt tárcsaelektródával valósul meg az áramátvezetés a nyitott szelvényű cső összenyomott homlokfelületein. A cső vagy zárt szelvény alakú profil acélszalagból alakítószerszámokkal, hajlítással jön létre. A varrat folyamatosan képződik a csőszerű termék hosszvarratainak hegesztésekor.



14. ábra. *Hosszvarratos cső hegesztése ellenállás-csővonalhegesztéssel – ennek szabványos neve: élelőkészítéses, tompavarratos ellenállás-vonalhegesztés – a cső tengelyének irányából nézve*

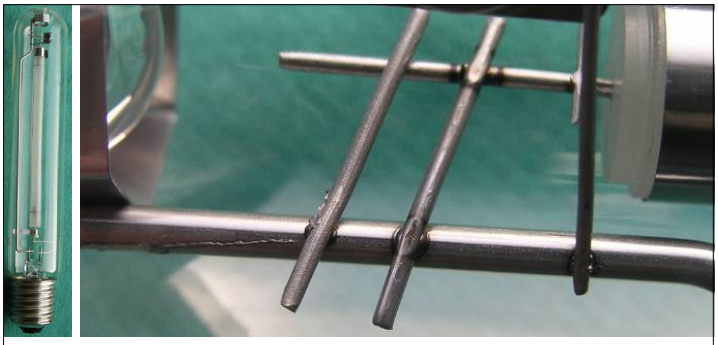
2.4. Az ellenállás-dudorhegesztés

Az ellenállás-dudorhegesztésnél – eltérően az ellenállás-ponthegesztéstől – az elektródáknak csak két feladatot kell ellátni: a nyomóerő közvetítését és az áram hozzávezetését (**15. ábra**).



15. ábra. *A természetes dudorú (balra) és mesterséges dudorú (jobbra) ellenállás-dudorhegesztés vázlata*

A harmadik feladatot – az áram koncentrálását – a munkadarabok természetes vagy mesterséges alakja (a dudor) teljesíti. A természetes dudorú ellenállás-dudorhegesztésre jellemző példa a keresztkötést alkotó huzalok összehegesztése. Alkalmazási példaként talán a legismertebb gyártmány a bevásárlókocsi, de a dudorhegesztés nagyon elterjedt hegesztési eljárás a vasbeton szerkezetek betonacélhálóinak, valamint a legkülönfélébb fényforrásoknak gyártásában (**16. ábra**).



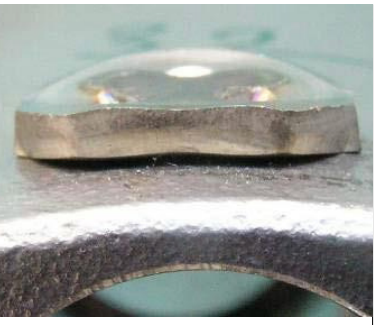
Közvilágítási és üvegházi célú nátriumgőz kisülőlámpa

Bevásárlókocsi rácsos kosarának varratai

16. ábra. *Az ellenállás-dudorhegesztés alkalmazási példái*

A mesterséges dudorú ellenállás-dudorhegesztés során az összehegesztendő alkatrészek egyikén képlékenyalakítással előzetesen létrehozott dudoroknál egy-egy pontszerű varrat képződik; példaként egy búvárszivattyú-alkatrészt mutat a **17. ábra**.

Ez a **12. ábrán** *is látható alkatrész*

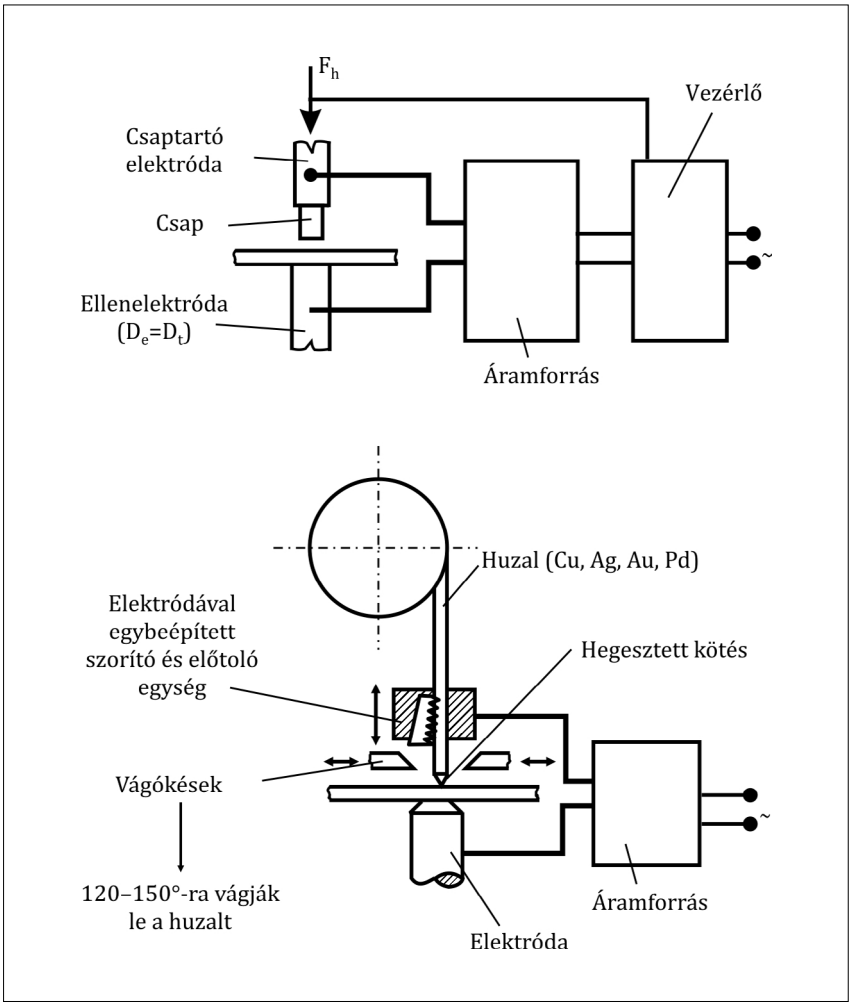


17. ábra. *Szivattyúalkatrészre hegesztett zárógomb (fent), a zárógombon kialakított mesterséges dudorok (lent)*

2.5. Ellenállás-csaphegesztés

Az ellenállás-csaphegesztés (**18/a. ábra**) egy olyan különleges hegesztés, melynél az áramkoncentrálást a felhegesztendő csap megfelelően kiképzett homlokfelülete eredményezi. A nyomóerő közvetítését és az áram hozzávezetését a csaptartó, illetve az ellenelektróda teszi lehetővé. A dinamikus igénybevételre szánt csapokat előzetesen kimunkált furatokba hegesztik.

Tekercselt huzalból előtolóegység segítségével termelékenyen lehet kontaktusokat felhegeszteni különböző anyagminőségű alaplemezekre az ellenállás-huzalhegesztéssel (**18/b. ábra**).



18. ábra. *Ellenállás-csaphegesztés eljárásváltozatai*

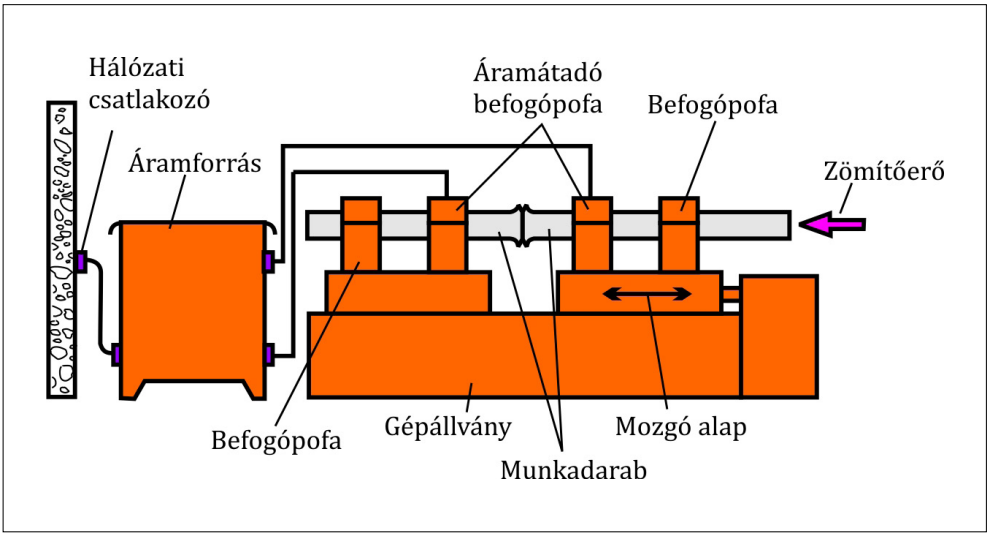
2.6. Az ellenállás-tompahegesztések

A zömítő ellenállás-tompahegesztés vázlatát a **19. ábra** mutatja. A rúd- vagy csőszerű alkatrészek érintkezésbe kerülő homlokfelületük mentén az átfolyó áram keltette Joule-hő hatására felmelegednek, majd a tengelyirányú erőhatással a berendezés összezömíti az alkatrészeket. A felületeken meglévő vagy a hevítés során keletkező szennyeződések, oxidok kinyomódnak a sorjába; ennek érdekében kellően nagy mértékű képlékeny alakváltozásra van szükség. A felületi szennyeződések sorjába nyomása csak kisebb keresztmetszeteknél lehetséges.

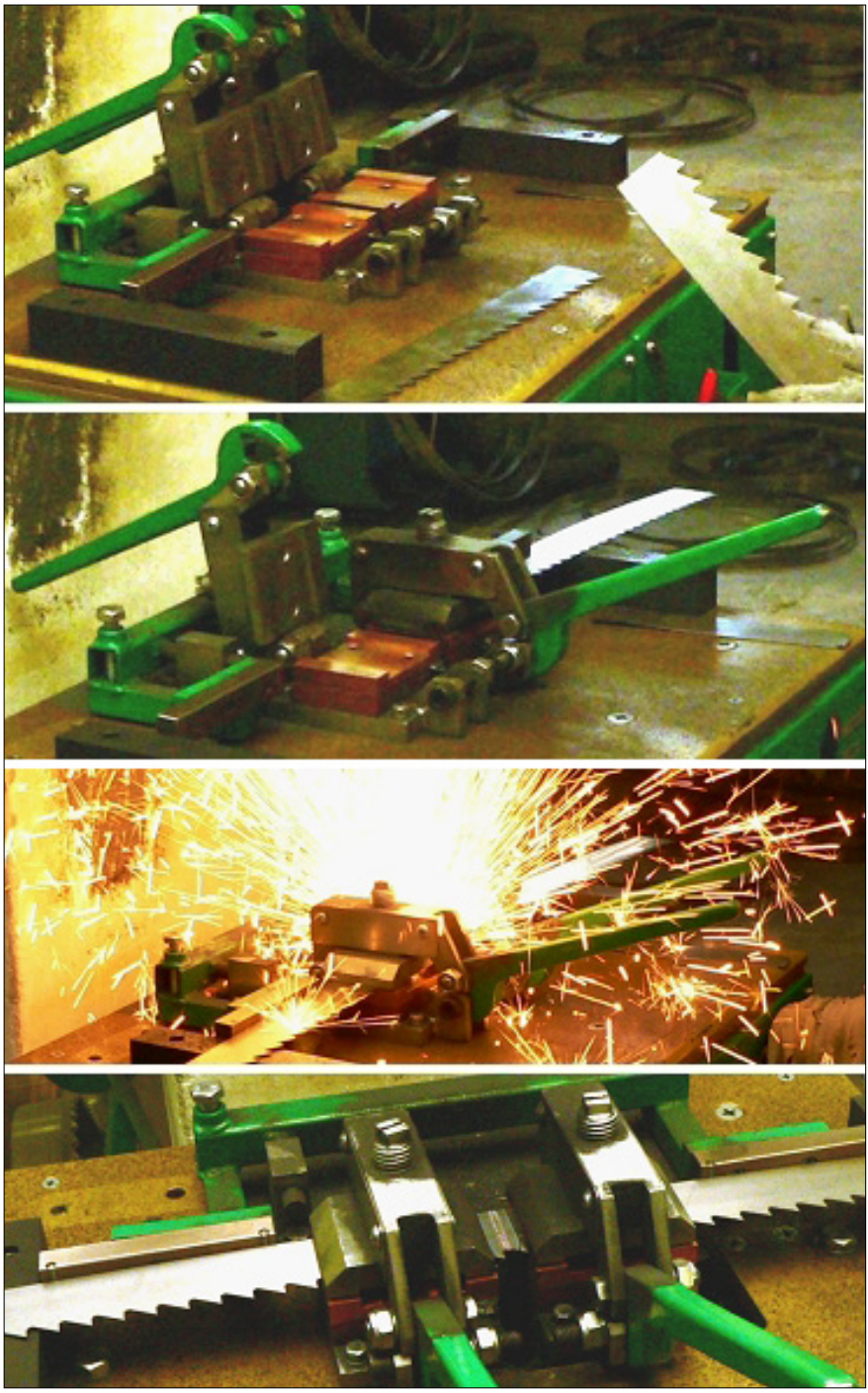
A leolvasztó ellenállás-tompahegesztésnek többféle változata ismert, de itt csak az alapváltozatot tekintjük át. Az eljárást edződésre hajlamos anyagok hegesztésére alkalmazzák, mint amilyen például a **20. ábrá**n látható keskeny, 60 mm-nél kisebb szélességű, szalagfűrészlapok anyaga, a C75 jelű rugóacél.

A leolvasztási folyamatban az illesztési felülethez közeli réteg hevítését és a szennyező rétegek eltávolítását helyileg képződő villamos ívek segítik elő.

A zömítő ellenállás-tompahegesztés folyamán a munkadarabokat homlokfelületüknél összenyomva, majd rajtuk áramot átvezetve a fejlődő hő és az erőhatás együttesen nagyfokú képlékeny alakváltozást hoz létre, ami kohéziós kapcsolatot teremt a két anyag között. A felületi szennyeződések sorjába nyomása csak kisebb keresztmetszeteknél lehetséges.



19. ábra. *A zömítő ellenállás-tompahegesztés vázlata*

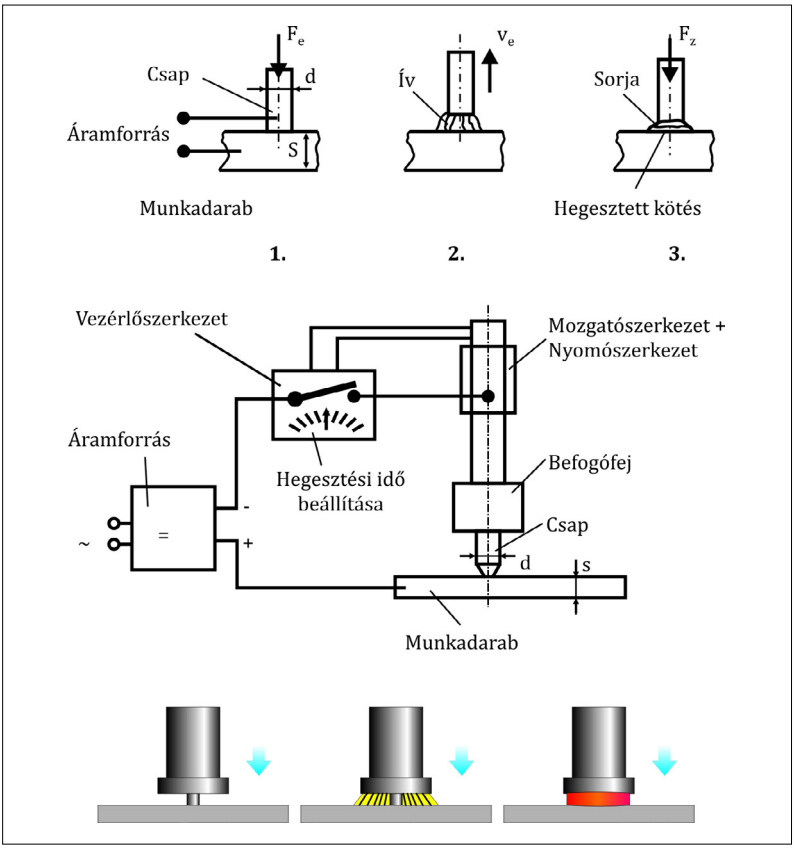


20. ábra. *Szalagfűrészlap leolvasztó tompahegesztése*

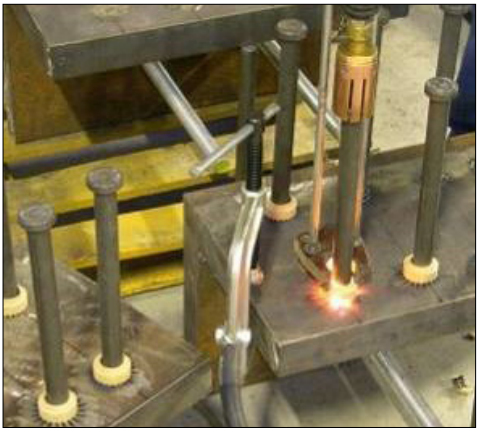
2.7. Ívhúzásos csaphegesztések

Az ívhúzásos csaphegesztések három típusát különböztetjük meg:

I. A rövid ciklusú, ívhúzásos csaphegesztés, melynél (**21. ábra**) a felhegesztendő csapot – arra alkalmas készülékben rögzítve – hozzá kell nyomni a munkadarabhoz, majd ezt követően – közvetlenül vagy kondenzátortelep kisütése révén – áramot átvezetve, az érintkező felületek mentén intenzív hőfejlődés indul meg. Bizonyos idejű rövidzárlat után, a csapot eltávolítva a munkadarabtól elektromos ív jön létre, aminek hatására a csap homlokfelülete és az alatta lévő munkadarab-felület megolvad. Ezután a csapot a munkadarabhoz nyomják, miközben kikapcsolják az áramot. A zömítés során a megolvadt anyagrész teljesen kinyomódik, és a szilárd halmazállapotú felhevített anyagok lokális képlékeny alakváltozása révén alakul ki a hegesztett kötés.



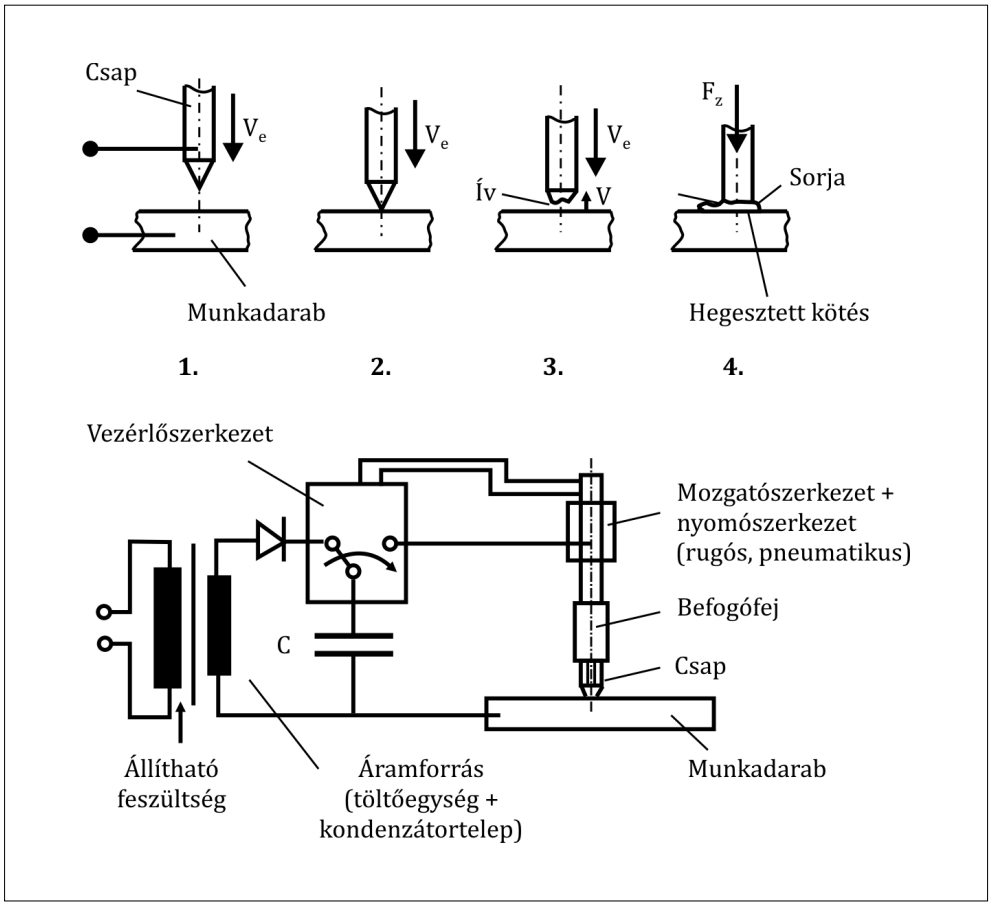
21. ábra. *Az ívhúzásos csaphegesztések egyik eljárása: rövid ciklusú, ívhúzásos csaphegesztés*



22. ábra. *Kerámiagyűrűs csaphegesztés alkalmazási példája*

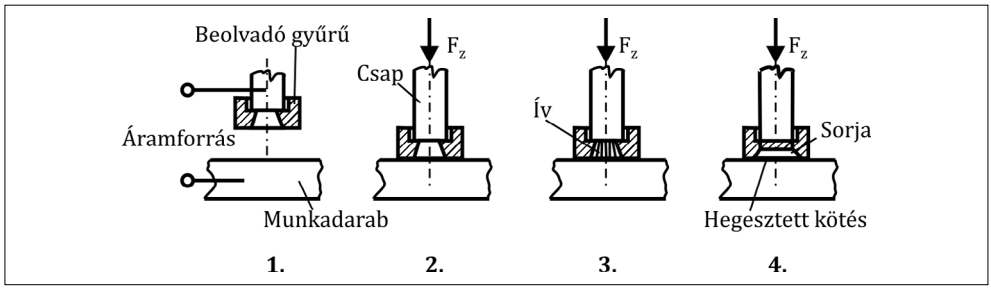
23. ábra. *A rövid ciklusú, ívhúzásos csaphegesztés folyamatának egyes fázisai (Az Óbudai Egyetem Anyagtechnológiai Intézet Hegesztőlaboratóriuma)*

II. Kondenzátorkisütéses, gyújtócsúcsos csaphegesztés (**24. ábra**) során az összehegesztendő anyagokat (csapot, illetve alaplemezt) feszültség alá helyezik, majd a csapot meghatározott sebességgel közelítik az alaplemez felé. A felütközés pillanatában megkezdődik a kondenzátortelepből álló áramforrás kisülése. A fejlődő hő a csap csúcsát megolvasztja, illetve elgőzölögteti. A csap csúcsának leolvadási sebessége nagyobb, mint a közelítési sebessége, ezért ív képződik. A leolvadási sebesség a leolvadó keresztmetszet növekedése miatt egyre csökken. Azt követően, hogy a két sebesség azonossá válik, az ív egyre rövidebb lesz, majd bekövetkezik a zömítés, miközben kikapcsolják az áramot.



24. ábra. *Az ívhúzásos csaphegesztések egyik eljárása: kondenzátorkisütéses, gyújtócsúcsos csaphegesztés*

III. A beolvadó gyűrűs, ívhúzásos csaphegesztés alkalmazása során (**25. ábra**) a csap végére egy gyűrűt helyeznek el, majd hozzányomják az alaptesthez, és bekapcsolják az áramot. Az áramátfolyás – amely a beolvadó gyűrűn megy végbe – hatására hő fejlődik, és a felhevülő gyűrű emissziós és ionizációs hatására ív képződik. A hőhatás megolvasztja az összehegesztendő felületeket, és az ív addig ég, amíg a gyűrű csaptámasztó pereme ellen tud állni a csap nyomóhatásának. Amikor a perem megroggyan, a csap az alaptesthez nyomódik – miközben az áramot kikapcsolják –, és a végbemenő zömítés hatására létrejön a kötés. Az alkalmazott beolvadó gyűrűs színterelt termék, mely létrehozza és stabilizálja az ívet, a megolvasztott anyagrészeket védi a levegőtől, szabályozza a hegesztés idejét, és alakítja a sorját.



25. ábra. *A beolvadó gyűrűs ívhúzásos csaphegesztés fő lépéseinek vázlata*

2.8. Az ultrahangos hegesztés

Az ultrahangos hegesztés a sajtoló hegesztési eljárások rendszerébe tartozik (amelyben kellő nagyságú külső erő okozta képlékeny alakváltozás hozza létre a kötést az összehegesztendő felületeken). Az ultrahangos hegesztés nagy frekvenciás, kis amplitúdójú mechanikai rezgést csatolnak a statikus nyomóterhelésre. Ezáltal a munkadarabon a hegesztett kötést a helyi felmelegedés és képlékeny alakváltozás valósítja meg. Az ultrahangos hegesztés három változatát különböztetjük meg: ponthegesztés, vonalhegesztés és körhegesztés.

Az ultrahangos hegesztés előnyei:

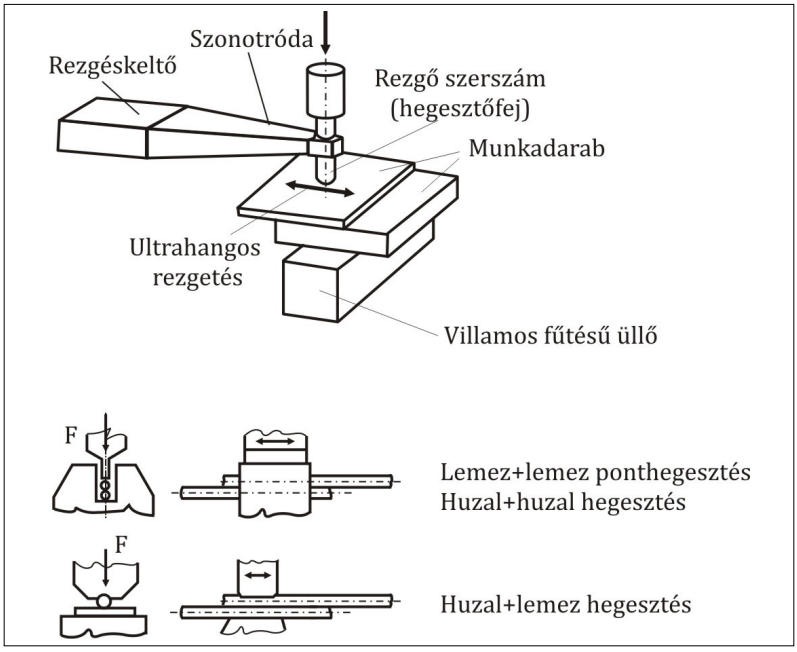
- Sokféle anyag hegeszthető: vegyes kötések fémek és fémbevonatos kerámiák között.
- Alig van anyagszerkezeti változás, a hőhatásövezet jelentéktelen.
- A kötés mechanikai tulajdonságai kedvezőek.
- Vékony fóliákhoz és huzalokhoz is alkalmazható; ugyanakkor egy lépésben több huzal, több fólia is összehegeszthető köteggé.
- Nagy méretű, vastag alkatrészekre a nagyon vékony elemek is felhegeszthetők.
- Az alkatrészek gyakorlatilag nem deformálódnak.
- Nincs szükség felülettisztításra: hiszen a rezgés megbontja és eltávolítja a kötési zónából a szennyeződéseket.
- A bevonatos és a lakkozott huzalok a bevonat eltávolítása nélkül hegeszthetők.
- Kicsi az eljárás energiaigénye.
- Nincs szükség hegesztőanyagra vagy/és védőgázra.
- A már polírozott felületek elszíneződés nélkül hegeszthetők.
- Nagyon rövid a hegesztési idő.

– Csekély a varratok átmeneti ellenállása.
– Héliumszondás tömörségvizsgálatra alkalmas a hegesztési varrat.
– A hegesztési felület kis felületre korlátozódik.
– A hegesztési adatok monitorozása és statisztikai kiértékelése biztosított.
– Tiszta és biztonságos folyamat: nincs ívkeltés, láng, füst; környezetbarát.
– Jól automatizálható.
– A kötés oxidréteggel fedett felületen (pl. alumínium, rozsdamentes acél) is könnyen kialakul.

Az ultrahangos hegesztés hátrányai:

– Csak vékony anyagok (kb. 2 mm-ig) hegesztésére alkalmas.
– A magnetostrikciós átalakítók hatásfoka rossz (a piezoelektromos berendezések hatásfoka lényegesen jobb).
– Egy már elkészített kötés közelébe nem helyezhető új varrat, mert az károsodhat (fárasztó igénybevétel hat rá).
– A kötésszilárdság szórása meglehetősen nagy; ~10% még elfogadható.

Az ultrahangos ponthegesztés vázlata a **26. ábrá**n látható. A hegesztési folyamat során a magnetostrikciós vagy elektrostrikciós hatással keltett, 15–60 kHz frekvenciájú ultrahangnak az akusztikai transzformátorral 5–35 μm-re megnö-

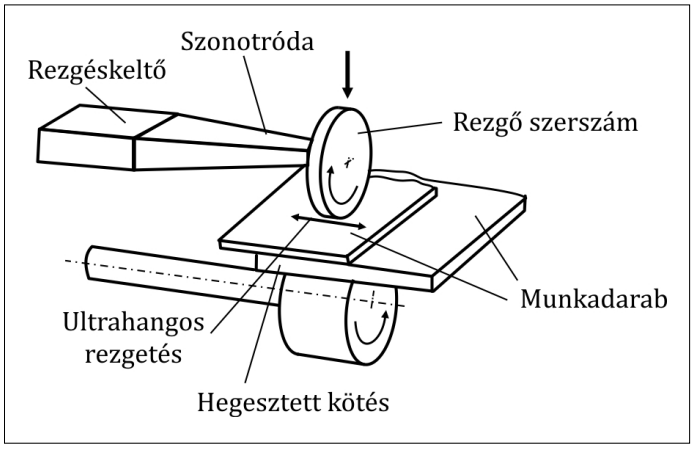


26. ábra. *Az ultrahangos ponthegesztés vázlata*

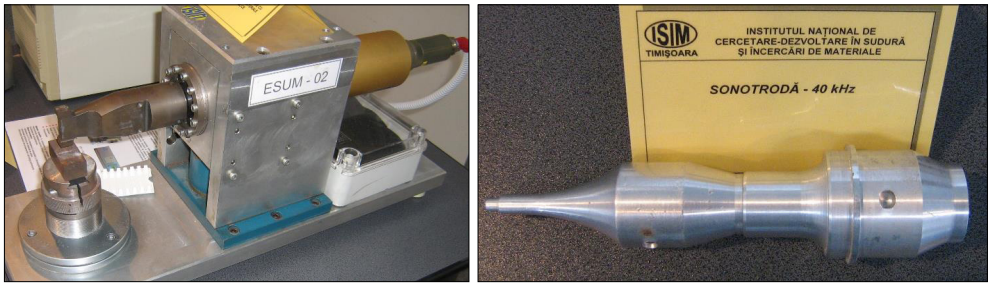
velt amplitúdójú rezgését az átlapoltan illesztett munkadarabok közül a vékonyabbra közvetítik az ún. szonotródával. A sajtolóerőt is közvetítő szonotróda az érintett munkadarabbal 0,1–3 s-ig együtt rezeg, súrlódási hőt kelt, és végül hegesztett kötést hoz létre. Lehetőséget ad azonos vagy eltérő anyagminőségű vékony lemezek és huzalok összekötésére. Ez a hegesztési eljárás a műanyagok hegesztésére nagyon elterjedt, de rézvezetékek és az alumíniumból készülő gépkocsik karosszérialemezeinek hegesztésére is alkalmazzák.

Az ultrahangos vonalhegesztés (**27. ábra**) nem más, mint folyamatossá tett ponthegesztés; a tárcsakiképzésű, folyamatos forgómozgást végző szonotróda és üllő között átlapoltan áthaladó vékony lemezek között alakul ki a hegesztett kötés.

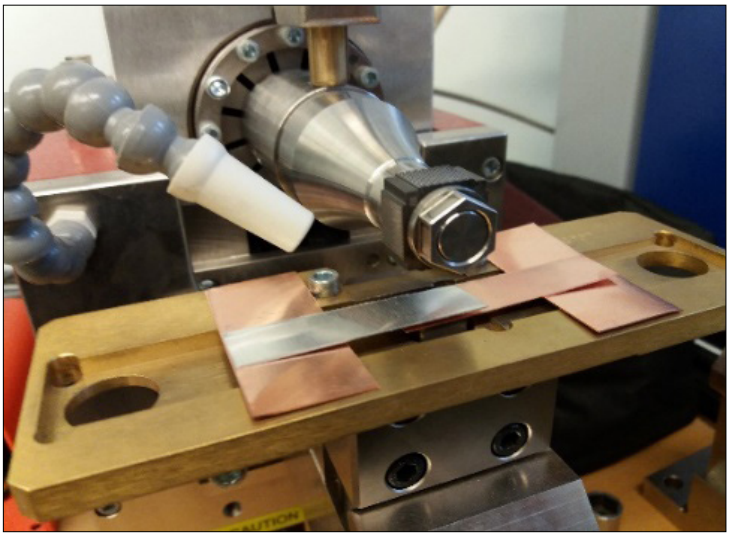
Az ultrahangos ponthegesztés alkalmazásainak szemléltetése látható a **29–31. ábrák**on.



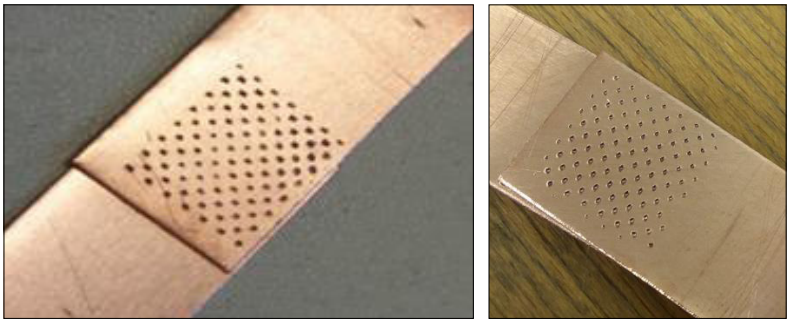
27. ábra. *Az ultrahangos vonalhegesztés vázlata*



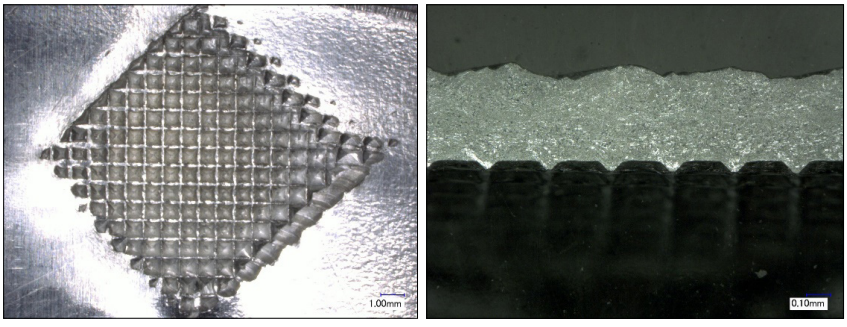
28. ábra. *Az ultrahangos hegesztés berendezése*



29. ábra. *5 mm vastagságú alumíniumlemez és rézlemez ultrahangos ponthegesztése*



30. ábra. *0,5 mm vastagságú rézlemezek ultrahangos ponthegesztéssel létrehozott kötése (elő- és hátoldal)*



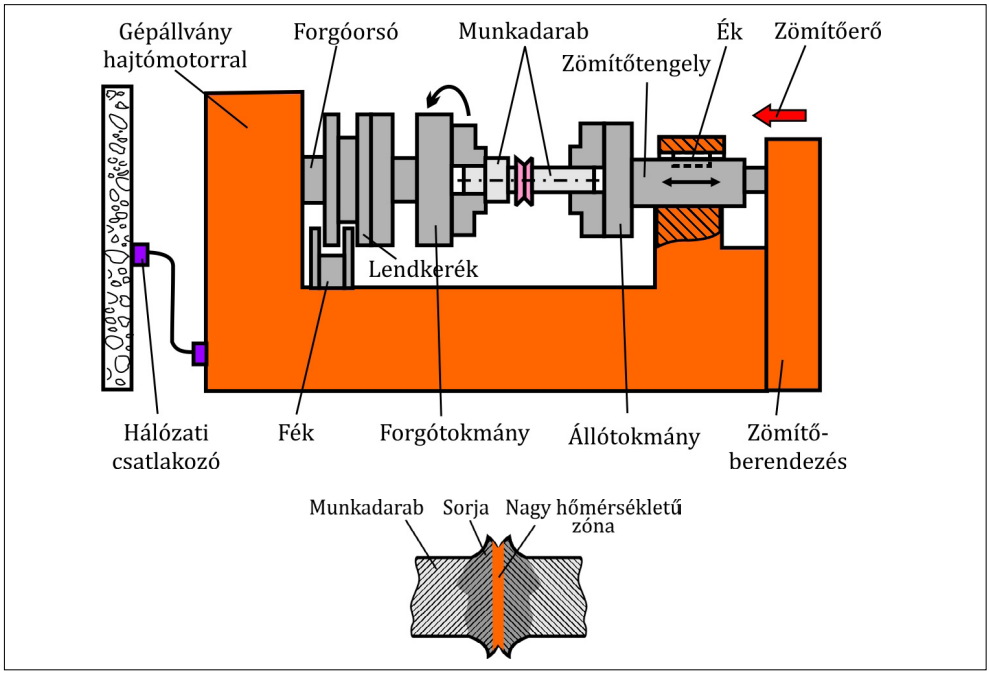
31. ábra. *0,5 mm vastagságú alumíniumlemezek ultrahangos ponthegesztéssel létrehozott kötésének felületi és keresztmetszeti képe*
(Az Óbudai Egyetem Anyagtechnológiai Intézet Hegesztőlaboratóriuma)

2.9. A dörzshegesztés

A dörzshegesztések legismertebb változata a forgatásos, másként rotációs dörzshegesztés; szabványos elnevezése: folyamatos hajtású dörzshegesztés (**32. ábra**). A két összehegesztendő munkadarab egyikét, amelynek alakja jellemzően rúd vagy cső, a másikhoz nyomott állapotban forgásba kell hozni. Amikor az érintkező felületek egészére kiterjedt a tisztítás és a felmelegítés, a forgást leállítják, és a munkadarabokat összesajtolják; ezzel jön létre a sajtolóhegesztett kötés.

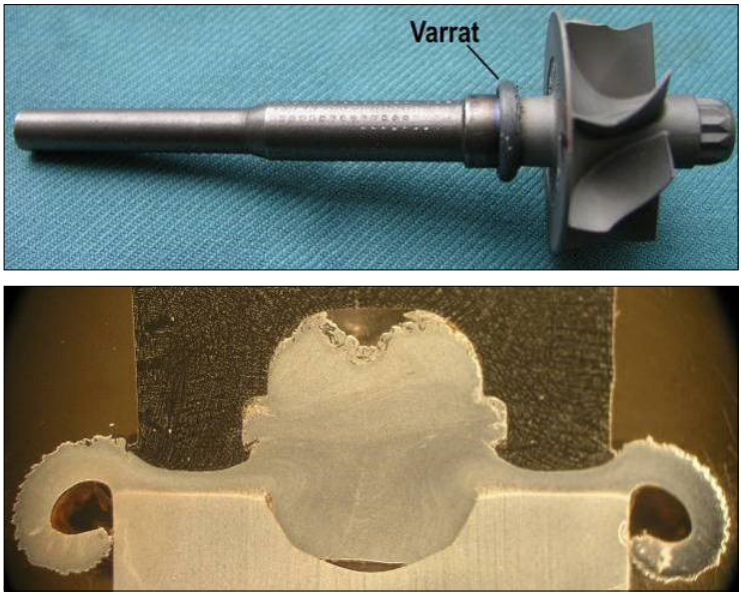
Az előmelegítési szerepet betöltő dörzsölésnek vagy az idejét, vagy az útját lehet előre meghatározni. Néhány további fontos technológiai tényező: a dörzsölési, a fékezési és a zömítési szakaszon ható nyomás és fordulatszám. A forgási súrlódás miatt felmelegedett anyag képlékenyalakítása következtében jellegzetes formájú, gallérszerű sorja képződik, amely szükség esetén a kötés gyengülése nélkül utólag lemunkálható.

A forgatásos dörzshegesztés fontos eleme a forgatás gyors leállítása; ez megbízható és erős fékrendszert igényel, vagy az eljárás lendkerekes változatával (lendkerekes dörzshegesztés) küszöbölik ki. A lendkereket a szükséges energi-



32. ábra. *A dörzshegesztés vázlata*

át eredményező maximális fordulatszámra felpörgetik, majd ezt követően a hajtómotorról lekapcsolják. A lendkerékkel együtt forgó befogott munkadarabot az álló vagy ellentétes irányban megforgatott darabhoz szorítják. Az összenyomáskor keletkező fékezőnyomaték csökkenti a lendkerék fordulatszámát, azaz a munkadarab látja el a fék szerepét. Előfordulhat, hogy a forgás leállásáig az állandóan elnyíródó kötés a kis fordulatszám miatt már nem tud tökéletesen újraképződni, ezért egyes esetekben a kritikusnak tekinthető fordulatszámnál a hagyományos eljáráshoz hasonlóan lefékezik a forgást.

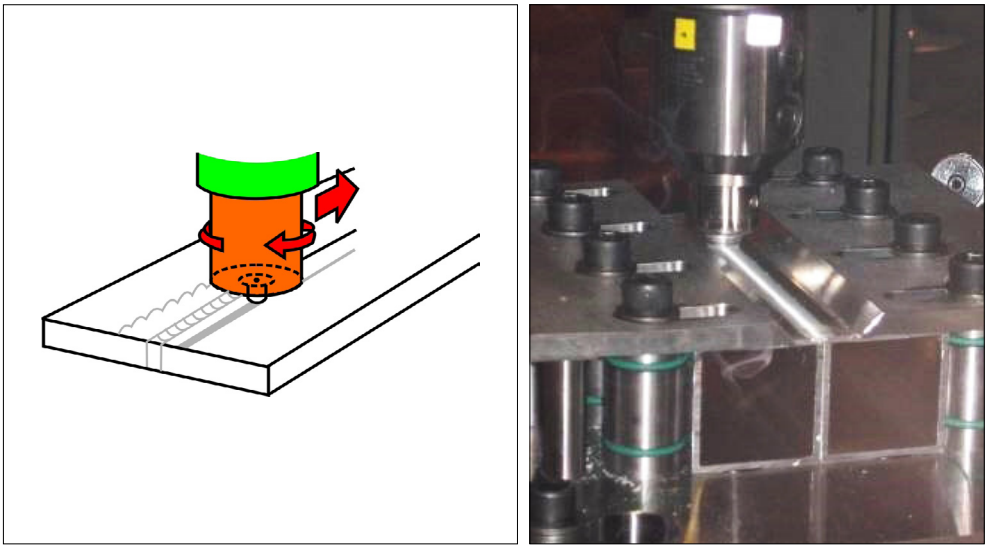


33. ábra. *A dörzshegesztés alkalmazása: turbina + tengely hegesztett kötése és annak hosszmetszete (elforgatva)*

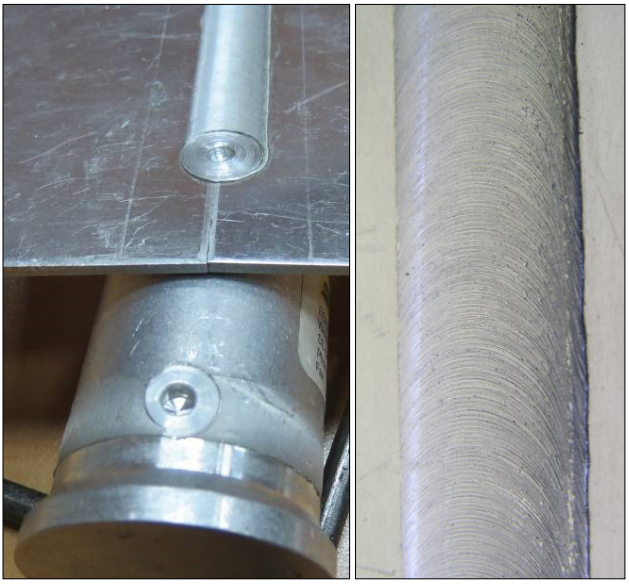
2.10. A kavaró dörzshegesztés

A kavaró dörzshegesztés vázlata a **34. ábrá**n látható. Lényege, hogy egy forgó, kopásálló szerszámanyagból készített, csapszerű szerszám behatol a tompán illesztett, lerögzített és összeszorított lemezek közé, és ott intenzív anyagkavarásba kezd. A súrlódási hőtől nagyon képlékennyé vált zónában alakul ki a hegesztett kötés. A szerszám először lassan, nagy erővel a két lemez kötési övezetébe merül, majd beindul a hosszirányú előtolás. A szerszámmozgás és a fejlődő hő az érintett térfogatot kilágyítja, intenzíven alakítja, keveri, majd a csap feletti szerszámváll a felületet tömöríti és elsimítja. Tehát az alapanyagok

megolvadása nélkül jön létre a kötés, főleg könnyű- és színesfémötvözet-anyagú gyártmányokon. Hosszvarratok, pontvarratok és körvarratok készítésére is alkalmas, jól automatizálható, de egyelőre még csak a költségekre érzéketlen iparágakban alkalmazzák.



34. ábra. *A kavaró dörzshegesztés vázlata és a hegesztési művelet képe*



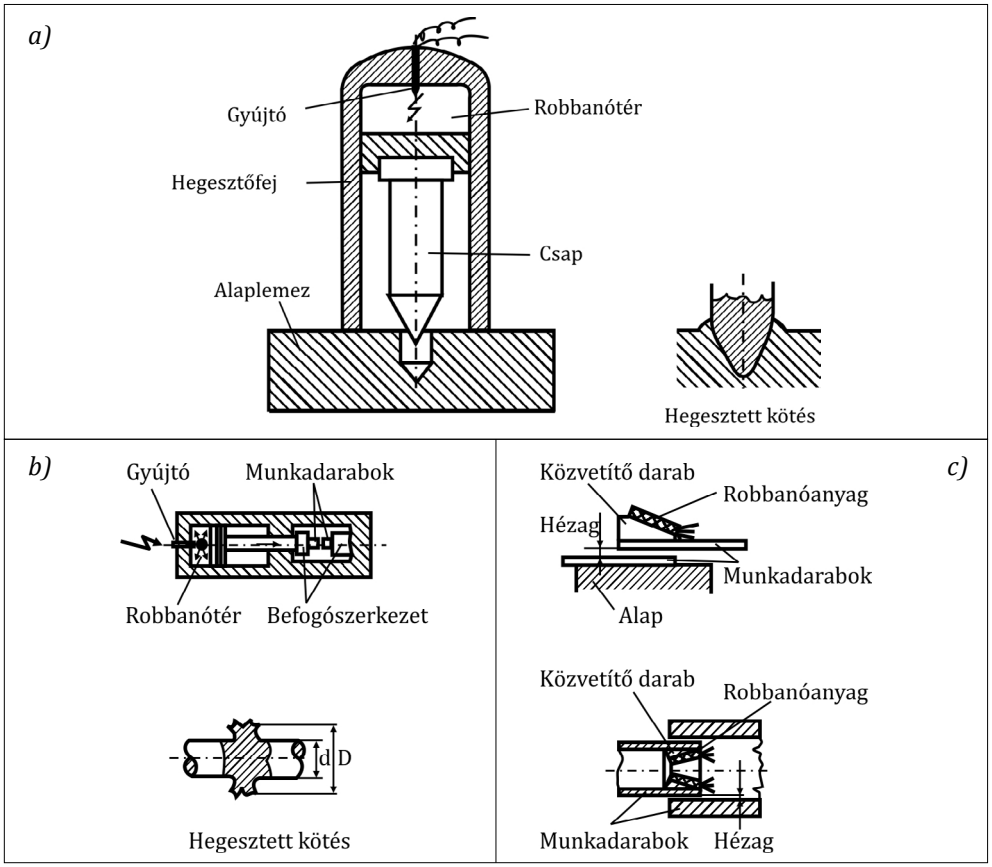
35. ábra. *Alumíniumanyagokon kavaró dörzshegesztéssel készült varratok képe*

2.11. A robbantásos hegesztés

A robbantásos hegesztésnél a hézaggal illesztett lemezek, csövek között robbantással nagy sebességű ütközést keltenek. A felületekre merőleges nyomó- és velük párhuzamos csúsztatófeszültségek keletkeznek. A nyomás szükséges ahhoz, hogy a felületi atomok rácsparaméternyi távolságra kerüljenek, a csúsztatófeszültség okozta képlékeny alakváltozás biztosítja a kohéziós kötés feltételeinek kialakulását. A plattírozott lemezek gyártásának is egyik fontos módszere.

Robbantásos hegesztés eljárásváltozatai (**36. ábra**):

a) A robbantásos csaphegesztés során a felhegesztendő csap és az alaplemez közötti kohéziós kapcsolat kialakulását lehetővé tevő dinamikus erőhatást és megfelelő mértékű képlékeny alakváltozást az alkalmazott robbanóanyag detonációjakor fellépő lökéshullám váltja ki.



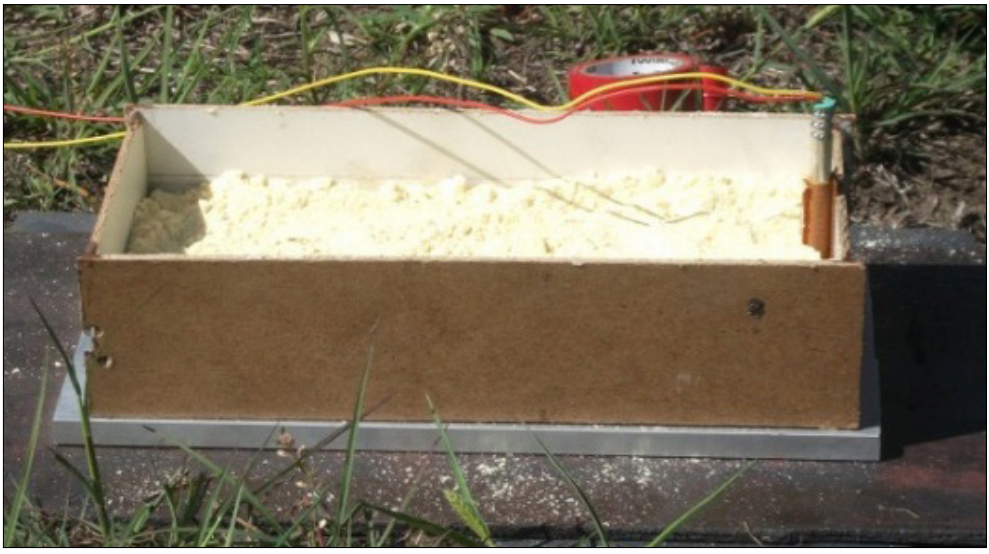
36. ábra. *A robbantásos hegesztés eljárásváltozatai: a) robbantásos csaphegesztés, b) robbantásos tompahegesztés, c) robbantásos átlapoló hegesztés*

b) A robbantásos tompahegesztéskor a tömör, rúdszerű munkadarabokat homlokfelületüknél – egy robbanótérben előidézett detonáció révén – nagy erőhatással, illetve nagy alakítási sebességgel összenyomják. Az anyagminőségtől és felületállapottól függő mértékű ε alakváltozást létrehozva, a két anyagdarab között hegesztett kötés jön létre.

c) A robbantásos átlapoló hegesztésnél az egymáshoz viszonyítva hézaggal, illetve átfedéssel illesztett munkadarabokat (lemezeket, csöveket) robbanóanyag alkalmazása révén nagy sebességgel felütköztetik, miközben egyidejűleg felületekre merőleges irányú nyomó- és felületekkel párhuzamos csúsztatófeszültségek keletkeznek. A nyomófeszültségek szükségesek ahhoz, hogy a felületi atomok rácsparaméternyi távolságra kerüljenek. A csúsztatófeszültségek képlékenyalakítás révén eredményezik az érintkező fémrészek kristályrács-orientációjának megfelelő beállását, illetve a kohéziós kötés feltételeinek kialakulását.

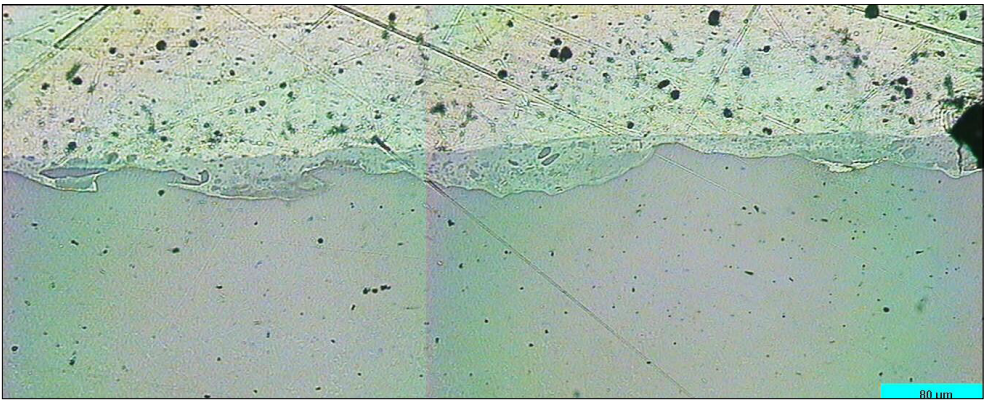
A robbantásos plattírozóhegesztés alkalmazása

A robbantásos plattírozást jellemzően nagy méretű lemezek felrakására alkalmazzák. A **37–39. ábrá**k mutatják a robbantásos plattírozás fő lépéseit, alumíniumlemeznek acéllemezzel való plattírozása során.



37. ábra. *Előkészítés: az alumínium alaplemezre fektetett acéllemez, mely nem látható, mert takarja a porállagú robbanóanyag és a keret*

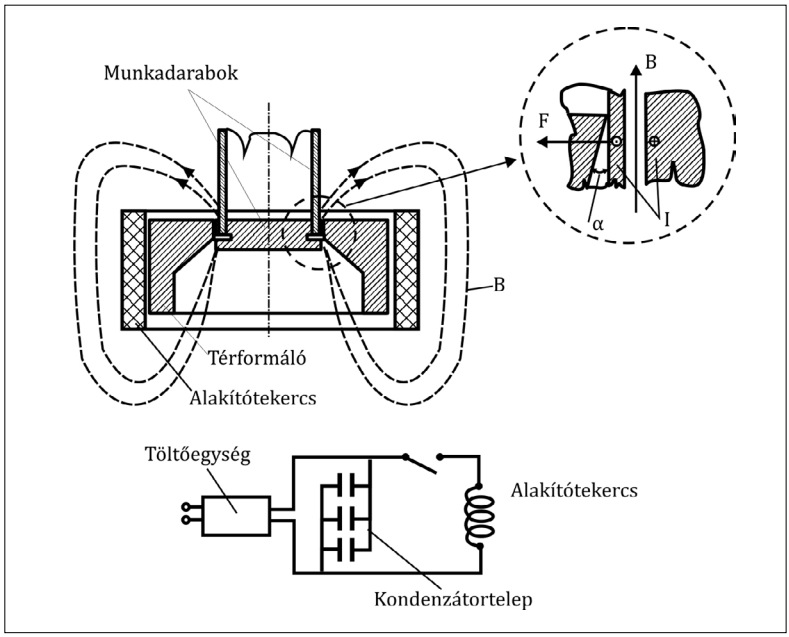
38. ábra. *Az acéllal felrakott alumíniumlemez egyik vége a plattírozás után. A plattírozott lemezből kivágott, metallográfiai vizsgálati próbatest képe*



39. ábra. *A plattírozott lemez keresztmetszet makrocsiszolata*

2.12. A mágneses impulzusos hegesztés

A mágneses impulzusos hegesztés (**40. ábra**) folyamán az 1–2 mm átmérőjű rézhuzalból készített alakítótekercseken keresztül egy kondenzátortelepet sütnek ki. A tekercseken átfolyó, nagy erősségű áram (I) térformáló hatása a hegesztési helynél igen nagy mágneses indukciót (B) hoz létre. A hegesztendő munkadarabban indukált áram és a mágneses tér egymásra hatása következtében radiális irányú erőhatás (F) jön létre. A kondenzátortelep rendkívül rövid időn belül végbemenő kisüléséből adódó, dinamikus erőhatás a munkadarabokat a robbantásos hegesztéshez hasonlóan összeütközteti, és a felület menti anyagrészek képlékeny alakváltozása következtében hegesztett kötés alakul ki.



40. ábra. *A mágneses impulzusos hegesztés vázlata*

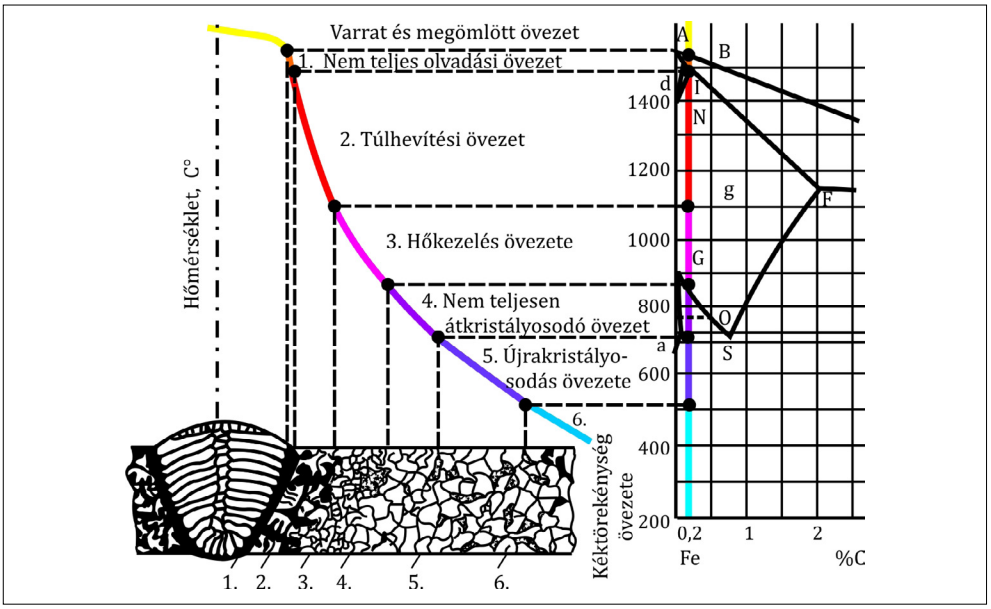
3. Az ömlesztőhegesztések

Sajtolóerő alkalmazása nélküli ömlesztőhegesztés során az összehegesztendő anyagok kötési zónájában a hőmérséklet az olvadáspont fölé növekedik, és kialakul az úgynevezett ömledék vagy hegfürdő. A hőközlés megszüntetése után az ömledék megszilárdul, és hegesztési varratot képez, amelyet fémes anyagoknál varratfémnek nevezünk.

Az ömlesztőhegesztéssel kialakított hegesztett kötés – ezt nevezzük gyakorta egyszerűen varratnak – szerkezete rendszerint heterogén, hasonlít az öntéssel gyártott anyagok szerkezetéhez, de azzal a nem elhanyagolható különbséggel, hogy a kis térfogatú ömledék nagy sebességgel szilárdul meg és hűl. Ez a gyors lehűlés a szomszédos, nagy térfogatú szilárd és hideg(ebb) anyagrészek hűtőhatásának következménye. A varratfém szövetszerkezete általában jelentősen eltér az alapanyagétól, és ez kihat a mechanikai tulajdonságokra is. Egyes eljárásoknál a hegesztés során képződő salaktakaró szigeteli és védi a lehűlő varratzónát, lassítva ezzel a lehűlést, illetve akadályozva az oxidációt.

A varratfémet az ún. hőhatásövezet (**41. ábra**) fogja közre. Ebben a zónában az eredeti alapanyag „hőkezelődik". Az acéloknál végbemehet a teljes vagy részleges ausztenitesedés, majd a lehűléskor az ausztenitből martenzit képződhet. Az ezzel járó repedésképződési veszély a kisebb (~ 0,25%-nál kisebb) széntartalmú anyagok alkalmazásakor nem számottevő, ám ha mégis, akkor számos, itt nem tárgyalt technológiai megoldással (pl. előmelegítéssel) csökkenthető, elkerülhetők a hegesztési repedések. A hőhatásövezet egyes részeiben végbemehet az újrakristályosodás, ha az előzetes hidegalakítás ennek feltételeit kialakította. Emiatt kilágyulással és kedvezőtlen esetben szemcsedurvulással is számolni kell.

Az ömlesztőhegesztési eljárások technikai megvalósítása, elrendezése, azaz a hőforrás jellege és az ömledék környezetének védelme szerint sokféle csoportosítás végezhető, de ebben a rövid, alapozó tárgyalásban ezek ismertetése nem lehetséges.



41. ábra. *Az ötvözetlen acélok ömlesztőhegesztéskor kialakuló hőhatásövezetének vázlata*

Az ömlesztőhegesztési eljárásokról egy olyan áttekintést ad a **3. táblázat**, amely a kötést létesítő energia eredete forrásai szerint csoportosít. A legelterjedtebbek és legjelentősebbek a villamos ívhegesztések.

3. táblázat. *Az ömlesztőhegesztési eljárások energiaforrásai*

Energiafajta	Energiaforrás	Eljárás
Villamos áram	Villamos ív	Ívhegesztések
	Villamos ellenállás	Villamos salakhegesztés
Termokémiai	Kémiai reakció	Lánghegesztés
Sugárzás	Elektronnyaláb	Elektronsugaras hegesztés
	Lézernyaláb	Lézersugaras hegesztés

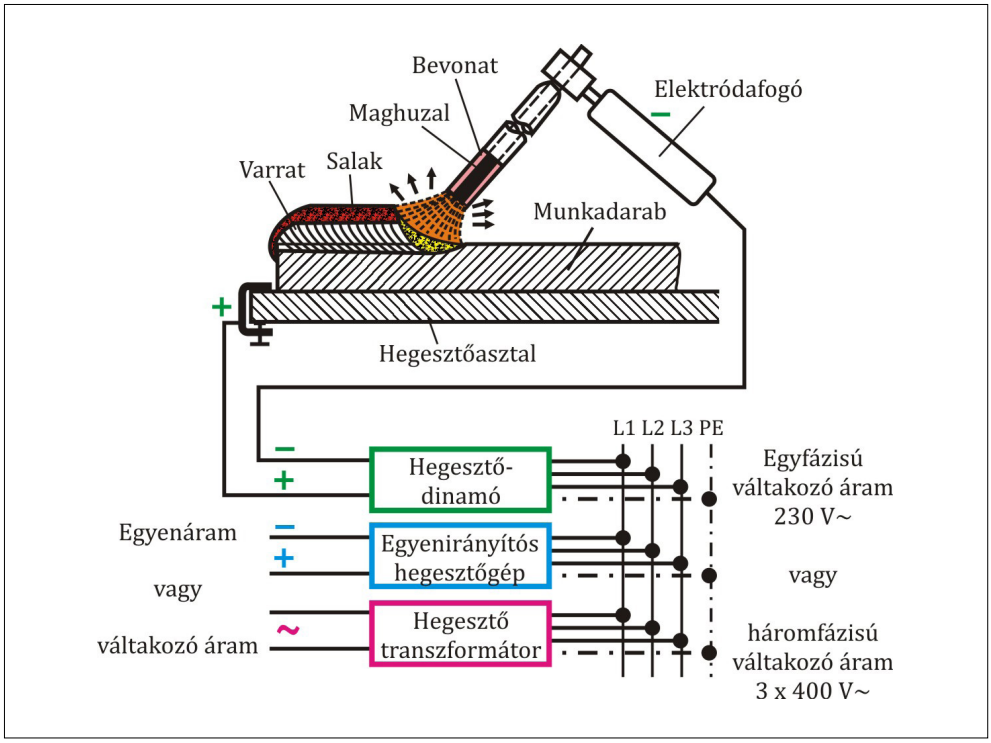
3.1. A villamos ívhegesztések

A villamos ívhegesztésekhez a szükséges hőmennyiséget a villamos ív szolgáltatja. A villamos ív két, villamosan vezető anyag – ezeket elektródának nevezhetjük – közötti gázközegben létrejövő, hosszan tartó villamos kisülés, amelynek következtében az elektródák közötti tér atomjai részben ionizált, tehát plazmaállapotba kerülnek. Ekképpen a villamos ív atomok, ionok és elektronok keveréke, vagyis az áramvezetés egy sajátos médiuma. A hegesztőívnek stabilan kell égnie, amelyet a hegesztőanyagok segítenek elő.

3.2. A kézi ívhegesztés

A kézi ívhegesztés alapvető jellemzője a hegesztő anyaga, a bevonatos elektróda, amely maghuzalból és a koncentrikusan rásajtolt elektródabevonatból áll (**42. ábra**). A bevonatos elektródák jellemzőit a 4.3. fejezet ismerteti. A munkadarab és az elektróda maghuzalja között villamos ívet kell gyújtani, és hegesztés közben fenntartani. A 3500–5000 °C-os ív megolvasztja az anyagok széleit és az elektródavéget, s a közös ömledékből dermed meg a varrat. A folyamatos hegesztéshez a leolvadó elektródának előtoló, varratvonal menti haladó és esetenként lengető mozgást kell adni. Kézi eljárás volta ellenére széles körben alkalmazzák, ahol az automatizálás műszakilag vagy gazdaságilag nem lehetséges.

A bevonat segíti az ívgyújtást, az ívstabilitást, gáz- és salakképzéssel védi az ömledéket és a varratot (a salakot a kihűlés után gondosan el kell távolítani), dezoxidál, kéntelenít, ötvöz, lassítja a lehűlést, formálja a varratot, elősegíti a vízszintestől eltérő helyzetben való hegesztést.

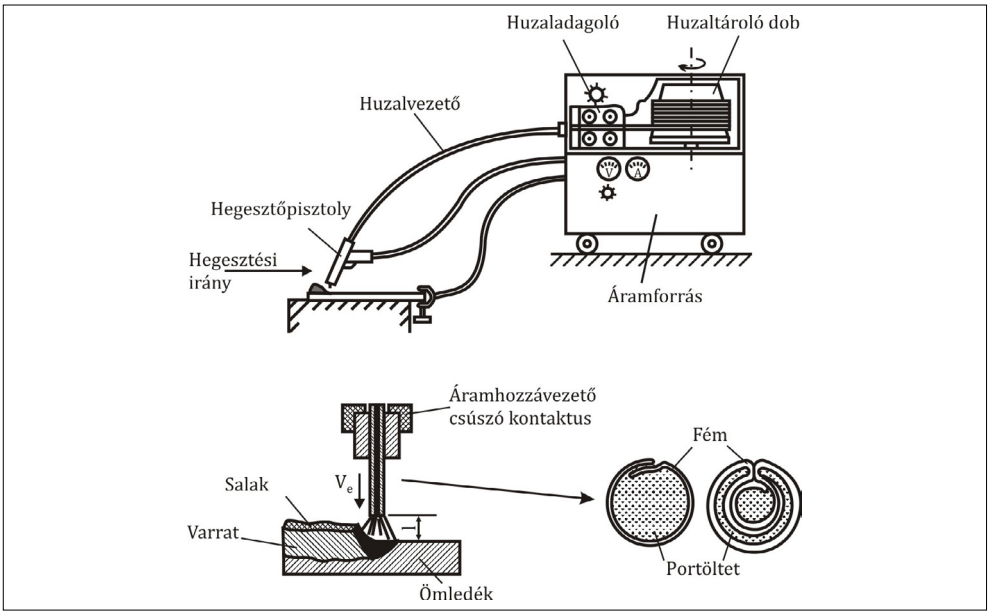


42. ábra. *Kézi ívhegesztés (bevont elektródás)*

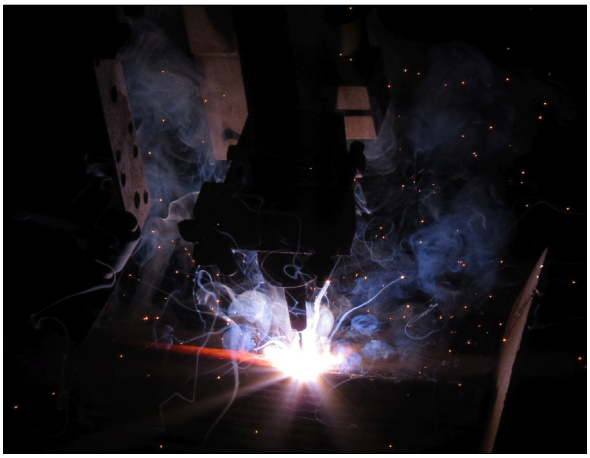
43. ábra. *Az elektróda helyes tartásának és vezetésének szemléltetése*

3.3. Az önvédő, porbeles huzalelektródás ívhegesztés

Az önvédő, porbeles huzalelektródás ívhegesztés (**44. ábra**) során a tekercselt, gépi úton folyamatosan előtolt elektródahuzal portöltete látja el az ömledék- és varratvédelem feladatát, azaz nincs szükség bevonatra vagy fedőpor-adagolásra. Az alkalmazott porbeles elektróda fémszalagból kialakított, csőszerű termék, „bevonat- vagy fedőpor funkciójú" portöltettel, lehetővé téve a folyamatos (elektródacsere nélküli) hegesztést.



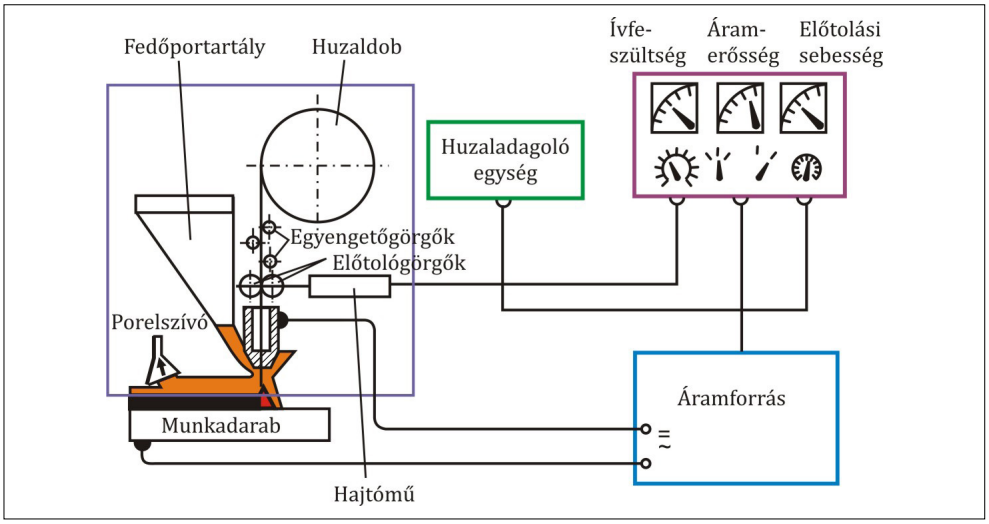
44. ábra. *Önvédő, porbeles huzalelektródás ívhegesztés*



45. ábra. *Az önvédő, porbeles huzalelektródás ívhegesztés alkalmazási példája vasúti sín javítóhegesztésére*

3.4. A fedett ívű hegesztés

A fedett ívű hegesztésnél (**46. ábra**) a feltekercselt huzal- vagy szalagelektródát folyamatosan tolja elő a hegesztés helyére a huzaladagoló egység, miközben egy tartályból az elektródabevonat funkcióit (kivéve a védőgázképzést) ellátó fedőpor rejti el az ívet. Rendszerint az egész hegesztőegységet önjáró szerkezetre szerelik. A kézi ívhegesztéshez viszonyítva lényegesen nagyobb áramerősségek (akár 2 kA) és leolvadási teljesítmények érhetők el.



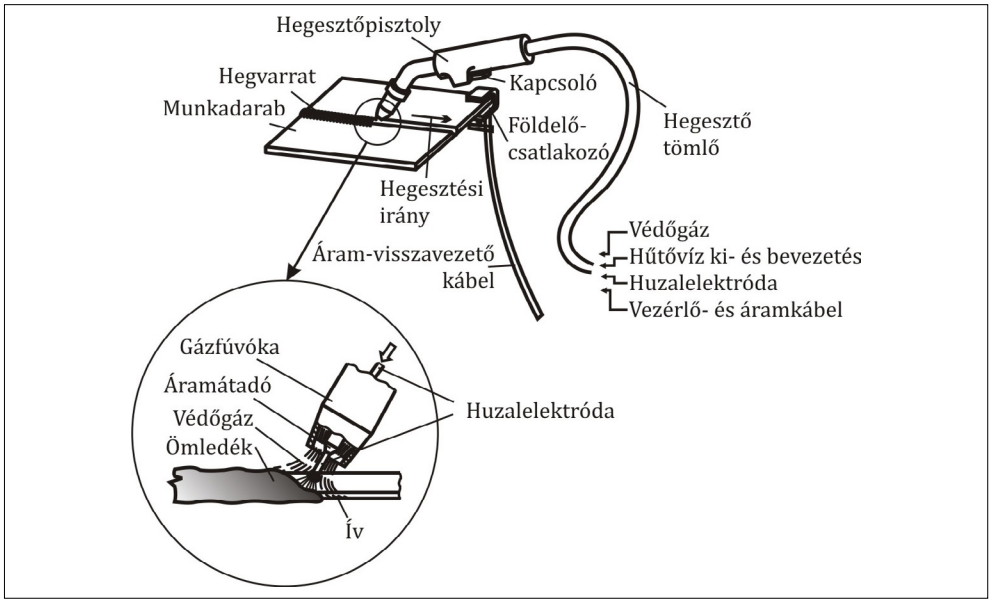
46. ábra. *A fedett ívű hegesztés vázlata*

Elsősorban hosszú, egyenes, vízszintes vagy vízszintes helyzetbe forgatható varratszakaszok hegesztésére alkalmas eljárás. Hosszvarratos és spirálvarratos, nagy átmérőjű csövek (**47. ábra**), hajók, daruk, hidak, tartályok, nehézjárművek vastag lemezeinek hegesztésére használják. Hegesztőanyaga a huzalelektróda vagy a szalagelektróda és a csak erre az eljárásra jellemző fedőpor. (Ezek és az eljárásváltozatok bemutatása nem része ennek a tárgyalásnak.)

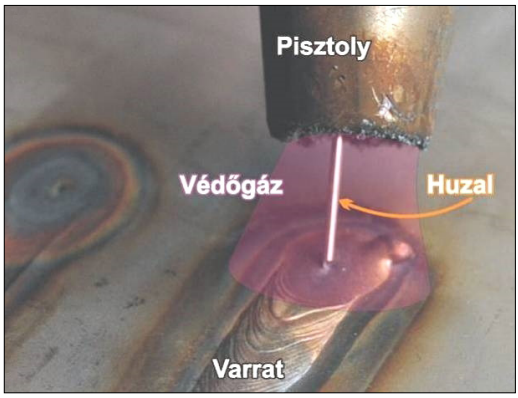
47. ábra. *Fent: fedett ívű hegesztéssel gyártott, 813×12,5 mm-es gáztávvezetéki spirálvarratos csövek. Lent: futóműalkatrész hegesztése (a visszaszívott fedőpor mögött, a képződött salaktakaró alatt még izzik a varrat)*

3.5. A huzalelektródás, védőgázos ívhegesztés

A huzalelektródás, védőgázos ívhegesztések világszerte a legnagyobb mértékben alkalmazott hegesztési eljárások. Közös jellemzőjük, hogy a feltekercselt huzalelektródát állandó sebességgel adagolja a huzalelőtoló berendezés. A villamos ív a folyamatosan leolvadó huzal vége és az alapanyag között ég. Az ömledéket és a huzalból leolvadó, az íven keresztül az ömledékbe jutó heganyagot a gázterelő fúvókán kiáramló gázburok védi (**48. ábra**). Ez a gázvédelem kedvező anyagátviteli és varrattisztasági feltételeket teremt.



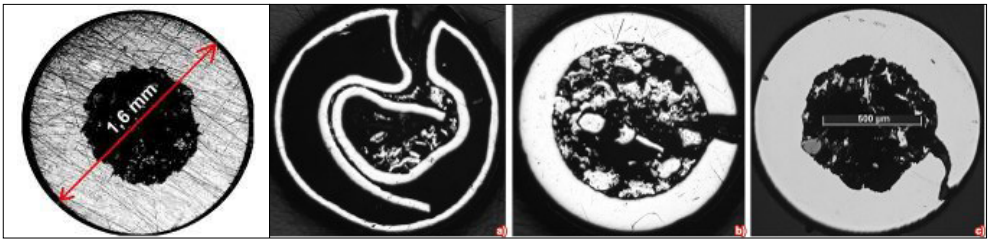
48. ábra. *A huzalelektródás, védőgázos ívhegesztés*



49. ábra. *A huzalelektródás, védőgázos ívhegesztés szemléltetése*

A védőgáz lehet semleges vagy aktív. A semleges védőgáz csak argont vagy/és héliumot tartalmazhat. Az aktív védőgázos e két semleges gáz mellett szén-dioxidot (2–30%) vagy/és oxigént (1–3%) is tartalmaz. E két aktív védőgázkomponens kedvezően hat az ívstabilitásra, a beolvadási mélységre, a varratalakra, és nagyobb hegesztési sebességet enged meg.

A leolvadó huzalelektróda keresztmetszete lehet tömör vagy üreges, csőszerű; az előbbit tömör huzalnak, az utóbbit porbeles huzalnak nevezzük. A porbeles huzalok olyan portöltetet tartalmaznak (**50. ábra**), amely azonos szerepet játszik, mint a bevonatos elektródákon a bevonat.

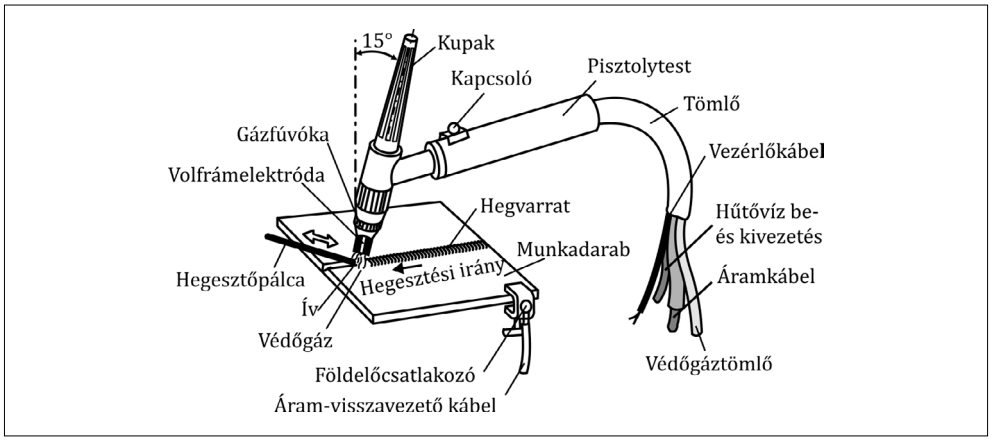


50. ábra. *Porbeles huzalok keresztmetszeti képei*

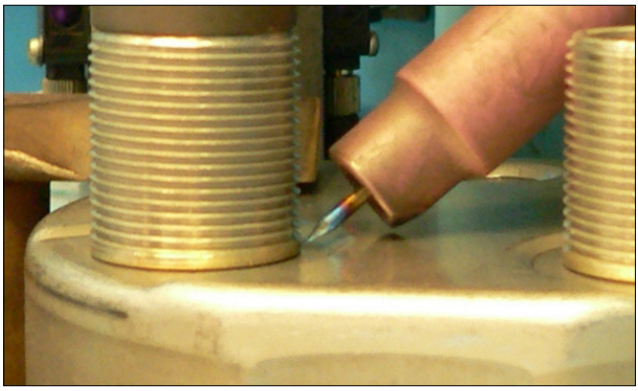
3.6. A volfrámelektródás, védőgázos ívhegesztés (TIG-hegesztés)

A volfrámelektródás, védőgázos ívhegesztés vázlata a **51. ábrá**n látható. Alapvető sajátosságát az adja, hogy a villamos ív egyik elektródája, nevezetesen a volfrámelektróda nem olvad le a hegesztési folyamatban. Az összehegesztendő anyag képezi az áramkör másik pólusát. Az ívet, az izzó volfrámelektródát, valamint a megolvasztott alapanyagból és az adott esetben – de nem szükségszerűen – kézzel vagy gépi előtolással adagolt hozaganyagból képződő ömledéket védőgázburok védi. A védőgáz alapvetően semleges gáz, de tartalmazhat aktív komponenst (O_2, CO_2), továbbá az ausztenites rozsdamentes acélok hegesztéséhez nitrogént és hidrogént.

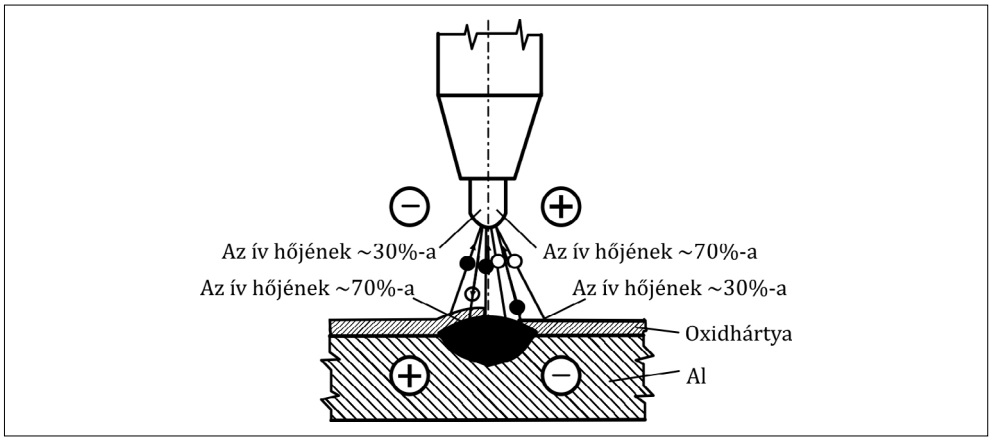
Az eljárás fő jellemzője a nagyfokú metallurgiai tisztaság, ezért leginkább a közönséges tömeggyártási esetektől eltérő különleges varratok és anyagok hegesztéséhez használatos. Különösen gyakran hegesztik volfrámelektródás ívhegesztéssel a gyökvarratokat – ez a többsoros varratok első sora –, a vékony lemezeket és csöveket, a rozsdamentes acélokat, nikkel- és titánötvözeteket. Különösen fontos alkalmazása a váltakozó áramú eljárásváltozatban az alumíniumötvözetek hegesztése. A váltakozó áram lehetővé teszi felületi alumíniumoxid-réteg megbontását, s így a jó varratképzést (**53. ábra**) is.



51. ábra. *A volframelektródás, védőgázos ívhegesztés vázlata*



52. ábra. *A volframelektródás, védőgázos ívhegesztés egy alkalmazási példája*



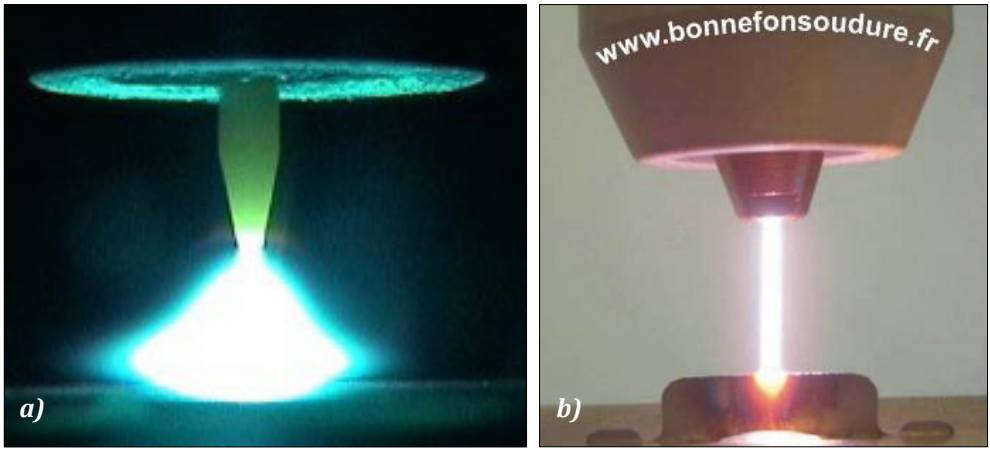
53. ábra. *Hőmegoszlás a váltakozó áramú hegesztéskor*

3.7. A plazmaívhegesztés

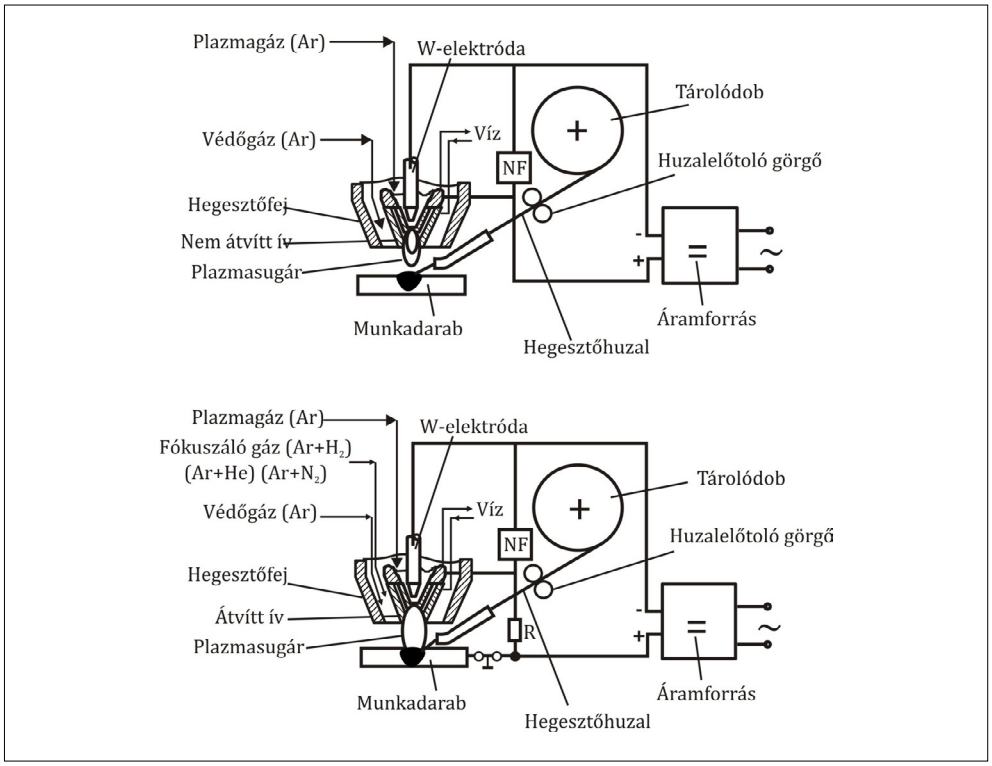
A nem leolvadó elektródás, védőgázos ívhegesztésekhez tartozó plazmaívhegesztés lényegét az ívbeszűkítés jelenti. A villamos ív egész gáztere kismértékben ionizált plazmává alakul, amelyet különféle áramlástechnikai kényszerek alkalmazásával összeszűkítünk (**54. ábra**), így a hevítő-olvasztó hatás lényegesen jobban fókuszálttá válik, mint a szabadívű volfrámelektródás ívhegesztés esetében. A külön csatornában áramló plazmagázból (Ar vagy Ar+H_2 keveréke) képződő plazmát, az ívet és az ömledéket a külső csatornában áramló semlegesgáz-burok (Ar) védi a környezeti hatásoktól. Hozaganyag hozzáadása természetesen lehetséges, jól automatizálható, és egészen vékony fóliák, huzalok hegesztésre is alkalmazható a mikroplazma-ívhegesztési eljárás.

A plazmaívhegesztésnek számos eljárásváltozatát dolgozták ki és alkalmazzák; itt csak az alapeseteket tekintjük át, amelyeket a plazmát folyamatosan létrehozó villamos ív képződésének helye szerint különböztetnek; vázlatuk az **55. ábrá**n látható:

- Nem átvitt ívű plazmaívhegesztés vagy plazmasugaras ívhegesztés: az ív a W-elektróda és a hűtött plazmafúvóka között ég. A plazmasugárban nem folyik áram, a munkadarab nem része a villamos áramkörnek.
- Átvitt ívű plazmaívhegesztés: a plazmafúvóka által leszűkített ív a volfrámelektróda és a munkadarab között ég.
- Kombinált ívű plazmaívhegesztés: az előző kettő kombinációja, azaz mind a belső, mind a külső ív egyaránt részt vesz a hegesztési (hő)folyamatban.



54. ábra. *A volfrámelektródás ívhegesztés (a) és a plazmaívhegesztés (b) ívtere*



55. ábra. *A plazmaívhegesztés két alapvető változata*

3.8. A lánghegesztés

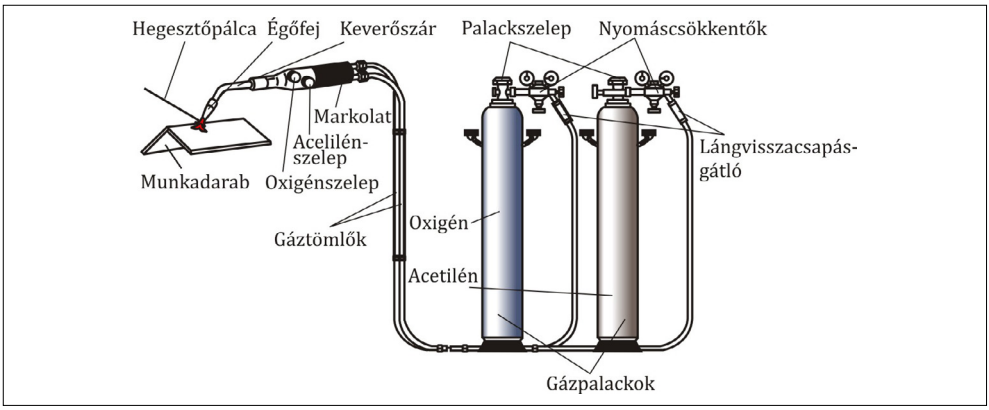
A lánghegesztés, másként gázhegesztés vázlatát a **56. ábra** mutatja. Az eljárás lényege abban áll, hogy a hevítő-olvasztó energia egy oxigénnel kevert gáz elégetéséből származik (oxigénes lánghegesztés). A nagy lánghőmérsékletű éghető gáz az acetilén (C_2H_2) – oxigén-acetilénes lánghegesztés –, de lehet propán-bután gáz (oxigén-propános lánghegesztés) vagy hidrogén (oxigén-hidrogénes lánghegesztés) is. Az oxigénben végbemenő elégetésekor keletkező reakcióhő olvasztja meg az összehegesztendő éleket és a szükség esetén az ömledékbe mártogatva adagolt pálca végét. Az ömledék megdermedésével jön létre a hegesztett kötés.

A 4–5 mm-nél vékonyabb anyagokat balra hegesztéssel, a vastagabbakat jobbra hegesztéssel lehet jó minőségben (megfelelő átolvadással) összekötni, de meg kell jegyezni, hogy ennek az eljárásnak az alkalmazása ma már rendkívül ritkán jön szóba vastag lemezek, csövek esetében. Az alapanyagtól függően kell beállítani a megfelelő lángtípust: oxidáló lángot a sárgarezekhez, redukáló

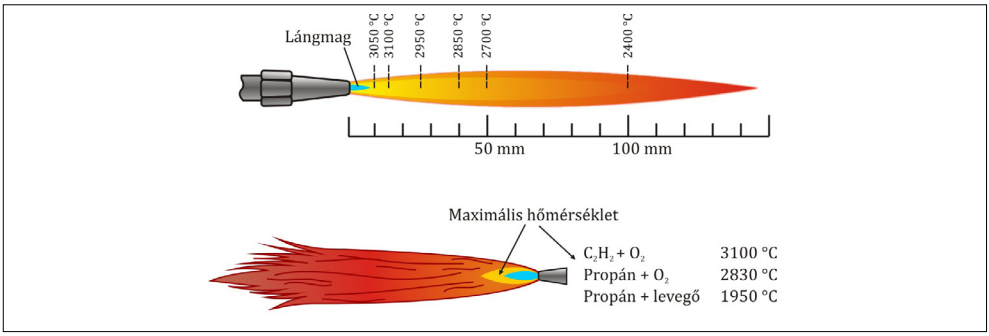
lángot az öntöttvasakhoz és semleges lángot (1:1 arány) a szénacélokhoz. Az elsődleges és a másodlagos égési reakciók a következők szerint mennek végbe:

$C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2CO + H_2$

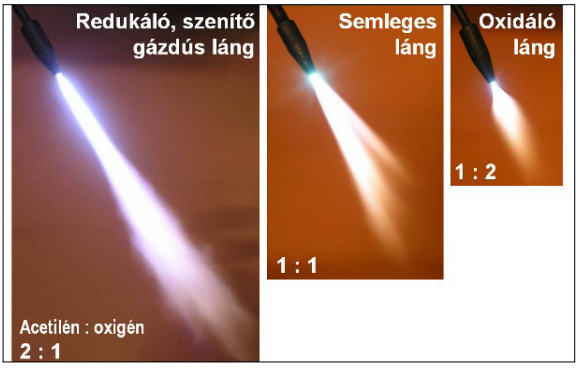
$4CO + 2H_2 + 3O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$



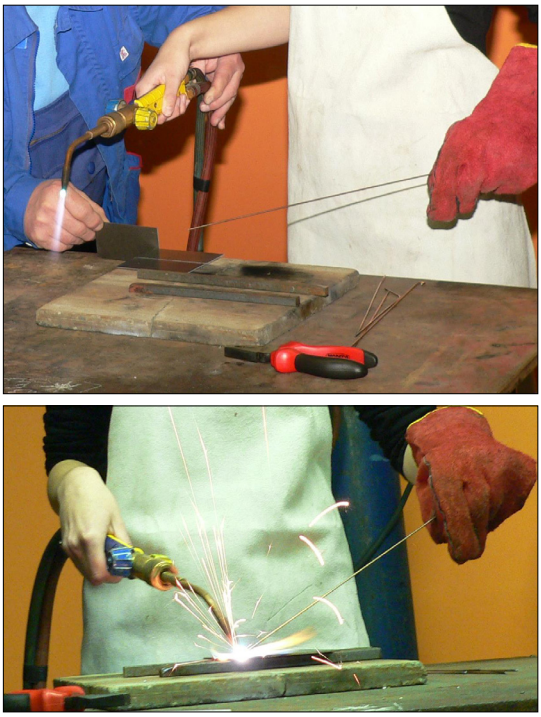
56. ábra. *A lánghegesztés felszereléseinek vázlata*



57. ábra. *A láng részei és termikus viszonyai*



58. ábra. *A lángtípusok fényképe*



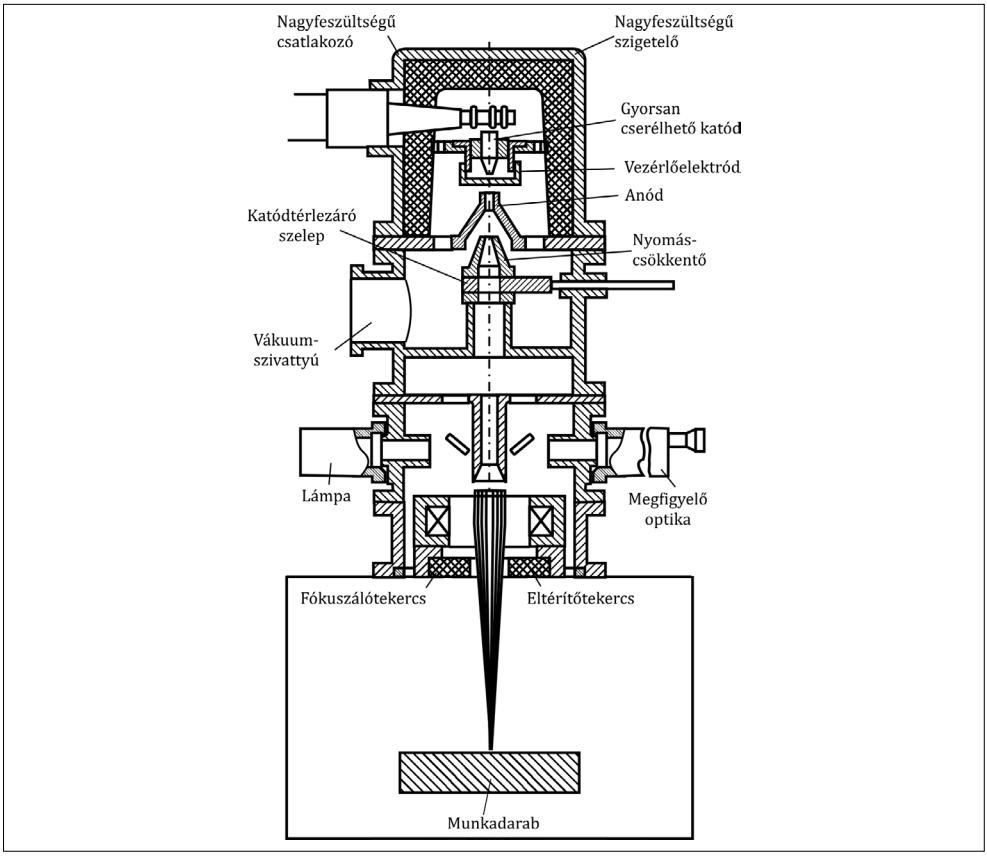
59. ábra. *A lánghegesztés alkalmazási példái*

3.9. Az elektronsugaras hegesztés

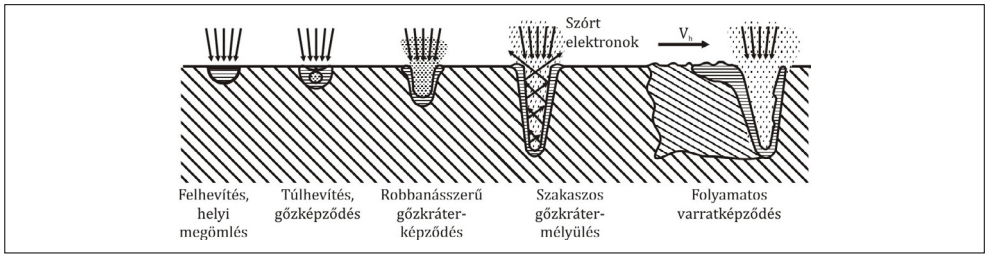
A nagy energiasűrűségű hevítésen alapuló hegesztsési eljárások csoportját alapvetően két eljárás alkotja: az elektronsugaras hegesztés és a lézersugaras hegesztés. Nagy energiasűrűségről akkor beszélhetünk, ha az energiaforrás hevítő-olvasztó hatásának fajlagos teljesítménye meghaladja a 10^4 W/mm^2 értéket. Ezeket a hőforrásokat a hegesztésen kívül az anyagmegmunkálás más területén (pl. vágás, felületkezelés) is alkalmazzák.

Az elektronsugaras hegesztés során elektromosan fűtött (volfrám)katódból kilépő elektronokat vákuumban gyorsítanak fel – magasfeszültséggel (10^4–10^5 nagyságrendűvel) létesített elektromos erőtér segítségével – rendkívül nagy sebességre (kb. 1/2 fénysebesség érhető el). Ezt az elektronnyalábot mágneses vagy elektrosztatikus lencsékkel a hegesztés helyére irányítják, illetve fókuszálják (nagy teljesítménysűrűséget elérve). Az elektronnyaláb nagy kinetikus energiája a munkadarabba ütközve hővé alakul, igen gyors megolvadást eredményezve. Keskeny és mély, utólagos megmunkálást nem igénylő tompavarratok hozhatók létre (**60. ábra**) hozaganyag alkalmazása nélkül.

Az elektronnyaláb hegesztőberendezések sugárzás-előállító elektronágyúból, vákuum-előállító szivattyúrendszerből és hegesztési környezetet biztosító munkakamrából állnak. Minél nagyobb a vákuum, annál kisebb foltra fókuszálható az elektronnyaláb, és annál vastagabb anyagok hegeszthetők át, illetve annál szennyezésmentesebb (tisztább) lesz a varrat.



60. ábra. *Az elektronsugaras hegesztőberendezés vázlata*



61. ábra. *Az anyag megolvadásának főbb fázisai az elektronnyalábbal való hevítés során*

3.10. A lézersugaras hegesztés

Érdemesnek tartjuk az eljárás mégoly rövid bemutatása előtt is néhány alapfogalom tisztázását.

- Elsőként talán azt, hogy mi is az a lézer? Adott esetben jelent sugárzást, berendezést, gyártóeszközt, műszert, alkatrészt, fegyvertípust, hajóosztályt stb. Az eredeti angol mozaikszóból kiindulva, a (helyesen) magyar átírással használt lézer kifejezés alapvetően egy fizikai jelenséget és az azt meghatározó elvet jelenti: az indukált emissziós fényerősítést.
- Az anyagmegmunkálás témakörében a lézer a megmunkálási folyamatban részt vevő eszközök egyedi fajtájának megjelölésére szolgáló kifejezés. A „lézer" szó minőségjelzővé alakítható (→ lézeres), és így – akár többlépcsős tagolásban is – egyre pontosabban meghatározhatóvá válik, pl. egy sugárzásfajta, egy nyalábfajta, egy berendezésfajta, egy optikai rendszer fajtája, egy hegesztési eljárás fajtája – pl. az ún. gázlézeres, lézersugaras hegesztés –, egy vágásfajta, egy jelölésfajta stb.

A továbbiakban, ehhez tartva magunkat, következetesen lézersugaras hegesztésről, hevítésről, vágásról, lézernyaláb-átmérőről stb. fogunk beszélni.

A lézersugaras hegesztés egyik alapját az anyagok optikai tulajdonságai jelentik, nevezetesen az, hogy felületre érkező sugárzást képesek elnyelni is, nem csak visszaverni vagy átbocsátani. Az elnyelt sugárzás energiája értelemszerűen nem vész el, hanem erőteljes és gyors melegedést, megolvadást és elpárolgást okoz; hegesztés esetén a cél a gyors, nagy mélységű és kis szélességű megolvadási zóna elérése.

A hevítést, olvasztást végző lézernyaláb a lézerforrásban képződik, és a lézeroptikai rendszeren keresztül jut el a kívánt „méretben" – nyalábátmérő – és energiával a munkadarab felületére. A lézersugár hatása az anyagra az időben lehet folytonos vagy szakaszosan ismétlődő, azaz impulzusos.

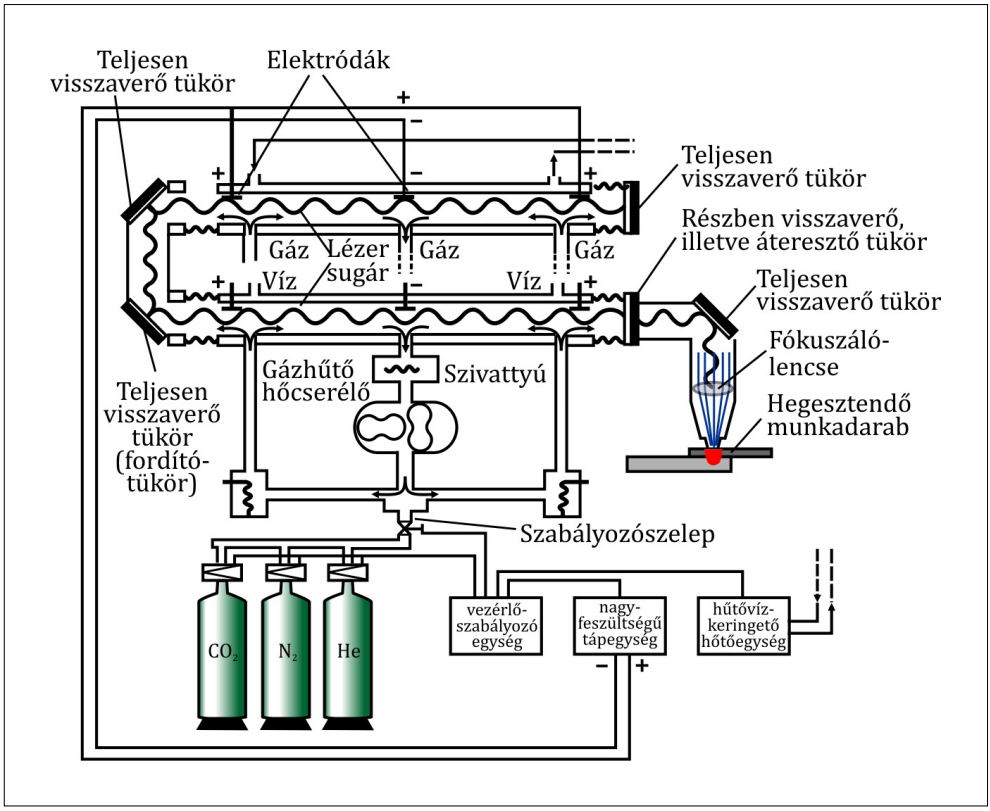
A lézersugaras hegesztéshez technikai oldalról szükség van egy lézerberendezésre, amelynek legfontosabb kelléke a lézersugárforrás, valamint egy hegesztőfejnek nevezett lézeroptikai egységre, amely a hegesztési feladathoz igazodva képes a lézernyaláb átmérőjének és a lézernyaláb fókusztartományának módosítására. Szükséges arról is gondoskodni, hogy a lézernyaláb és a munkadarab közötti elmozdulás biztosított legyen; ezt vagy a munkadarab (készülékkel, robottal), vagy a lézernyaláb (tükörrendszerrel vagy robottal) mozgatása teszi lehetővé.

A lézersugaras hegesztés eljárásfajtáit első és legegyszerűbb megközelítésben a lézerforrás anyaga szerint különböztetjük meg. A gázlézerek egyik legfonto-

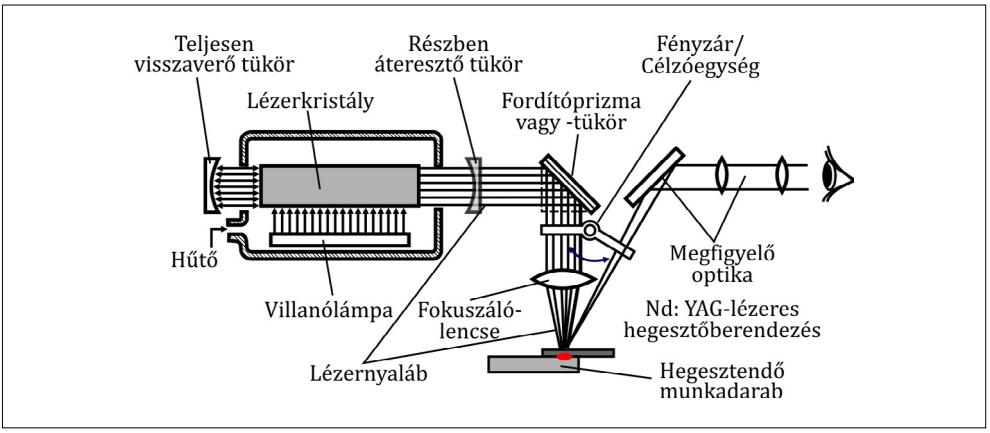
sabbja a 10 600 nm hullámhosszúságú sugárzást kibocsátó szén-dioxid-lézer. Ez a lézerfény a CO_2 + N_2 + He keverékét tartalmazó csőben (**62. ábra**) villamos kisüléssel gerjesztett koherens és monokromatikus (minden foton hullámhossza azonos) sugárzás.

A lézersugaras hegesztési eljárás körében három eljárás ismeretes, a szabvány szerinti elnevezésük: a szilárdtestlézeres, lézersugaras hegesztés; a gázlézeres, lézersugaras hegesztés és a diódalézeres, lézersugaras hegesztés.

A szilárdtestlézerek körében hegesztésre és vágásra a legelterjedtebb lézerforrás az 1064 nm hullámhosszúságú sugárzást előállító Nd:YAG-lézerforrás (**63. ábr**a); ez neodímiumatomokkal adalékolt, ittrium-alumínium-gránát ($Y_3Al_5O_{12}$), egy mesterségesen előállított kristály. A lézerforrás alakja szerint lehet rövid rúd, lapos korong vagy hosszú szál. A lézerfényt gerjesztő hatás az optikai pumpálás, sűrűn felvillanó lámpákból származó látható fény vagy lézerdiódákból származó, kis teljesítményű lézersugár.



62. ábra. *Szén-dioxid lézeres hegesztőberendezés vázlata*



63. ábra. *Szilárdtestlézeres hegesztőberendezés vázlata; a lézerforrás egy rúd alakú Nd:YAG kristály, a gerjesztés villanólámpával történik*

A lézersugaras hegesztés üzemmódját tekintve lehet folyamatos vagy impulzusos. A folyamatos üzemű lézersugaras hegesztés esetén a lézernyaláb energiája az időben állandó. A gázlézerek kimenő teljesítménye alapvetően a gerjesztett gáztérfogat függvénye, ezért a nagy teljesítményű berendezések (P > 1 kW) nagy méretűek, a lézerforrás szerepét betöltő csőrendszer több méter hosszúságú, és hatékony hűtést igényel.

Az impulzusos hegesztést (és vágást, fúrást) megvalósító impulzuslézerek olyan berendezések, amelyek névleges teljesítménye gyakran a 100 wattot sem éri el, de mivel egyetlen lézerimpulzus időtartama rendkívül rövid is lehet – ez alapján beszélünk μs-os, ns-os, ps-os, fs-os lézerekről –, az egyetlen impulzusban kimenő teljesítmény a névlegesnél több nagyságrenddel nagyobb is lehet.

A lézersugaras hegesztéshez védőgázra van szükség, amely általában argon. A hegesztési folyamat végezhető az alapanyaghoz illeszkedő összetételű hozaganyag kézi vagy gépi előtolású adagolásával, annak előre odahelyezésével, esetenként pedig fémpor vagy kerámiapor adagolásával, annak megfelelően, hogy az adott hegesztésnek – mint minden hegesztési feladatnak – mi az aktuális rendeltetése az alábbiak közül:

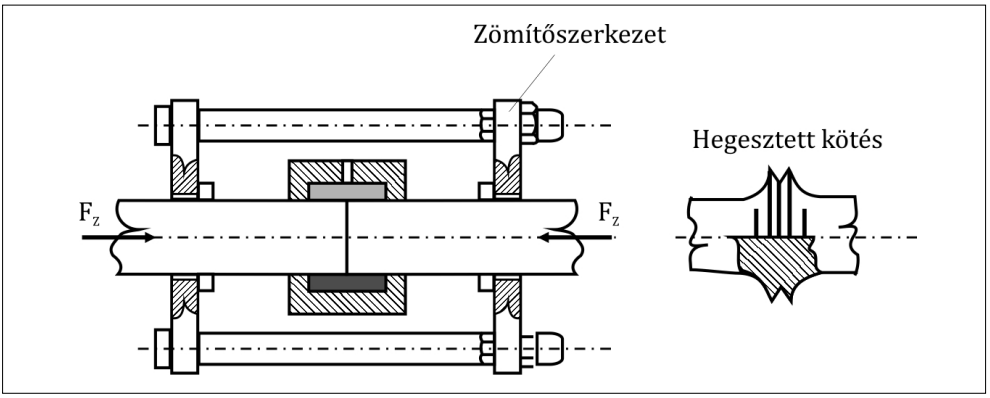
- kötőhegesztés (két vagy több alkatrész összehegesztése); példákat mutat erre a **64. ábra,**
- felrakóhegesztés (egy alapfelületre egy más tulajdonságú réteg felvitele kohéziós kapcsolattal)
- javítóhegesztés (a kopott, sérült, repedt részek kijavítása összehegesztéssel vagy a hiányzó anyag pótlásával).

64. ábra. *Lézersugaras mikrohegesztés alkalmazási példái különféle lámpák alkatrészeinek hegesztésére*

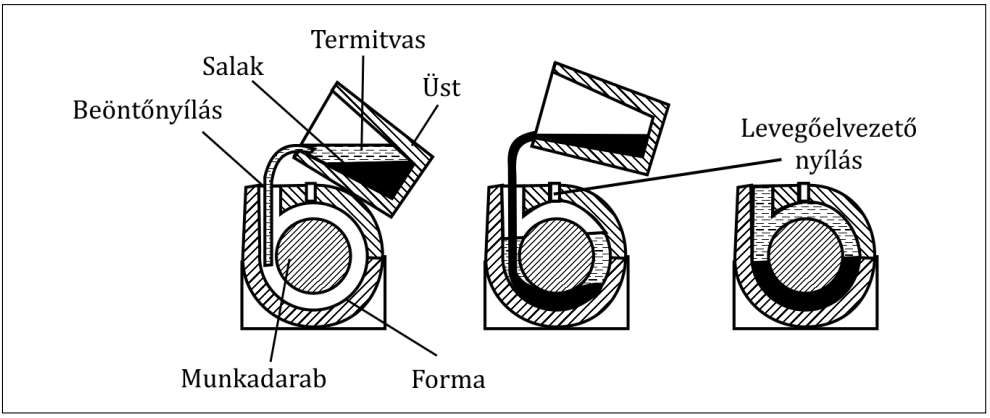
3.11. A termithegesztés

A sajtoló termithegesztés (**65. ábra**) során a termitporból termitreakcióval (Fe_2O_3 + 2Al → 2Fe + Al_2O_3 + 759,9 kJ) előállított nagy hőmérsékletű reakciótermékek (2400 °C-os termitvas = 2Fe + folyékony salak = Al_2O_3) hőtartalmával felhevített munkadaraboknak célszerűen kialakított zömítőszerkezettel végrehajtott melegsajtolása eredményeképpen alakul ki a hegesztett kötés.

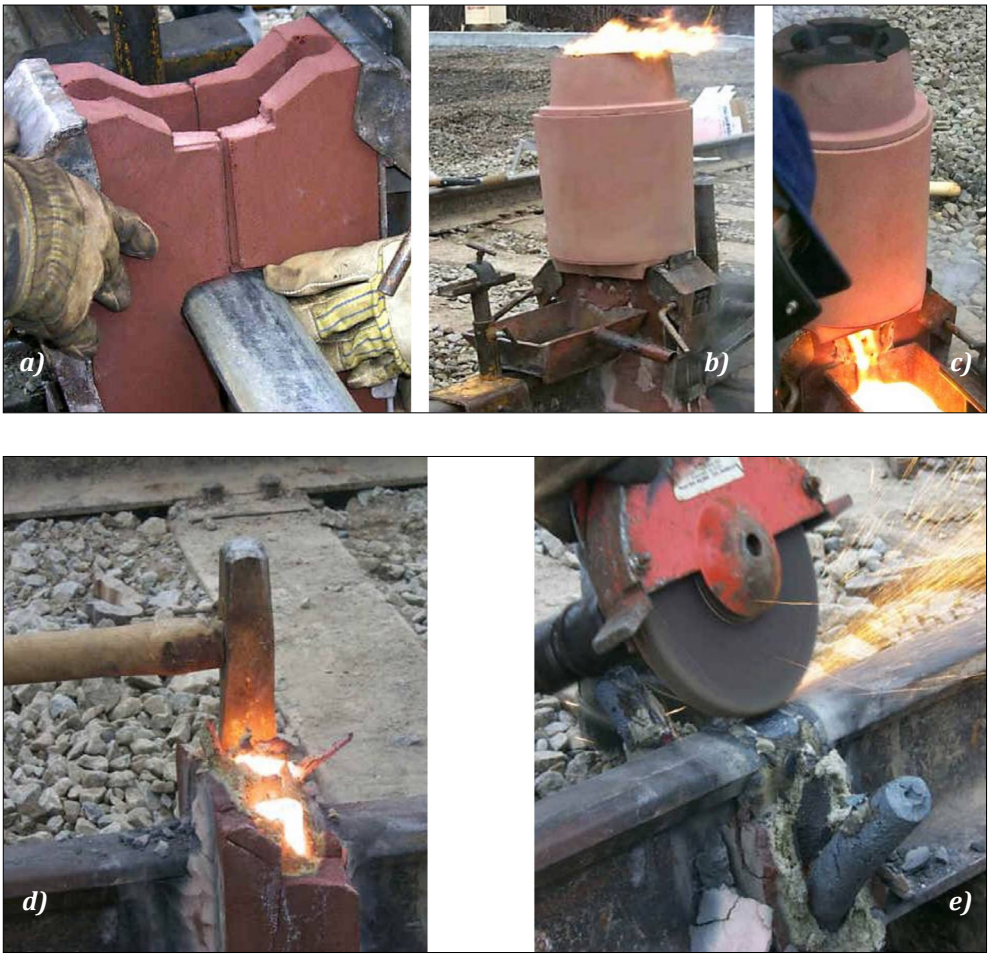
Az ömlesztő eljárásváltozattal (**66. ábra**) ellentétben itt a reakciótermékeknek csak a hőtartalmát hasznosítják, a termitvas mint hozaganyag nem vesz részt a kötésképzésben. Még akkor sem tekinthető a termitvas hozaganyagnak, ha a munkadarabokhoz hozzákötött, sorjaszerűen elhelyezkedő anyagot utólag nem távolítják el.



65. ábra. *Sajtoló termithegesztés vázlata*



66. ábra. *Az ömlesztő termithegesztés fázisai*



67. ábra. *A termithegesztés legfontosabb alkalmazása: vasúti sínek, villamossínek tompakötéseinek hegesztésére. a) Öntőforma b) Fövés c) Csapolás d) Az öntőforma lebontása e) Köszörülés*

4. A HEGESZTŐANYAGOK FONTOSABB JELLEMZŐI

4.1. A bevont elektródák

A hegesztőanyagok szorosan kötődnek a hegesztési eljárásokhoz, amelyek általában a felhasználásuk módját és az elnevezésüket is meghatározzák. A gyakorta használt „hozaganyag" kifejezés általában az ömlesztőhegesztési eljárásokban alkalmazott, a hegesztési folyamat során megolvadó fémes anyagok gyűjtő elnevezése. A hozaganyag az alapanyag megolvadó részével összekeveredik, és így beépül a megdermedő ömledék anyagába, tehát a varratfém alkotója lesz.

A hegesztés alapfogalmait meghatározó egyik szabvány – az MSZ EN ISO 17659:2004 Hegesztés. Hegesztett kötések többnyelvű fogalommeghatározásai ábrákkal (ISO 17659:2002) – szerint a hegesztőanyag a hegesztés folyamán külön adagolt vagy előre elhelyezett, a varrat tömegének és tulajdonságainak biztosításához szükséges anyag.

Fémes anyagok hegesztésekor legalább egy tucat hegesztőanyagfajtát alkalmaznak, de csak azokat említjük meg ebben a fejezetben összegyűjtve, amelyek a fentiekben bemutatott hegesztési eljárásokhoz kapcsolódnak:

– bevont elektróda,
– tömör huzalelektróda,
– porbeles huzalelektróda,
– hegesztőpálca,
– hegesztőhuzal,
– fedőpor,
– védőgáz.

Tehát különbséget kell tenni a hegesztőelektróda és a hegesztőpálca, illetve hegesztőhuzal között. Az huzalelektródák a rajtuk átfolyó áram hatására, míg a hegesztőpálcák és az árammal át nem járt hegesztőhuzalok a külső hőforrás vagy az ömledék hatására olvadnak meg.

A védőgázok általában nem épülnek be a varrat anyagába, de az oxigén és a nitrogén egyértelműen beoldódik a varratfémbe – a nitrogén esetében ez kifejezetten az ötvözés egyik módját jelenti –, viszont mindenkor jelentős mértékben befolyásolják a varratképződés körülményeit, a metallurgiai folyamatokat, a hegesztett kötés tulajdonságait.

A hozaganyag anyagminősége főszabályként az alapanyaghoz igazodik, vagyis az a cél, hogy a varratfém az alapanyag kémiai és mechanikai jellemzőivel közel azonos legyen. Nemritkán azonban ettől el lehet térni, és az alapanyag tulajdonságait figyelembe véve – vagy egymástól eltérő alapanyagokhoz – olyan hozaganyag választandó, amelynek varratféme az adott körülményeknek leginkább megfelel. Ilyen esetet jelentenek általában az alumíniumötvözetek, a rozsdamentes acélok és a vegyes kötések.

Azokhoz a gyártmányokhoz, amelyekkel szemben fokozott elvárásokat támasztanak, pl. hajó, nyomástartó edény, daru stb., általában előírják, hogy csak hivatalos minősítésű hegesztőanyagokat szabad használni. A gyártók a katalógusaikban megadják az ebből a célból megszerzett tanúsítványaik jelzését.

A hozaganyagok közül számos szempont szerint választhatunk, itt csak néhány példát mutatunk:

- Az alapanyag anyagminősége alapján.
- A hegesztés rendeltetése szerint: kötőhegesztés, javítóhegesztés, felrakóhegesztés.
- A kivitelezés módja szerint: gépi vagy kézi hegesztés.
- A gyártmány jellege és a hegesztési helyzet; pl. cső vagy sík lemez, vízszintesen vagy függőlegesen készül a varrat.
- A termék igénybevétele szerint: statikus, dinamikus, fárasztó stb. igénybevétel figyelembevételével.

4.1.1. A bevont elektródák alaptulajdonságai

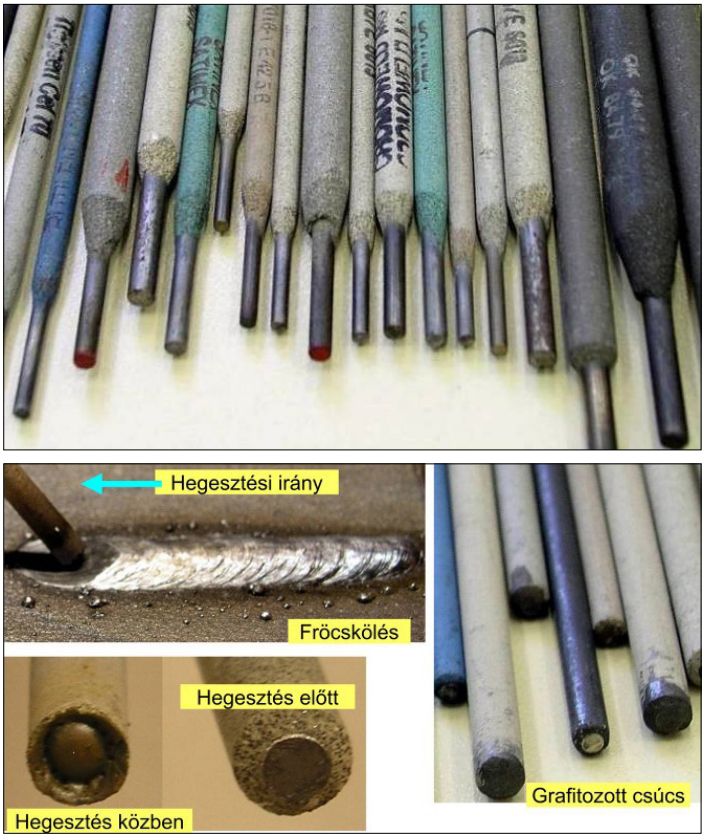
A bevonatos elektróda maghuzalból és a maghuzalra sajtolt bevonatból áll (**68. ábra**). Az elektródák járatos maghuzalátmérője: 2,0–2,5–3,25–4,0–5,0 mm, hossza 300–350–450 mm. A bevonat erősen befolyásolja a függőleges helyzetben való alkalmazhatóságot, a csőhegesztésre való alkalmasságot, a kihozatali tényezőt (vannak ún. nagy hozamú elektródák), a varratalakot, az ívgyújtási képességet, a salakképzést, salakleválást, a fröcskölési hajlamot stb.

Az elektródabevonat alkotói különféle szervetlen és esetenként szerves vegyületek, amelyekből akár több tucat különféle összetevő is bekerülhet a be-

vonatba. A kézi ívhegesztés alapvető jellegzetessége a salakképződés, a salak pedig attól függő hatást fejt ki, hogy milyen a salakképző alkotóknak az olvadékfázisok (fémolvadék és olvadt salak) közötti fizikokémiai reakciókban mutatott aktivitásának eredője. Ebből a szempontból az elektródabevonat bázikus salakképző alkotói protonfelvételre, illetve elektronleadásra hajlamosak (kationképzésre), míg a savas alkotók protonleadásra vagy elektronfelvételre (anionképzésre) hajlanak.

A bázikus salak legfontosabb összetevője a CaO, a savas (savanyú) salakoké pedig a SiO_2.

Az elektródabevonatokban tehát a legfontosabb összetevők a salakképzők, de emellett redukálószerek (pl. szénpor, alumínium), ötvözők (pl. ferrokróm), gázképző anyagok, kötőanyagok és színezőanyagok is megtalálhatók bennük.



68. ábra. *Bevonatos elektródák kézi ívhegesztéshez. Az elektródát hegesztés közben „húzva" kell vezetni. Az elektróda végének grafitozása a bázikus elektródáknál szokásos*

Az elektródabevonat és a belőle képződő salak legfontosabb feladatai a következők:

- az ívgyújtás és az ívújragyújtás elősegítése,
- az ívstabilitás biztosítása,
- védőgáz képzése, amely jellemzően CO és CO_2,
- salakképzés; az olvadt salak végzi az ömledék metallurgiai kezelését, a megszilárdult salak lassítja a lehűlést, és véd az oxidáció ellen,
- a hegesztéskor kiégő ötvözők pótlása,
- a hegfürdő dezoxidálása,
- a fajlagos leolvadási teljesítmény (tömeg/idő) növelése (vasportartalmú elektródákban),
- a szilárd szennyezők (S, P) és a gázszennyezők (H, N) eltávolítása,
- a fröcskölés csökkentése,
- a vízszintestől eltérő helyzetben a hegesztés elősegítése,
- a varratdudor kedvező alakjának formálása.

Az elektródabevonat vastagsága szerint lehet vékony, közepesen vastag vagy vastag. A maghuzal egységnyi tömegére vonatkoztatva az elektróda kihozatali tényezője 65% és 240% között változhat.

4.1.2. A bevont elektródák fajtái és fő jellemzői

Az elektródabevonatok alaptípusait és azok legfontosabb jellemzőit az alábbiakban foglaljuk össze.

- **Bázikus bevonat**; jelölése: B. Jellemző alkotója a mészkő ($CaCO_3$). Ívgyújtási képessége gyenge, ezért grafitozzák be az elektróda végét. A bevonat nedvszívó, ezért használat előtt 2–3 órán át 300 °C-on ki kell szárítani. Érzékeny a polaritásra. A bázikus salaknak köszönhetően olyan varratfémet eredményez, amelynek szívóssága kielégíti akár a –40 °C-ra előírt ütőmunka követelményt.
- **Rutilos bevonat**; jelölése: R. Jellemző alkotója a rutil (TiO_2). Ívgyújtási képessége és a legtöbb hegesztéstechnikai sajátossága kiváló. A savas salak miatt a varratfém szívóssága legfeljebb –20 °C-ra előírt ütőmunka-követelményt elégíti ki. Mind egyenáramú, mind váltakozó áramú áramforrásról jól leolvasztható.
- **Cellulózos bevonat**; jelölése: C.

A bevonat jellemző alkotói a szerves anyagok, amelyek a leolvasztás során elégve nagymennyiségű védőgázt fejlesztenek. Kimondottan a nagy átmérőjű

olaj- és gáztávvezetéki csövek szabadtéri, fentről lefelé haladó hegesztésére fejlesztették ki, és mindmáig ez a legfontosabb alkalmazásuk.

- Manapság gyakran használnak vegyes jellegű bevonatokat, pl. rutilos-bázikus (RB) vagy rutilos-cellulózos (RC), és létezik, de kicsi a gyakorlati jelentősége az oxidos (O) és a savas (A) bevonatnak.
- Nagy kihozatalú (nagy hozamú) bevonat: RR.

A nagy falvastagságú anyagokból készülő gyártmányok hegesztett kötéseit gyakran kell több rétegből és rétegenként több varratsorból felépíteni. Ilyen esetekben használják a nagy kihozatalú elektródákat, amelyekkel egy varratsor keresztmetszete vagy/és a hegesztési sebesség jelentősen megnövelhető. Az ilyen bevonatok vastagok, bennük a vaspor mennyisége akár meg is haladhatja a maghuzal anyagának mennyiségét. Ezekkel az elektródákkal csak vízszintes helyzetű varratok készíthetők.

4.2. A hegesztési védőgázok

A védőgáztól erősen függ a beolvadási mélység, a varratalak, a fröcskölés mértéke, a hőbevitel, a fémtani hatások (pl. ötvözők kiégése) és a termelékenység. A kötés minősége alapvetően a védőgáz és a hozaganyag kölcsönös megválasztásától, összehangolásától függ. Ezzel kapcsolatban mérlegelni kell, hogy a meglevő eszközök milyen gázellátást tesznek lehetővé, pl. célszerű-e központi gázellátást megvalósítani, vagy megfelel a helyi palackos megoldás egyedi gázkeverőkkel. Meg kell választani a megfelelő keverési arányt az alapanyag, a vastagság, a varrat külalakja, a beolvadási mélység stb. figyelembevételével. A védőgázmennyiség beállítására általában elfogadható, hogy a percenkénti átfolyási érték a huzalátmérő 10–12-szerese. A védőgázok jellemzőit és előírásait az MSZ EN ISO 14175:2008 szabvány tartalmazza, az alábbi gáz-, illetve gázkeverékcsoportokat határozva meg:

- I semleges Ar, He, Ar + He;
- M1 oxidáló keverék $Ar + CO_2 + O_2 + H2$;
- M2 oxidáló keverék $Ar + CO_2 + O_2$;
- M3 oxidáló keverék $Ar + CO_2 + O_2$;
- C erősen oxidáló CO_2, $CO_2 + O_2$;
- O oxigén O_2;
- R redukáló keverék $Ar + H_2$;
- N nitrogénes Ar, N_2, $N_2 + H_2$, $Ar + N_2 + H_2$;
- Z egyéb.

A **4. táblázat** a huzalelektródás, védőgázos ívhegesztésre, a különféle alapanyagokhoz javasolt védőgázok főbb fajtáit mutatja. A színezett háttérrel jelöltek az „alapgázok", a fehér hátterű sorokban a ritkábban használt keverékek vannak feltüntetve.

Az **5. táblázat** A volfrámelektródás, védőgázos ívhegesztésre, az eljárás szempontjából legjellemzőbb alapanyagcsoportokhoz javasolt védőgázokat mutatja.

A gáztisztaság jelölése

A gáztisztaságot egyszerű számkombináció jelöli. A ponttal elválasztott két szám első tagja a térfogat-százalékos gáztartalom számértékében szereplő 9-esek számát, a pont utáni tagja az utolsó 9-es után írandó számot adja meg. Például a 4.5 jelölés értelmezése: 99,995% tisztaságú alapgáz, amely mellett 0,005% = 50 ppm szennyező (pl. egyéb gáz, nedvesség) lehet.

A gázpalackok jelölése

A felhasználó részére a színjelölés a gáztöltet tulajdonságaira (éghető, oxidáló, semleges, mérgező stb.) vonatkozó általános információkat adja meg. A gázpalackok vállrészén található címke jelölései nem képezik e tárgyalás részét.

4. táblázat. *Védőgázok a főbb alapanyagcsoportokhoz, huzalelektródás védőgázos hegesztéshez*

Alapanyagcsoport	Ar (%)	CO_2 (%)	O_2 (%)	He (%)	H_2 (%)	N_2 (%)	NO (ppm)
Ötvözetlen és gyengén ötvözött minőségi és nemesacélokhoz		100					
	82	18					
	90	10					
	92	8					
	91	5	4				
	82	18					300
Rozsdamentes (korrózióálló, hőálló és kúszásálló) acélok	97,5	2,5					
	99		1				
	78	2		20			
	67,95	0,05		30	2		
	84,95	0,05		10		5	
Alumínium-ötvözetek	100						
				100			
	50			50			
	69,97		0,03	30			

5. táblázat. *Védőgázok a főbb alapanyagcsoportokhoz, volfrámelektródás védőgázos hegesztéshez*

Alapanyagcsoport	Ar (%)	CO_2 (%)	O_2 (%)	He (%)	H_2 (%)	N_2 (%)	NO (ppm)
Rozsdamentes (korrózióálló, hőálló és kúszásálló) acélok és Ni ötvözetek	100						
	75			25			
	95				5		
	97					3	
	97				1	2	
	78			20		2	
Alumíniumötvözetek	100						
	100						300
				100			
	50			50			
	69,97		0,03	30			

4.3. A lánghegesztés gázai

Az acetilén (C2H2) a leggyakrabban használt éghető gáz. Színtelen, szagtalan, nem mérgező, telítetlen szén-hidrogén-vegyület, amely könnyen szétesik alkotóira, intenzív hőfejlődés közben. Az acetilén–oxigén-keverék 3–93% acetilén-tartalomnál robbanóképes keverék. A palack színe gesztenyebarna.

A hegesztéshez szükséges acetilént acélpalackban forgalmazzák. Az acetilént 10, 20, 40, illetve 50 liter térfogatú palackokban tárolják. Az acetilén jól oldódik acetonban. 15 °C-on, 0,1 MPa nyomáson 1 liter tiszta aceton kb. 24 liter acetilént képes elnyelni. A palackot porózus anyaggal töltik meg, ebbe, mint egy szivacsba itatják be az acetont, és az immár igen nagy felületű folyadékban nyeletik el az acetiléngázt. A nyomás így robbanásveszély nélkül 1,5–1,9 MPa-ig (15–19 bar) fokozható. A palackba 16 liter acetont töltenek. A 16 liter aceton 15 °C-on és 1,9 Pa nyomáson 16 × 24 × 19 = 7296 liter ≈ 7,3 m^3 acetilént képes elnyelni. A gázhegesztésre és lángvágásra szánt acetilént tároló disszugázpalackokat nem nyomásra, hanem tömegre töltik. Egy 40 literes palackba kb. 7,2 kg gázt töltenek, így a palack nyomása a hőmérséklettől függően több vagy kevesebb is lehet.

Az oxigén színtelen, szagtalan, íztelen, nem mérgező gáz. Nem ég, de az égést táplálja. Iparilag a levegőből állítják elő, a levegő cseppfolyósítása, majd szakaszos lepárlása révén. Hegesztés céljára legalább 99,5%-os tisztaságú oxigén

szükséges, amelyet gáz- vagy cseppfolyós halmazállapotban tárolnak és szállítanak. A folyékony oxigén –183 °C hőmérsékletű. Egy liter folyékony oxigén 15 °C-on, 0,1 MPa nyomáson 863 liter gáznemű oxigénné alakul át, hőfelvétel (és a környezet lehűlése) közben. Így az oxigéntartály használata nagyipari üzemekben igen gazdaságos.

A kék színű, fehér nyakú gázpalackot (**69. ábra**) szelep zárja le. Az oxigén- és a hidrogénpalack szelepe sárgarézből, míg az acetilénpalack szelepe acélból készül, szerkezetük és működésük hasonló. Azonban, az összecserélést elkerülendő, eltérő a nyomáscsökkentő csatlakozási és tömítési módja, a tömszelence rögzítése, valamint a szelep nyitása. Az oxigénpalack szelepét óvni kell mindenféle zsiradéktól és olajtól, mert ezek az anyagok az oxigéntől meggyulladnak.

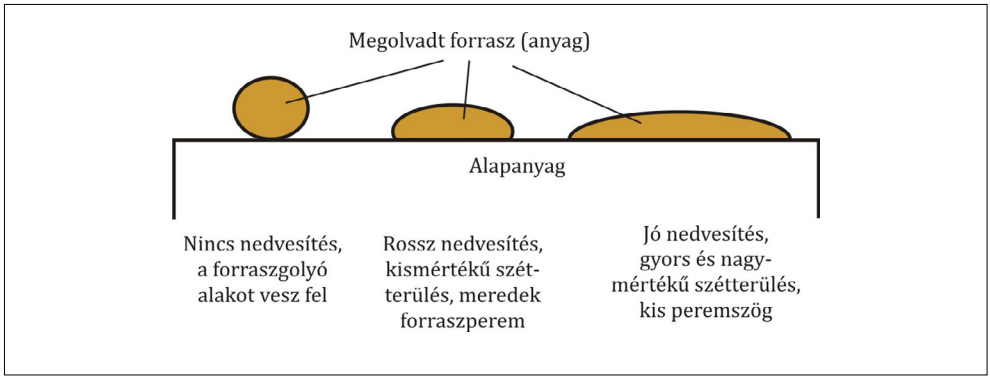
69. ábra. *A lánghegesztés gázainak tárolópalackjai*

5. A FORRASZTÁS ALAPJAI

A forrasztás lényege abban foglalható össze, hogy az összeforrasztandó anyagok között kialakított szűk résbe – amelynek szélessége legfeljebb 0,1–0,2 mm – az olvadáspontjuknál kisebb olvadáspontú, olvadékállapotba hozott forraszanyagot juttatunk, amely forraszanyag megszilárdulván erős adhéziós és gyakran adhéziós+diffúziós kötést alakít ki az általa beborított felületek között. A forraszanyag behatolását a kapillárishatás teszi lehetővé. Ez akkor működőképes, ha a fémfelületet a forraszanyag olvadéka csaknem tökéletesen nedvesíti. A jó nedvesítés (**70. ábra**) feltételei csak akkor teljesülnek, ha a forrasztandó felületekről minden szennyeződést (zsír, nedvesség) és a felületi oxidréteget is eltávolítjuk. Ezt a tisztítást a folyasztószerek biztosítják.

A forraszanyagok, ötvözetek lévén, egy hőmérsékleti sávban olvadnak meg. Az ennek megfelelő forrasztási hőmérséklet és az ezzel szinte teljesen együtt változó kötésszilárdság alapján különböztetik meg:

– a lágyforrasztást, amelyre 450 °C-nál kisebb a munkahőmérséklet és legfeljebb 50 MPa a kötési szilárdság, valamint
– a keményforrasztást, ahol 450 °C-nál nagyobb a munkahőmérséklet. A kötésszilárdság általában nem haladja meg a 300 MPa-t.



70. ábra. *A nedvesítés jellegzetes esetei*

5.1. A lágyforrasztás

A lágyforrasztás ott alkalmazható (pl. finommechanika, elektronika), ahol a kötésnek nem kell nagy szilárdságúnak lennie, de a megfelelő tömörség, a jó áram- és hővezető képesség kívánatos. A keményforrasztás viszonylag nagy szilárdságot ad, és a kötés nagyobb üzemi hőmérsékleten is alkalmazható.

A forrasztás előnyei:

- A legtöbb fém, valamint néhány üveg- és kerámiafféleség is összeköthető.
- Jelentősen eltérő vastagságok is összeköthetők.
- A forrasztási hőmérsékletek lényegesen kisebbek a hegesztéssel összevetve, ezért kisebb elhúzódások és maradó feszültségek alakulnak ki.
- Az alapanyagok nem olvadnak meg.
- Tömör, a villamos áramot és hőt jól vezető kötések hozhatók létre.

A forrasztás hátrányai:

- A kötés szilárdsága viszonylag kicsi.
- A forrasztási hézag kisebb megengedett tűrése pontosabb munkadarab-előkészítést igényel.
- Folyasztószer és/vagy védőgáz (esetleg vákuum) alkalmazására szükség van.
- A forraszanyag és az alapanyag eltérő volta miatt (kontakt)korróziós érzékenység alakul ki.

A forrasztási eljárásokat aszerint szokták meghatározni, hogy milyen hevítési módszerrel történik a forraszanyag megolvasztása. Ezeknek a hevítési módoknak a száma igen nagy, mindössze hármat ismertetünk vázlatosan, a pákás forrasztást, a hullámforrasztást és a lángforrasztást.

a) A pákás lágyforrasztás

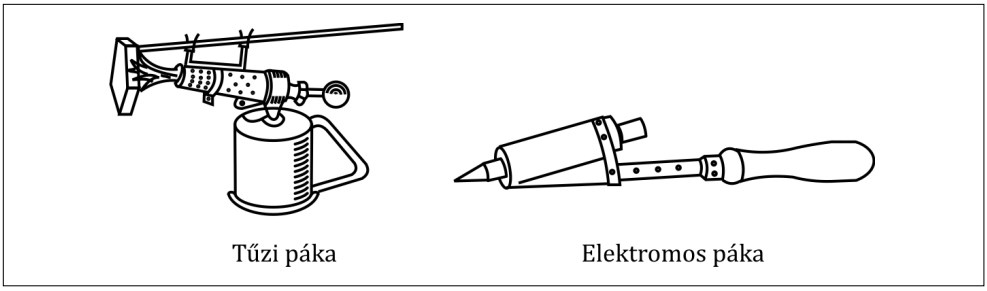
A forrasztandó felületek felhevítéséhez gyakran alkalmaznak forrasztópákát (**71. ábra**). A forrasztópáka nem tévesztendő össze a hegesztőpálcával! Az előmelegített pákával a forraszanyagot megolvasztják, és a forrasztás helyére viszik. Itt addig tartják, amíg az alapanyag is felhevül a kívánt hőmérsékletre, és a forrasz a hézagot kitölti. Mivel megfelelő szilárdságú kötés csak úgy érhető el, ha a forraszanyag vékony rétegben köti össze a felületeket (azaz a forrasztási hézag kicsi), ezért a forrasztás alatt a munkadarabokat szerszámmal vagy a pákával össze kell szorítani.

Ha a páka hőmérséklete megfelelő, akkor elegendő azt hozzáérinteni a forraszhoz, és az szinte azonnal megolvad. A túlságosan meleg páka egyszerre nagy mennyiségű forraszt olvaszt le, melynek egyenletes eloszlatása körülményessé válik, továbbá a forrasz oxidálódhat is. Túl kicsi hőmérsékletű páka a felületeket nem képes felhevíteni, a forraszanyag kihűl, és így valódi kötés nem jön létre.

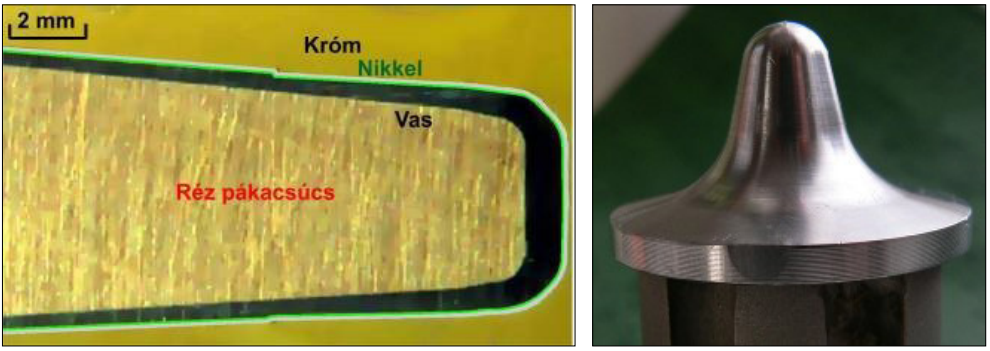
Forrasztáskor szem előtt kell tartani, hogy a forrasztott kötés szilárdsága jelentős mértékben függ az összeforrasztott felületek nagyságától. Ezért ahol nagyobb szilárdságra van szükség, ott célszerű átlapolt vagy hevederes kötéskialakítást alkalmazni.

A lágyforrasztáshoz évtizedeken keresztül leggyakrabban ón-ólom ötvözeteket használtak. Az Sn-37Pb eutektikus ötvözet pépes állapot nélkül dermed szilárd állapotba. 2006 óta azonban több területen csak ólommentes lágyforraszok, pl. Sn-Cu, Sn-Cu-Ag használhatók az EU-ban.

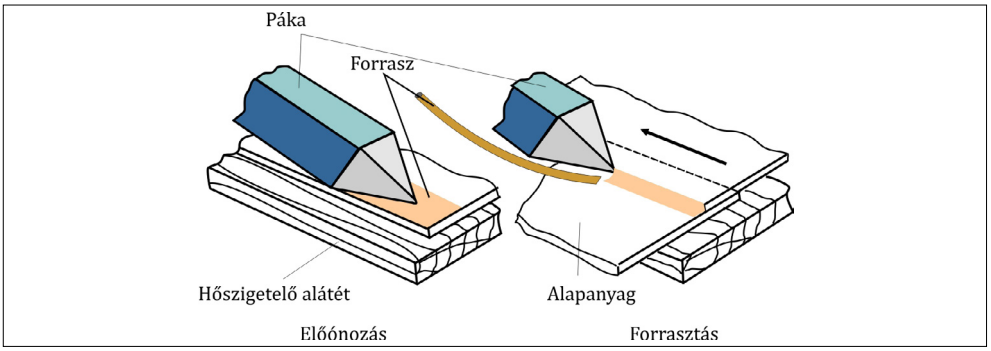
A legkisebb olvadáspontú lágyforrasz az ón, ólom, bizmut hármas eutektikumából készíthető, amely már 96 °C-on megolvad. Az alumíniumot Sn-Zn-Al-Cd-ötvözetekkel (pl. 40Sn-35Zn-15Al-10Cd) forrasztják.



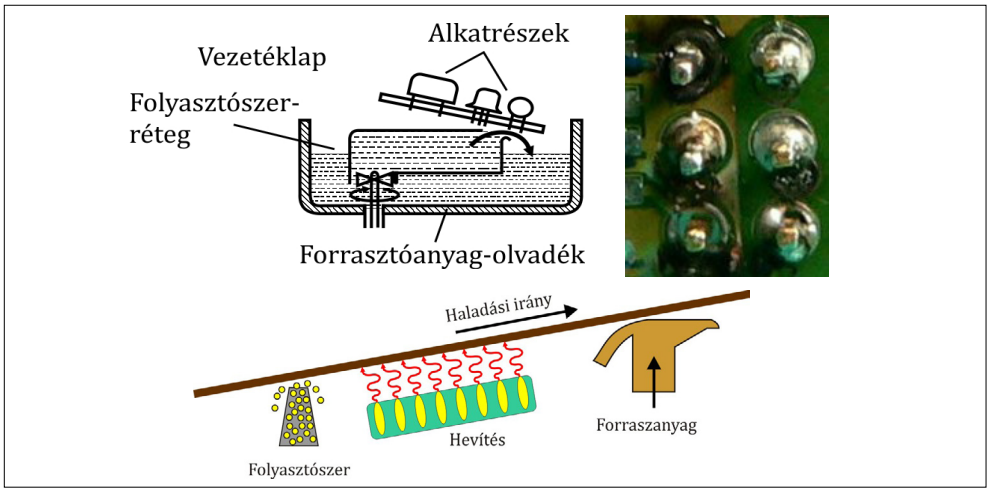
71. ábra. *Forrasztópákák*



72. ábra. *Pákacsúcsok*



73. ábra. *Forrasztási technika vázlata*



74. ábra. *A hullámforrasztás vázlata és alkalmazási példája*

b) A hullámforrasztás

A sorozatgyártásban jól alkalmazható lágyforrasztási módszer kemencés forrasztás, a bemártásos forrasztás és a hullámforrasztás (**74. ábra**).

A hullámforrasztásnál a három fő munkaszakasz – a folyasztószer-adagolás, a hevítés és a forraszadagolás – egymástól térben és időben teljesen elkülönül. Az előmelegítés 80–110 °C-ra történik, és eltávolítja a folyasztószer oldószerét. Maga a forraszanyag biztosítja a további hőszükségletet. A hullámforrasztó gépekben a forrasztási folyamat általában nitrogén védőgáz alatt történik.

Az elektronikai panelek hullámforrasztásának kezdetét 1956-ra datálják. Az a megoldás, hogy a megolvasztott forraszt egy fúvókán keresztül felfelé spriccelve – afféle hullámként – juttatják alulról a panel hátlapjára, a gyakorlatban nagyon eredményesnek bizonyult. Ez a forrasztási módszer tette lehetővé a

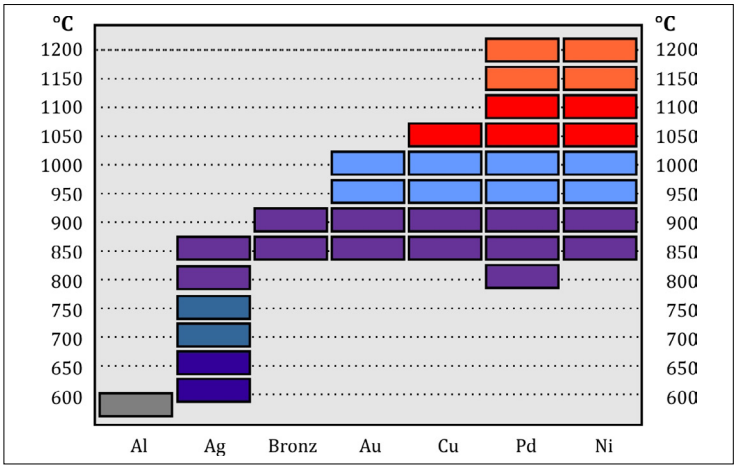
teljes, előszerelt nyákpanelek tömeggyártását. Az összes forrasztási pont egy síkon helyezkedik el, a forrasz olvadéka minden forrasztási pontot biztosan el tud érni és ki tud tölteni anélkül, hogy az egymáshoz közeli forrasztási pontok között áthidalás jönne létre.

5.2. A keményforrasztás

A keményforrasztást elsősorban jelentős mechanikai igénybevételnek, illetve hőhatásnak kitett munkadarabokon célszerű alkalmazni. A forraszanyag helyes megválasztása eredményezi a jó kötésminőséget, ezért fontos, hogy a forrasz olvadáspontja közelítse meg a forrasztandó anyagokét, de azokénál mindenképpen kisebb legyen. A gyakorlatban a rézbázisú keményforraszok terjedtek el leginkább. Legkisebb dermedési hőmérséklet-intervalluma a Cu-42Zn sárgaréznek van, de jelentős mennyiségben alkalmaznak nagy ezüsttartalmú ötvözeteket is.

A sárgarezek nagyobb hőmérsékleten olvadnak, mint az ezüstforraszok, viszont ez utóbbiak hígfolyósabbak, ezért a hézagokba jobban befolynak, simább felületet adnak. Az ezüstforraszok további előnyei: a pontosan tartható olvadáspont és forrasztási hőmérséklet, a viszonylag nagy szilárdság, a rövid forrasztási idő, a jó nedvesítőképesség, a kiváló korrózióállóság és a forrasz jó alakíthatósága. 50%-nál nagyobb ezüsttartalmú forraszokat használnak a nemesfémek forrasztásához.

A keményforraszok alapalkotó szerinti főcsoportjait mutatja a **75. ábra**, míg a **76. ábrá**n jellegzetes keményforrasztott gyártmányok láthatók.



75. ábra. *A keményforraszok fő csoportjai az alapalkotó szerinti csoportosításban*

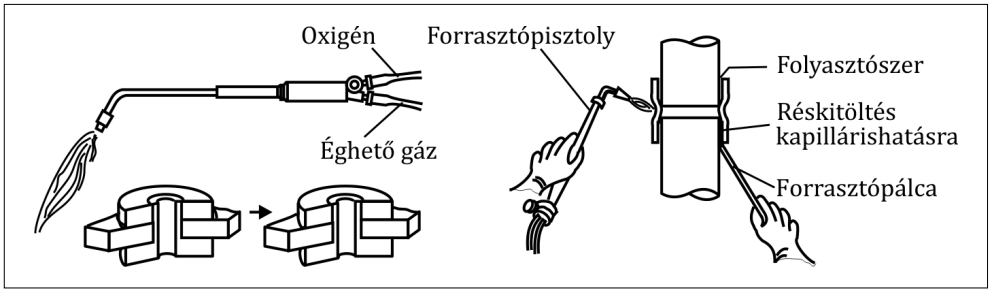
76. ábra. *Keményforrasztott gyártmányok*

A lángforrasztás

Az eljárás szabványos neve: lánghevítéses keményforrasztás. Mivel a láng nagy hőmérsékletű, a forraszanyagot az összekötendő tárgyak melegével (**77. ábra**) olvasztják meg, ugyanis a közvetlenül túlhevített forraszanyag éléghet, a kötés pedig rideggé és salakossá válhat.

A hevítést gázláng végzi, amely többnyire szénhidrogén elégetésével képződik. A használható gázok: acetilén+oxigén, propán+oxigén, Pb-gáz+oxigén, levegő+földgáz, levegő+Pb-gáz. A gázok kiválasztását a költségek mérlegelésével kell végezni.

Nem a forraszanyagot kell megolvasztani a lánggal, hanem az alkatrészeket kell kellően felmelegíteni, amely a hozzá érintkező forraszt megolvasztja. A forrasz pasztaként is adagolható bóraxszal összekeverve, illetve a huzal-/pálca-kiszerelésű forrasz felhevített vége belemártható a folyasztószerbe, amely így rátapad, és a huzallal együtt jut a kötési zónába, ahol előbb olvad meg, mint a forrasz.



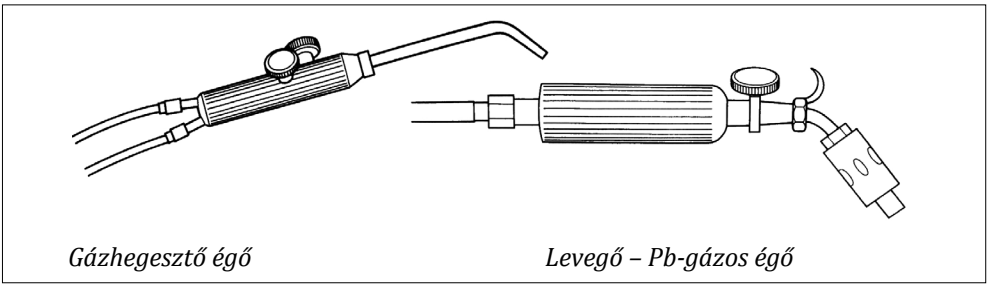
77. ábra. *Keményforrasztás forrasztóégővel*

A forrasztáshoz a lánghegesztés égője teljesen alkalmas (**78. ábra**).

Kézi eljárásként és automatasorokon egyaránt jól alkalmazható. Nagy tömegű alkatrészek gyors hevítésére is alkalmas, viszont erős revésedéssel és a láng nagy szétterülésével kell számolni.

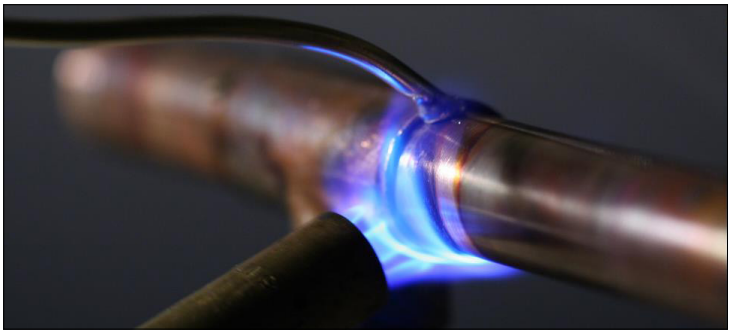
A lángot egyenletesen oda-vissza mozgatva kell melegíteni az alkatrészeket a folyasztószer habzásának kezdetéig.

A forraszanyag leolvasztása: a varrat egyik végéhez érintve, majd folyamatosan követve a varrat vonalát (**79. ábra**).



Gázhegesztő égő *Levegő – Pb-gázos égő*

78. ábra. *Lángforrasztó égők*



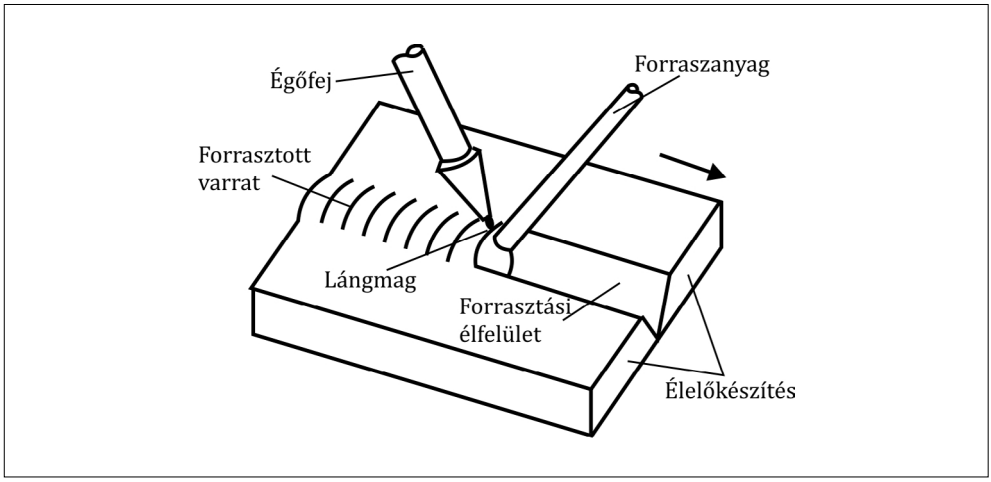
79. ábra. *A lángforrasztás szemléltetése*

6. A HEGESZTŐFORRASZTÁS

A hegesztőforrasztások olyan forrasztási eljárások, amelyek alkalmazásakor a keményforrasztott kötéshez nagyon hasonló tulajdonságú kötés állítható elő az ömlesztőhegesztési eljárásokhoz használt berendezésekkel. A forrasz olvadási hőmérséklet-tartománya kisebb az alapféménél, de nagyobb 450 °C-nál, és nem érvényesül a keményforrasztáskor szokásos kapilláris hatás. Az alapfém megolvasztása kismértékben végbemehet a villamos ív hatására. Az eljárást elsősorban a kapillárishatással nem kialakítható kötésekhez, valamint hagyományos hegesztési eljárásokkal nem hegeszthető, pl. egymástól eltérő, fémes bevonatú, 1 mm-nél vékonyabb anyagokhoz alkalmazzák.

6.1. A láng-hegesztőforrasztás

Az eljárás lényegében megegyezik a lánggal végzett keményforrasztással, de a lánghegesztéshez (balra hegesztési technika) hasonlóan végzik (**80. ábra**), más munkahőmérsékleten és folyósítószerrel.



80. ábra. *A láng-hegesztőforrasztás vázlata*

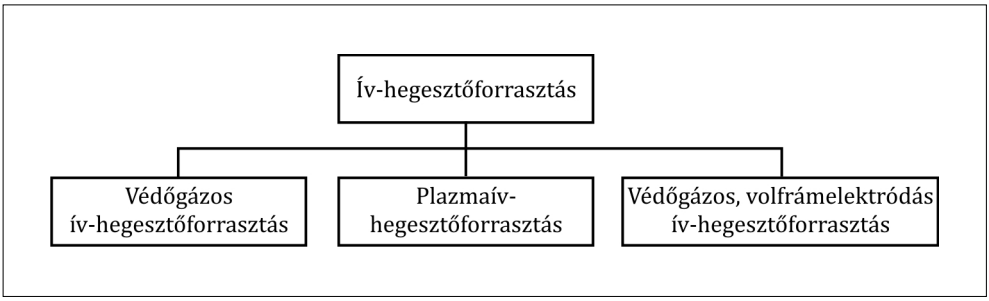
A lehetséges alkalmazási területek egyike a különböző falvastagságú horganyzott acélcsövek forrasztóhegesztése, ugyanis a cink 907 °C-on elgőzölög, így nagy hőmérsékletű ömlesztőhegesztéssel széles sávban leégne. A kötés megfelelősége szempontjából fontos az égőszár helyes kiválasztása:

– az optimálisnál kisebb méretű használata esetén fennáll a kötéshiba veszélye;
– túl nagy méretű alkalmazásakor a kötés környezete túlságosan felhevül, a cinkbevonat leég, illetve intenzíven párologni kezd, és a kötés porózussá válik.

A felhordott folyósítószer az előkészített éleket lefedi, védve azt az oxidációtól.

6.2. Az ív-hegesztőforrasztás

Az **81. ábra** mutatja be az ív-hegesztőforrasztások egy lehetséges felosztását.



81. ábra. Az *ív-hegesztőforrasztás*

A fémbevonatos finomlemezekből előállított szerkezeteknél és a vékony acéllemezeknél alkalmazott eljárások hegesztőforrasztási huzalelektródái rézbázisú ötvözetek (szilícium-, alumínium-, illetve ónbronzok), amelyek likvidusz hőmérséklete 910–1040 °C közötti. A lehető legkisebb hőbevitellel, rövidzárlatos vagy impulzusos anyagátviteli móddal (50–150 A), argonbázisú védőgázzal célszerű hegesztőforrasztani. A bronz forraszanyagok használatának előnye a kis olvadásponton túl, hogy az elkészült varrat nem korrodálódik, a bevonat leégése csekély, a hőbevitel kicsi, a fröcskölési veszteség nem számottevő, és a varrat utánmunkálása is egyszerű. A lehető legkisebb hőbevitel érdekében a védőgázos ív-hegesztőforrasztást rövid ívű (rövidzárlatos anyagátviteli módot biztosító) tartományban vagy az impulzusos hegesztés alsó áramerősség-tartományában kell végrehajtani. A hegesztőégőt tolóhelyzetben kell mozgatni, ami szintén a kis hőbevitelt szolgálja.

a) cső–cső-kötés

b) személygépkocsi katalizátordobja

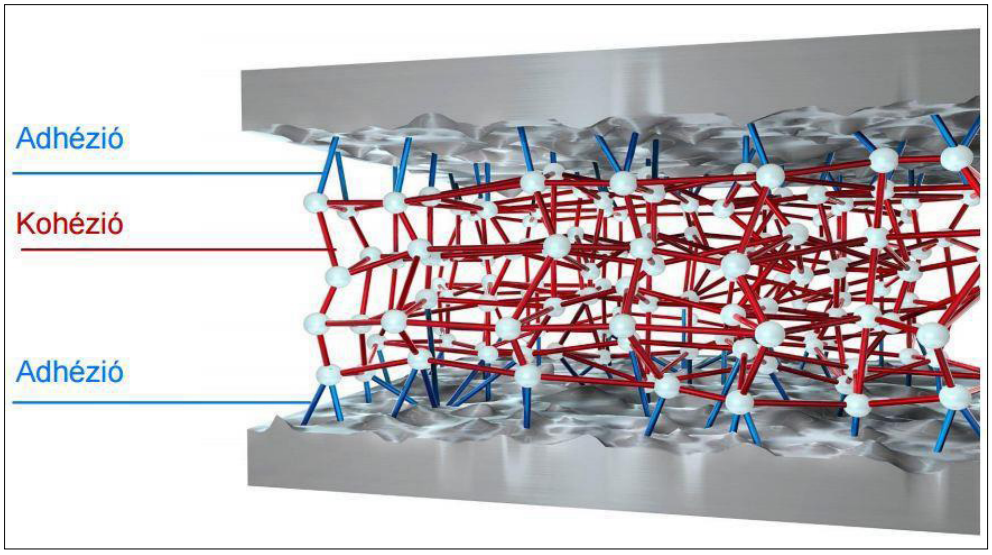
82. ábra. *Az ív-hegesztőforrasztás két alkalmazási példája*

7. RAGASZTÁS

A ragasztás két vagy több szilárd anyagrész kikeményedő ragasztóanyaggal történő összekötése. A kialakuló kötés az összeerősítendő – azonos vagy eltérő minőségű – anyagdarabokból és a ragasztórétegből áll. A ragasztott kötés szilárdságát a ragasztóréteg és az összekötött anyagok szilárdsága, valamint a ragasztási felületeken ható adhéziós erők határozzák meg (**83. ábra**).

A jó adhéziós tapadás és a ragasztóréteg megfelelő szilárdságának előfeltétele a jól illeszkedő, tiszta és kellőképpen érdesített, érintkező felület, ill. a ragasztó megfelelő kikeményedése. A ragasztást alkatrészek összekötésén, rögzítésén kívül tömítésre és egyes mechanikus kötések lazulás elleni biztosítására is alkalmazzák.

Az előkészítés során tervezni kell a ragasztott kötés várható igénybevételét. A húzó igénybevételt kerülni kell, mert a ragasztórétegnek kicsi a szakítószilárdsága, és az adhéziós tapadás jellemzői miatt ilyen esetben minimális a terhel-

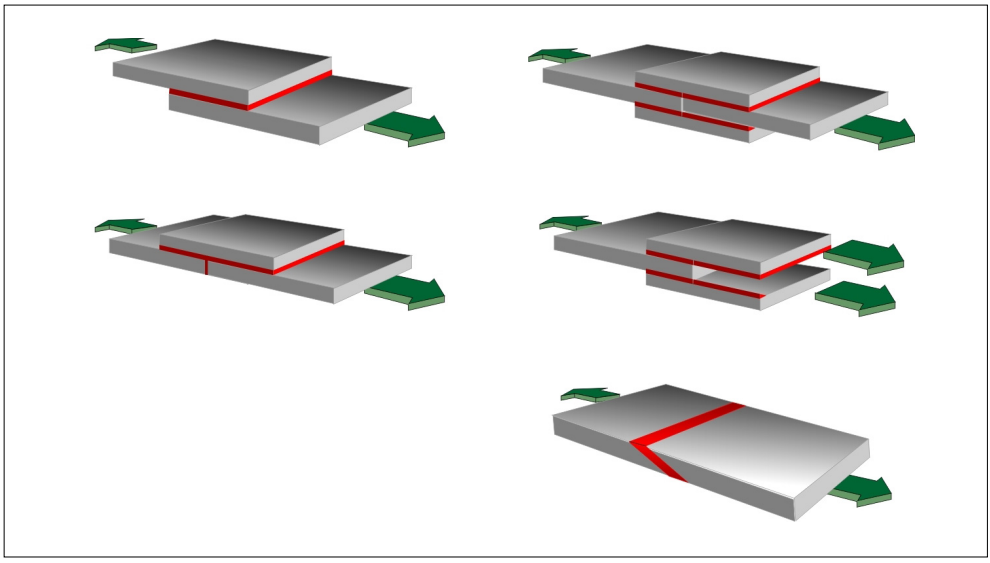


83. ábra. *A ragasztott kötés szilárdságát meghatározó hatásmechanizmusok*

hetőség. Még kedvezőtlenebb a lefejtő igénybevétel, ahol a jelentős húzó (tépő) igénybevétel kisebb területre (sávra) koncentrálódik. Törekedni kell tehát olyan kötéskialakításra, ahol a nyíró igénybevétel dominál (**84. ábra**), de a nyomó, illetve a csavaró igénybevétel is szóba jöhet.

Természetesen a kötés szilárdsága, igénybe vehetősége a ragasztóanyag fajtájától, rétegvastagságától és a ragasztási felületek nagyságától (átlapolási szélességétől) is függ. A ragasztott kötések szilárdsága az egyenletesen felhordott folytonos ragasztóréteg vastagságának csökkenésével növekszik. Porózus anyagok ragasztásakor figyelembe kell venni, hogy a ragasztó egy része beszívódik, ezért a felületeket újra be kell vonni ragasztóval, hogy a két darab között vékony, ám összefüggő ragasztóhártya alakuljon ki. Ha a beszívódás miatt a réteg már nagyon vékony, csak a felületi kiemelkedések tapadnak össze, a ragasztási felület csökken, a kötés nem lesz tökéletes. Ilyen esetekben különösen fontos a ragasztás alatt álló darabok erős és egyenletes összepréselése.

Ragasztás előtt a ragasztandó felületeket mechanikus vagy kémiai módszerekkel alaposan meg kell tisztítani, szennyeződés- és zsírmentessé, majd szárazzá kell tenni. A tapadási felület növelése (adhézió javítása) érdekében célszerű érdesítést (csiszolást, szemcseszórást, forgácsolást, maratást, pácolást, leoldást) alkalmazni. Az összekötendő részeknek pontosan illeszkedniük kell egymáshoz, az ideális ragasztóréteg-vastagság (25–100 μm) biztosítása céljából.



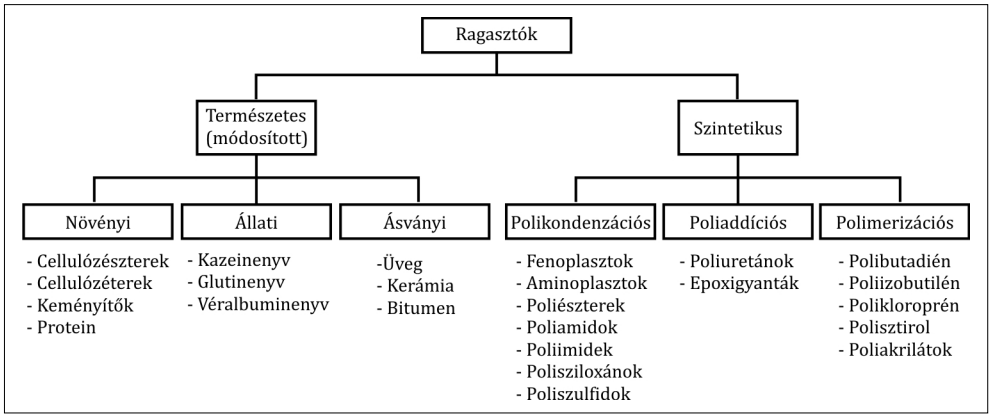
84. ábra. *A ragasztott kötés nyíró igénybevételére való törekvés megoldásai*

A ragasztók (**85. ábra**) zöme szerves anyag, melyek fizikai úton (pl. oldószervesztéssel) vagy kémiai reakció által (pl. polimerizációval) szilárdulnak meg. A kötés adhéziósan vagy esetenként a ragasztandó felület részbeni oldásával jön létre. A hidegragasztók szobahőmérsékleten is kikeményednek, de 100 °C-ig terjedhető hőmérséklet-intervallumban kötésük meggyorsítható. A melegragasztók kikeményítéséhez rendszerint 100 °C-nál nagyobb hőmérséklet szükséges.

A ragasztók kötési módjuk szerint lehetnek:

– kémiai reakció nélkül (fizikai úton) kötő ragasztók:
  – oldó- vagy diszpergálószer elpárolgásával kikeményedő folyékony ragasztók;
  – vízfelvétel hatására kikeményedő gittek;
  – megolvasztandó, majd újradermedő, szilárd ragasztók;
– kémiai reakcióval kötő ragasztók:
  – polimerizációs ragasztók: monomerek folyamatos „összeadódásával", katalizátor jelenlétében kötnek, számottevő térfogatcsökkenés nélkül;
  – polikondenzációs ragasztók: kötési reakciójukban melléktermék keletkezik, s mivel a ragasztókötés közben jelentősen zsugorodik, az adhéziós erők nagyon lecsökken(het)nek, ezért különösen fontos a megfelelő szorítónyomás.

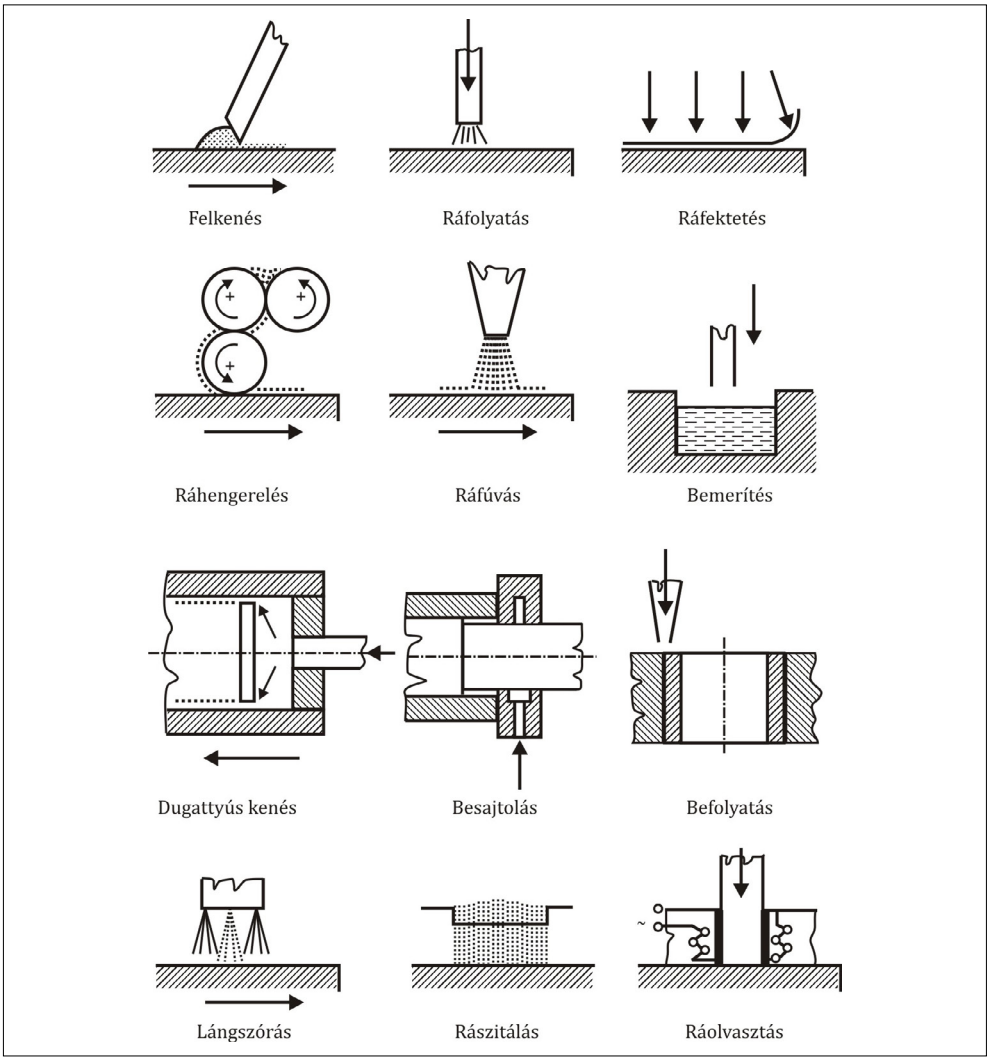
Az egykomponensű ragasztók rendszerint nem igényelnek különösebb előkészületet, viszont a kétkomponensű ragasztók összetevőit csak közvetlenül a felhasználás előtt szabad összekeverni, a gyártó által megadott keverési arány pontos betartásával. A hidegen kezelhető ragasztók üvegrúddal, műanyag



85. ábra. *A ragasztók típusainak rendszerezése*

edényben keverhetők, a melegen kezelhetőkhöz szabályozható hőmérsékletű, elektromos fűtésű tégely szükséges. Az egyes alkotókat lassan kell összekeverni, mert a keverés gyorsításával fokozódik a buborékképződés. Az esetlegesen előforduló buborékok ragasztáskor enyhe nyomással eltávolíthatók, vagy felhasználás előtt a bekevert ragasztót a buborékfelszállás érdekében „pihentetni" kell.

A ragasztóanyagok felviteli módja a halmazállapotuktól és alkalmazási helyüktől függően többféle lehet (**86. ábra**).



86. ábra. *A ragasztóanyag felviteli módjai*

Az összekevert ragasztót érdes felületek esetén mindkét, sima felületek esetén csak az egyik oldalra kell felhordani. Legtöbb ragasztónál szükség van kiegészítő nyomás alkalmazására – különösen az összeillesztés pillanatában –, a kötés közbeni belső feszültségek káros hatásainak kompenzálására. Ragasztás közben ügyelni kell arra, hogy a ragasztóanyag kikeményedéséig egyik alkatrész se mozduljon el.

8. A termikus vágás alapismeretei

Vágáskor a széles (lemezek, szalagok) vagy hosszú (rudak, profilok, csövek) kohászati termékeket – a gépipar számára ezek a kohászati előgyártmányok – kell megfelelő gyártási méretre és alakra darabolni. A vágás történhet termikus, eróziós (pl. vízsugaras), képlékenyalakító (pl. lemezollós vágás) vagy forgácsoló (pl. fűrészelés) megmunkálással. A képlékenyalakító és az eróziós vágás számottevő hőhatás nélkül megy végbe, míg a forgácsoló- és a termikus vágást jelentős hőhatás kíséri. Valamennyi vágási eljárás alkalmazása során keletkezik anyagveszteség, illetve hulladék.

A termikus vágás olyan szorosan hozzátartozik a hegesztési és forrasztási eljárásokhoz és gyártási folyamatokhoz, hogy a hegesztéssel foglalkozó szabványosítási rendszerekben is a hegesztés rokon eljárásának nevezik.

Mindenféle termikus vágás során egy vágási rést kell kialakítani az anyagban, amely mentén az kettéválasztható. A legfontosabb termikus vágási eljárások:

– a lángvágás,
– a plazmavágás,
– a lézeres vágás.

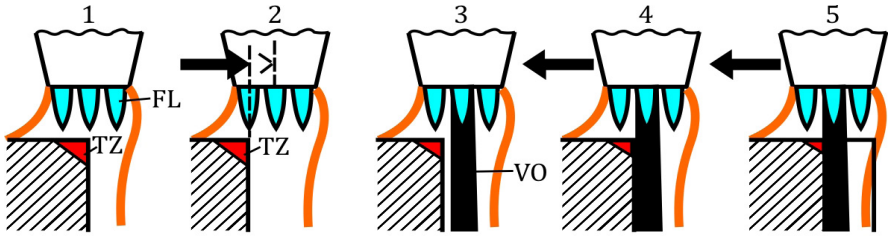
A továbbiakban erre a három termikus vágási eljárásra nézve tekintjük át a fontosabb alapismereteket.

8.1. A lángvágás

A lángvágáskor az oxigénnel kevert éghető gáz lángjával a helyileg gyulladási hőmérsékletre felhevített (előmelegített) anyagot nagynyomású oxigénsugárban elégetik, és ezzel egyidejűleg a keletkezett és megolvadó égéstermékeket (oxidokat) az oxigénsugárral kifúvatják; így alakul ki a vágási rés, amelyet a **87. ábra** szemléltet.

A lángvágás – amely az égetéses vágások egyike – alkalmazhatóságának feltételei a következőkben összegezhetők:

– az anyag oxigénben elégethető legyen;
– az anyag gyulladási hőmérséklete legyen kisebb, mint az olvadáspontja;



1. Felmelegítés
2. Égő csekély visszahúzása
3. Vágóoxigén megnyitás
4. Vágás kezdete
5. Vágás

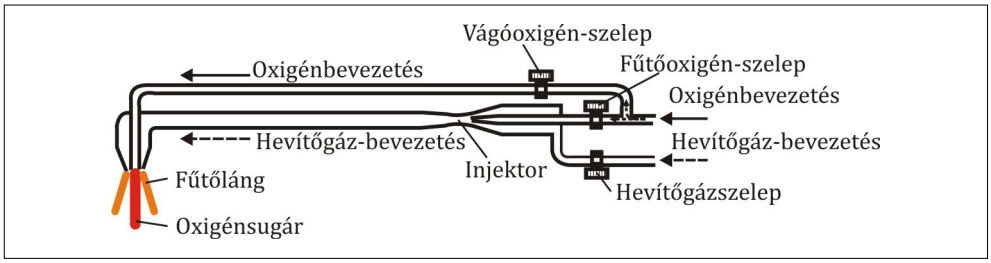
FL - Fűtőláng
VO - Vágóoxigén
TZ - Túlhevülési zóna

87. ábra. *A lángvágás folyamata*

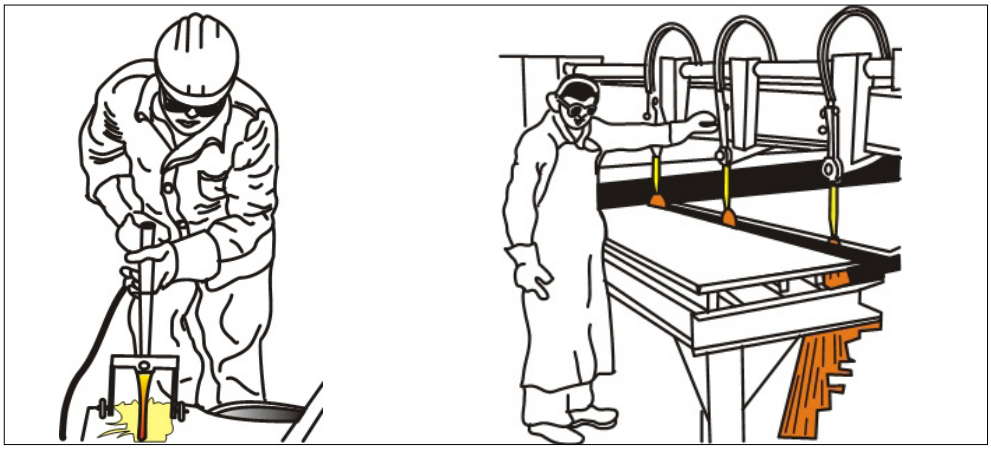
– az anyag képződő oxidjának olvadáspontja is legyen kisebb, mint az olvadáspontja, hogy az égéstermékek legyenek hígfolyós állapotba hozhatók és könnyen eltávolíthatók a keletkező vágási résből;
– az anyag égéshője (az oxidáció reakcióhője) legyen nagy, hővezetési tényezője legyen kicsi, hogy a vágási rés gyorsan kialakuljon, és keskeny maradjon.

Ezeknek a lángvághatósági követelményeknek gyakorlatilag csak az ötvözetlen és a gyengén ötvözött szerkezeti acélok felelnek meg, azok közül is csak a kisebb széntartalmúak (C < 0,25%). Azonban ez nem szűkíti be érdemben az alkalmazási lehetőségeket, ugyanis ezeket az acélokat óriási mennyiségben alkalmazzák a hegesztett szerkezetek gyártására. Tehát a jól hegeszthető acélok egyben jól lángvághatók is.

A lángvágásra használt éghető gáz leggyakrabban acetilén (C_2H_2), de gyakran alkalmaznak propán-bután-gázt is. A vágást lángvágó égőkkel végzik, kézi vagy gépi mozgatással (**88. ábra**). A kézi vágás pontossága erősen függ a munkavégző személyétől. A fokozott követelmények csak gépesített lángvágással teljesíthetők. A lángvágó berendezések a vágóégőt megfelelő helyzetben tartják, a kívánt pályán pontosan végigvezetik, és lehetővé teszik több vágófej együttes működtetését, a CNC-vezérelt megmunkálást is. Az átvágható vastagság akár több száz mm is lehet.



88. ábra. *Kézi lángvágó pisztoly vázlata*



89. ábra. *Kézi és gépi lángvágás*

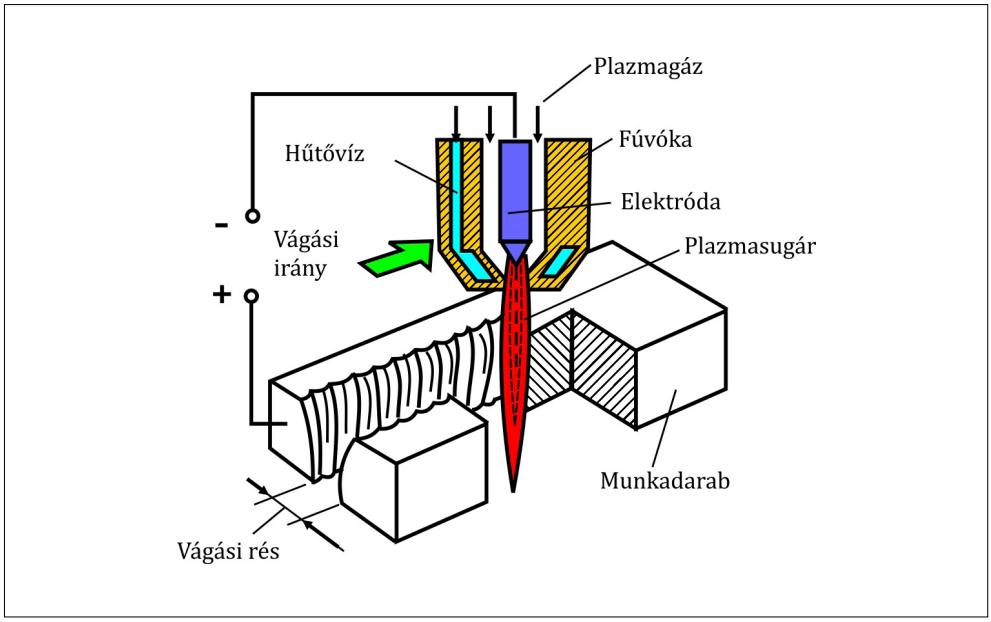
90. ábra. *A gépi lángvágás szemléltetése*

8.2. A plazmavágás

A plazmavágás (**91. ábra**) során a lánggal nem vágható anyagokat (pl. rozsdamentes acélok, alumínium-, nikkel- és rézötvözetek) nagy hőmérsékletű, koncentrált, kis átmérőjű és nagynyomású plazmaívvel vagy plazmasugárral egy kis méretű foltban átolvasztják, majd a vágófej folyamatos mozgatásával a keletkezett olvadékot kifúvatják a kialakuló vágási résből.

A plazmát létrehozó villamos ív katódja általában W- vagy Ta-elektróda, anódja pedig egy gyűrű alakú, vízhűtéses plazmafúvóka vagy a megmunkálandó anyag. A plazma hőtartalma a fúvóka szűkítésével tovább növelhető. A plazmavágáshoz (amely ömlesztő vágás) használt fontosabb plazmaképző gázkeverékek: $Ar+H_2$, $Ar+N_2$, N_2+H_2, levegő vagy oxigén. A nitrogéntartalmú gázkeverékekből jelentős mértékű a káros NO_2 kibocsátása. Ezt is és a zajszintet is kedvezőbbé teszi a víz alatti plazmavágás.

A plazmavágás szinte mindenféle anyag vágására alkalmazható. A fémes anyagok vágásakor nagyobb pontosságot biztosít, mint a lángvágás, és kisebb a vágási rés mentén kialakuló hőhatásövezet (**92. ábra**).



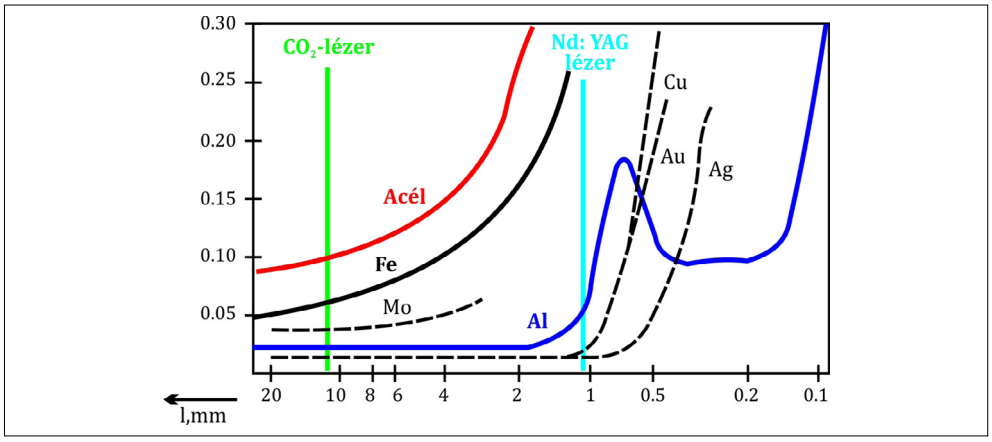
91. ábra. *A plazmavágás vázlata*

92. ábra. *Plazmavágott alkatrészek*

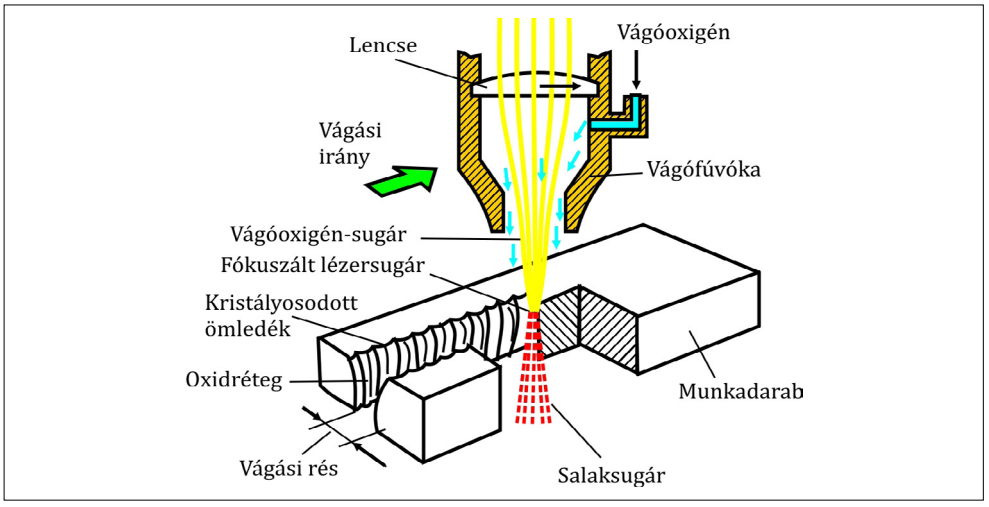
8.3. A lézersugaras vágás

A lézeres vágás (amelynek elnevezése a jelenleg érvényes magyar szabványban: lézersugaras vágás) ugyancsak alkalmas minden olyan anyag vágására, amely kellően elnyeli – akár a tükröződést vagy átbocsátást gátló bevonattal – az adott hullámhosszúságú sugárzást. A **93. ábra** a fémes anyagok abszorpciós tényezőjének változását mutatja a sugárzás hullámhosszának függvényében; az az előnyös, ha értéke közelít az 1-hez.

A lézeres vágáskor a kis divergenciájú (közel párhuzamos nyalábú), koherens lézernyaláb fókuszálásával nagy teljesítménysűrűséget lehet elérni. Ennek hatására az anyag megolvad és elpárolog. Nagynyomású (általában 5–10 bar) vágógáz (pl. oxigén, nitrogén, levegő, argon) befúvásával a keletkező, keskeny vágási résből a megolvasztott vagy elgőzölögtetett anyag eltávolítható a **94. ábra** vázlata szerint.



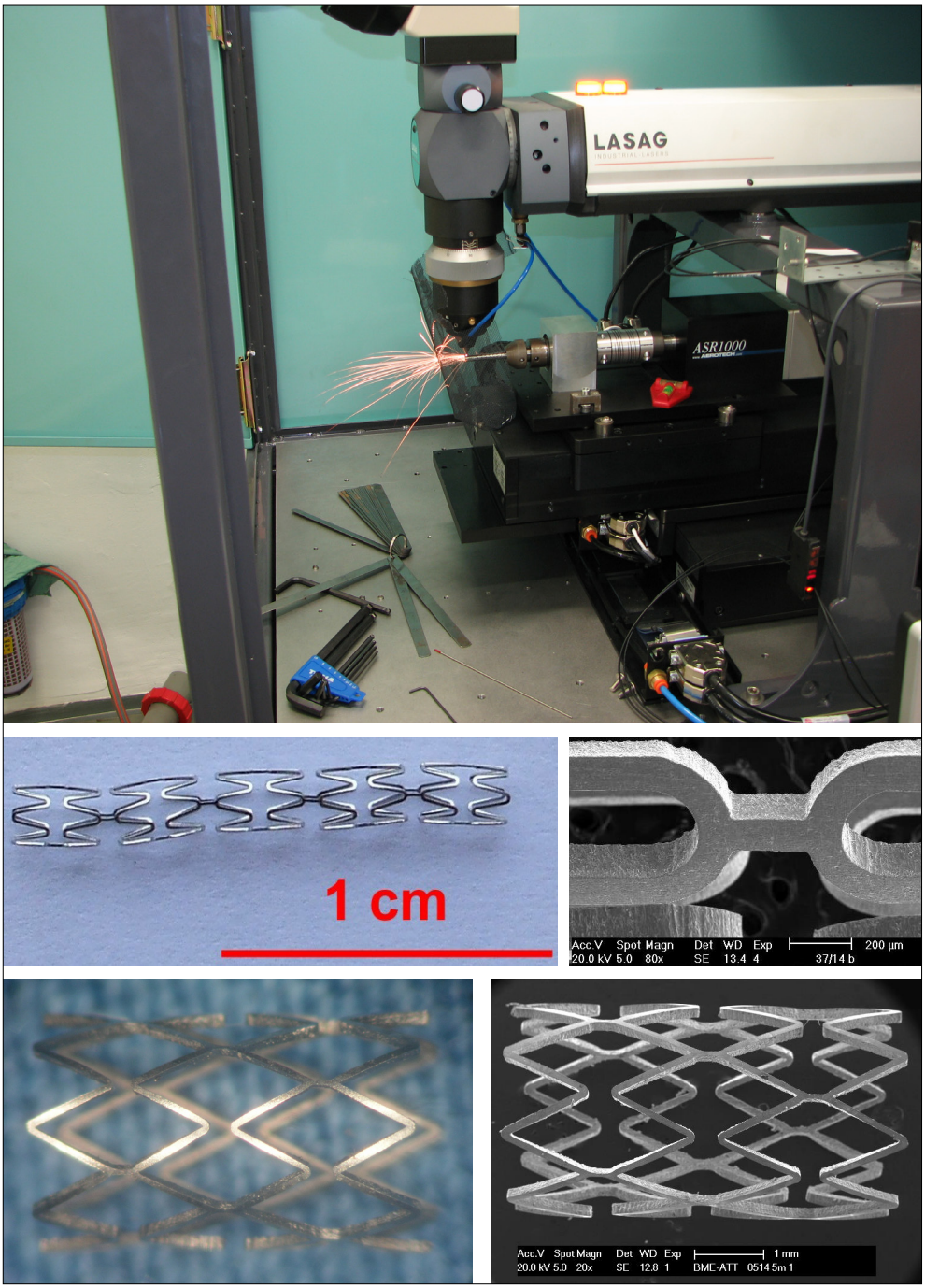
93. ábra. *Az abszorpciós tényező változása a sugárzás hullámhosszúságának függvényében*



94. ábra. *A lézeres vágás vázlata*

Gyakorlatilag szinte minden anyag vágható lézeres vágással. A vágólézerek ugyanúgy lehetnek folyamatos üzeműek és impulzusos üzeműek, mint a hegesztőlézerek; nem ritkán ugyanaz a berendezés szolgálja ki a hegesztő- és a vágófejet.

Nagy előnye a lézeres vágásnak a minden mást meghaladó pontosság, a gyorsaság, a keskeny hőhatásövezet és az ebből adódóan csekély mértékű alaktorzulás a vágott alkatrészen. Ugyanakkor a vágás fajlagos költségei jóval nagyobbak a többi termikus vágáséinál.

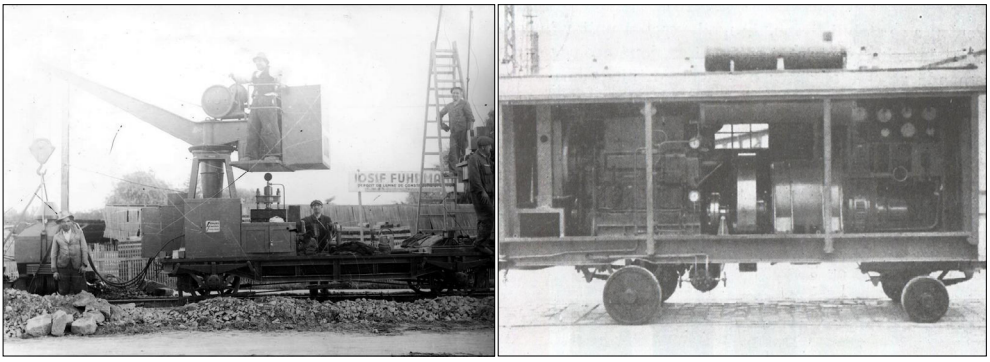


95. ábra. *A lézersugaras vágás alkalmazásai koszorúérsztentek vágására a budapesti Műegyetemen, 2006-ban*

9. Fontos állomások a hegesztés történetében

Néhány jelentős esemény a hegesztés történetében

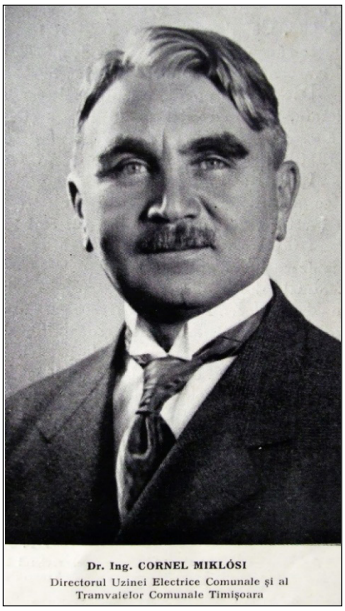
- kb. i.e. 3200 – a sumérok keményforrasztott ékszere.
- kb. i.e. 1500 – tűzi kovácshegesztett darabok.
- 1782 – Lichtenberg felfedezi a villamos ívet.
- 1809 – Davy fényforrásként használja a villamos ívet.
- 1867 – Elihu Thomson kidolgozza az acélok ellenállás-hegesztését.
- 1885 – Benardos és Olszewski ívhegesztési eljárást próbálnak ki.
- 1890 – Slavianoff kidolgozza a leolvadó elektródás ívhegesztési eljárást.
- 1892 – az acetilén felfedezése.
- 1895 – Linde kifejleszti a levegő cseppfolyósításának eljárását.
- 1896 – Dräger kifejleszti a szívó- és nyomófúvókás hegesztőpisztolyt.
- 1901 – először alkalmazzák az acetilén acetonban való elnyeletését.
- 1908 – Kjellberg bevonatos elektródákkal hegeszt.
- 1937 – a fedett ívű hegesztés első alkalmazása Németországban.
- 1938 – Miklósi Kornél szabadalmaztatta Svájcban a világ első, sínen járó hegesztőgépét, Taurus néven, melyet Temesváron készített.



96. ábra. *A Taurus sínhegesztő berendezés (https://www.pressalert.ro/wp-content/uploads/2016/11/4.-taurus.jpg, https://www.pressalert.ro/wp-content/uploads/2016/11/5.-taurus.jpg)*

- 1940 – a hélium védőgázos TIG-hegesztés bevezetése az USA-ban.
- 1948 – az argon védőgázos TIG-hegesztés bevezetése az NSZK-ban.
- 1952 – védőgázos ívhegesztés CO2-dal.
- 1955 – a villamos salakhegesztés kifejlesztése a Szovjetunióban.
- 1956 – a szalagelektródás felrakóhegesztés szabadalmaztatása.
- 1957 – a villamos salakhegesztés és plazmavágás ipari bevezetése.
- 1961 – az elektronsugaras hegesztőberendezés szabadalma.
- 1963 – a plazmaívhegesztés kezdete.
- 1965 – a gáz- és a folyadéklézer kifejlesztése.
- 1970 – a lézersugaras hegesztés első alkalmazása.
- 1985 – nagy leolvadási teljesítményű, védőgázos ívhegesztési eljárás.
- 1990 – hibrid lézersugaras hegesztés és lézeres forrasztás.
- 1994 – kéthuzalos MAG-hegesztés alkalmazása.
- 1995 – MAG-hegesztés tandem változatban és a nem vákuumos elektronsugaras hegesztés kifejlesztése.

Miklósi Kornél akadémikus, gépészmérnök, a „sínhegesztés atyja”



Miklós Kornél portréja[1]

Miklósi Kornél (1887–1963) akadémikus, gépészmérnök, a világ első, sínen járó hegesztőgépének tervezője és elkészítője, a romániai hegesztői iskola megalapítója. Az Arad megyei Kovászin (Covăsinţ) született. Aradi tanulmányai és a karlsruhe-i műszaki egyetem után a budapesti Műegyetemen tanult. Két évig a híres Rejtő Sándor professzor tanársegédje, majd adjunktusa volt. 1912–19 között a Magyar Siemens–Schuckert Művek Rt. kábelgyárában dolgozott mérnökként. Az első világháború után visszatért szülőföldjére, ahol először az aradi vasúti raktárnál, később a temesvári közszállításnál helyezkedett el.

1920–1949 között a temesvári villamos vasút igazgatója volt. 1923-tól a helyi villamos művek és az erőmű korszerűsítésének is a vezetője. 1926-ban megalakította az ország első, ipari fémeket és ötvözeteket vizsgáló laboratóriumát, melyet a legmodernebb eszközökkel szerelt fel, és a benne megvalósult kísérleti kutatások eredményeit alkalmazta is a romániai iparban. Egyetemi munkássága a temesvári műszaki egyetemhez kötődik, ahol 1939-től projektvezető, később helyettes, majd címzetes oktató lett. Az elektrotechnikai kar (Facultatea de Electrotehnică) dékánja, majd a gépészmérnöki kar hegesztő berendezések és technológiák tanszékének (Catedra de Utilajul şi Tehnologia Sudării din Facultatea de Mecanică) tanszékvezetője. 1955-ben a Román Tudományos Akadémia rendes tagjává választotta. 1956 és 1963 között az akadémia temesvári fiókintézménye Műszaki Kutatások Központjának igazgatója volt.

Miklósi Kornélnak köszönhető, hogy a két világháború közötti időszakban a temesvári tömegközlekedés fejlettségében és korszerűségében is kiemelkedő szintet ért el, és az is, hogy 1942-ben olasz segítséggel elindult a temesvári trolibusz-közlekedés. A jelenlegi Románia területén az elsők között volt a temesvári

[1] *https://www.pressalert.ro/wp-content/uploads/2016/11/1.-corneliu-miklosi.jpg*

trolibusz, előtte csak Nagyszebenben működött trolibusz egy rövid ideig. Fontos szerepe volt nem csak a temesvári közszállítás kialakításában és fejlesztésében, hanem a romániai vasúthálózat kiépítésében is.

Miklósi Kornél az elektromosság és a hegesztés kiemelkedő szakértője volt: 1938-ban szabadalmaztatta Svájcban a világ első sínen járó hegesztőgépét, amelyet Temesváron tervezett és készített, és amelyet Taurusnak neveztek el.

97. ábra. *A Taurus sínhegesztő gép. Miklósi Kornél jobbról a harmadik . (https://villamosok.hu/nza/temesvar/08-taurus_miklosi.jpg)*

Nevéhez köthető a favázas és acélvázas ikerkocsik, végül pedig Románia első négytengelyes, forgóvázas Gb 2/2-típusú villamosának megtervezése és gyártásának lebonyolítása. A temesvári villamos művek vezetőjeként napi szinten kereste fel és irányította a műhelyek, kocsiszínek és a villanytelep munkáját, naponta tisztíttatta a járműveket. Elvárta, hogy a villamosokhoz 40 másodperces pontossággal lehessen igazítani Temesváron az órákat, a végállomásokon és az elágazásoknál elektromos köztéri órákat szereltetett fel. Vezetése alatt mindennek tökéletesen kellett működnie a vállalatnál: minden alkalmazottnak tiszta, vasalt egyenruhát kellett viselni, a férfiaknak naponta kellett borotválkozni. Szolgálati lakásokat építtetett, időnként otthonaikban is meglátogatta alkalmazottait. 1924-ben vállalati kórust, később fúvószenekart alapított, majd

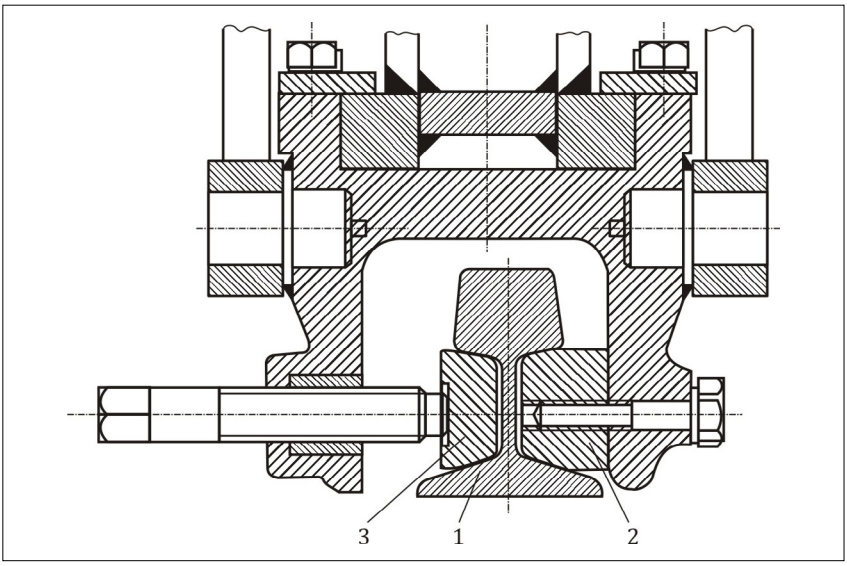
létrehozta az „Electrica" Sportegyesületet, mely saját stadionban működött a Bega partján. 1934-től hatalmas műszaki könyvtárat alapított. Több mint száz tudományos dolgozat, kézikönyv, jegyzet szerzője. Az Anyagvizsgálók Közlönyének szerkesztője, a hegesztést ösztönző kör (Cercul pentru Încurajarea Sudurii) elnöke, a temesvári műszaki kutatói központ (Centrul de Cercetări Tehnice din Timişoara) vezetője, a romániai hegesztői iskola megalapítója és kutatója. Maga köré gyűjtötte mindazokat a tanárokat, mérnököket, műszaki szakembereket, akik a temesvári hegesztési és anyagvizsgálati intézet (Institutul de sudură şi Încercări de Materiale, ISIM) magját képezték.

Ő volt az a vállalatvezető, aki mostoha körülmények között is fel tudta virágoztatni a városi közlekedést. Évtizedeken át irányította a temesvári közszállítást, mely magánvállalkozásként indult, majd városi tulajdonba került. Később, a szocializmus éveiben a temesvári közszállítás minősége leromlott, mert fő célja a tömegközlekedés, a munkások gyárakba szállítása lett, ez azonban veszteségessé és a városvezetésnek kiszolgáltatottá tette. Az átmeneti nehéz időszak után azonban a temesvári villamoshálózat ma Románia második legfejlettebb villamoshálózata a bukaresti után, teljes hossza 75 km.

Miklósi Kornél halálának tizedik évfordulóján, 1973-ban korábbi munkatársai és utódai mellszoborral emlékeztek meg róla a kocsiszín udvarán, amelynek másolatát 2012-ben állították fel a városi parkban található Személyiségek sétányán. De az ő nevét viseli a közszállítási múzeum is (Muzeul de Transport „Corneliu Miklósi"), melyet 2007-ben nyitottak meg egy 1935-ben épült javítóműhelyben. A múzeum kiállítása a temesvári közszállítás másfél évszázados története előtt tiszteleg, kezdve az 1867-ben épült első villamosvonallal. A temesvári villamos vasúton, elsőként az országban, lóval vontatott kocsik jártak, majd 1899-ben villamosították. A kiállítás legértékesebb darabja az az 1869-ben készült villamoskocsi, melyet 1994-ben, a temesvári villamos elindításának 125. évfordulójára restauráltak.

A Taurus sínhegesztő berendezés rövid műszaki leírása, bemutatása .

A sínhegesztő gép. A sínek hegesztését műhelyben, a csőhegesztő gépekhez hasonló gépeken végzik. A nyílt pályán használt sínhegesztő gépek felépítése hasonló a csővezeték-hegesztő gépekéhez, azzal a különbséggel, hogy ezek képesek a vasúti pályán mozogni. Az alábbiakban a Miklósi Kornél akadémikus által vezetett kutatócsoport fejlesztését, a Romániában megvalósított „Taurus" hegesztőberendezést mutatjuk be a **98. ábra** segítségével.



98. ábra. *A sínbefogó készülék.*

A szorítást csavarokkal hozzák létre. Az 1-es sínelem, a három szorítócsavar behajtása után, a 2-es rögzített és a 3-as mozgó szorítópofa közé illeszkedik. Mivel az erőhatás a síntalp és a sínfej ferde felületein jön létre, az ékhatás miatt felerősödik, ez pedig meggátolja a zömítés következményeként keletkező csúszást. Az áramellátást bronzpofákon keresztül biztosítják, amelyeket a hegesztés helyéhez közel illesztenek a darabhoz.

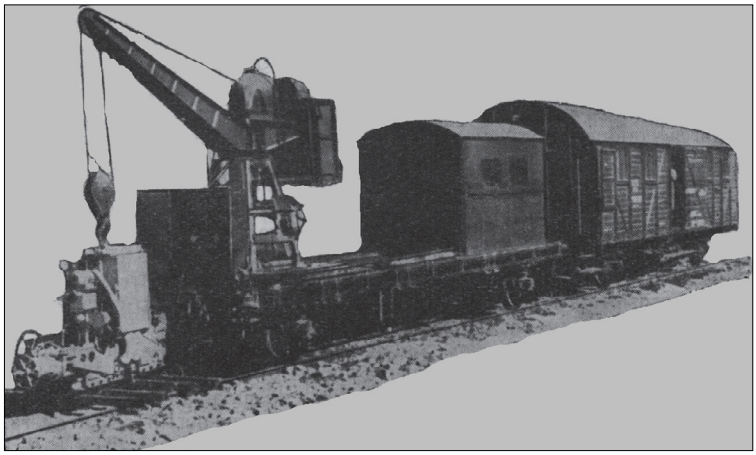
A gépágyhoz van rögzítve a kötött szán, míg a mozgó szán csúszóvezetékeken mozdul el.

Az előmelegítés és az olvasztás során szükséges mozgásokat manuálisan végzik, egy kézikerék forgatásával, melyet csavaros-tolórudas mechanizmus alakít át. A zömítést hidraulikusan valósítják meg, légpárnás puffertartállyal kiegészített szivattyú segítségével. Ezáltal lehetségessé válik egy kisebb hozamú szivatytyú használata. Ugyanakkor a zömítéshez szükséges Q erő értéke nem változik számottevően a művelet alatt. A zömítési folyamat a sínek adott értékű elmozdulására indul meg, a kézi meghajtástól függetlenül.

A gép villamos áramot előállító egysége egy 200 kVA teljesítményű, egyfázisú generátor, N = 1500 1/perc fordulatszám és DA = 25% csúszási együttható mellett. A generátornak egy póttekercse is van, melynek célja a háromfázisú áram előállítása, mellyel a segédmotorokat táplálják (daru, olajszivattyú, sűrítőállomás és mozgatómotorok).

A generátort egy ISO-CP-dízelmotor hajtja. A közös tengelyre lendkerék illeszkedik, hogy a dinamikai hatást tompítsa. A hegesztőtranszformátor paramétereiben a generátorhoz illeszkedik, szekundérkőri feszültsége 6–8 V.

A hegesztőaggregátort egy vagonra szerelt emelődaru függeszti. A berendezés egy műhelyvagonnal egészül ki, amely az áramfejlesztő egységet, a mozgatómotorokat és a tartozékokat hordozza (**99. ábra**).



99. ábra. *A Taurus sínhegesztő berendezés általános nézete*

10. A HEGESZTÉS MŰVÉSZETE

A hegesztés mint a művészek eszköze

A hegesztési eljárásokat nemcsak az ipar alkalmazza a folyamatosan fejlesztett, korszerű eljárások révén, hanem a képzőművészet berkeiben is meghonosodtak. A szakképzett ipari hegesztőnek a szakmai tudáson felül egyfajta esztétikai érzékkel is kell rendelkeznie ahhoz, hogy a hegesztett termék látványa is elfogadható legyen. A fémet megmunkáló képzőművészek is alkalmaznak különféle hegesztési eljárásokat alkotómunkájuk során, ezáltal teremtve művészeti értéket.

A hegesztéssel létrehozott műalkotások egyenként hordozzák magukon alkotójuk művészi ízlését és egyéni alkotói stílusát. A hegesztés mint művészet nagyfokú hozzáértést és technológiai tapasztalatot igényel.

A hegesztési eljárások fejlődése során sokáig csak az összehegesztett szerkezetek erőssége és tartóssága számított, kisebb hangsúlyt fektettek az esztétikumra.

A hegesztéssel létrehozott műalkotás minőségét az alkotás művészi kifejezőereje határozza meg, és ennek biztosítására körültekintően kell alkalmazni a különféle hegesztési technikákat. A hegesztett műalkotások minőségét a következő tényezők határozzák meg: a hegesztőberendezés mozgathatósága, hozzáférés a hegesztett felülethez, az anyag minősége és hegeszthetősége, az alapanyagok vastagsága.

M. Kukhta[1] és társai tanulmányukban bemutatják azokat a modern technikákat, amelyeket a hegesztés mint művészeti alkotómunka során lehet alkalmazni az egyszerű formázástól a teljes körű, aprólékos megmunkálásig, ugyanakkor felsorolják a formázást befolyásoló tényezőket is.

---

[1] *M Kukhta, A Sokolov, E Pelevin: Welding Technologies in Art Processing of Metal. In: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 66 (2014), MTT' 2014. doi:10.1088/1757-899X/66/1/012044*

A képzőművészek által használt hegesztési eljárások a következők:

- A kézi ívhegesztés bevont elektródával a leggyakrabban használt technika a különféle hegesztett műalkotások megmunkálásakor és javításakor, mert sokféle anyagot meg lehet hegeszteni vele, és a szerkezethez való hozzáférés szempontjából is rugalmas. Hátránya, hogy a 2 mm-nél vékonyabb fémet nehéz megmunkálni ezzel a módszerrel.
- A lánghegesztés alkalmazása sok szempontból könnyebb, lehetőséget biztosít a gyengén összehegesztett részek megjavítására, és az apró részek összeillesztésére is, és kis teljesítményű hegesztőpisztollyal kis darabokat is meg lehet munkálni. Ezzel az eljárással is sokféle anyagot lehet megmunkálni: acél, öntöttvas, vörösréz, sárgaréz, ólom, bronz és alumínium.
- A huzalelektródás védőgázos ívhegesztés eljárás speciális gáz alkalmazásával történik, mely minimalizálja az elgörbülés és a vékony részek megégésének veszélyét. A hozzáférhető, nagyobb darabok hegesztésére használják.
- A wolfrámelektródás védőgázas ívhegesztés nemesgáz használatával lehetővé teszi a nagyon vékony részek összeillesztését is, és bármilyen fém hegesztésekor lehet használni. Mivel azonban nagyon időigényes és emiatt költséges is, ezt a módszert inkább csak az apró részek hegesztésénél alkalmazzák.
- Villamos ellenállás-hegesztést is alkalmaznak a műalkotások hegesztésére.

A hegesztési eljárásokat több művész munkáiban láthatjuk, ezeknek az elemzésével és leírásával nem kívánunk részletesen foglalkozni, Matteo Baroni olasz képzőművész munkáin keresztül mutatjuk be, aki nagyvonalúan járult hozzá ahhoz, hogy a kötet borítóján használjuk egyik alkotásának fotóját, illetve vállalta az interjút, és mint alkotóművész megosztotta velünk gondolatait, alkotómunkáiról fotókat is küldött. Mindezek felhasználásával készült a következő alfejezet, melyben szemléltetni szerettük volna a művészek által alkalmazott hegesztési technikákat is, ugyanakkor betekintést nyerhetünk egy képzőművész alkotó munkásságába, gondolatvilágába, elkötelezettségébe az anyagok újrahasznosításának fontossága mellett.

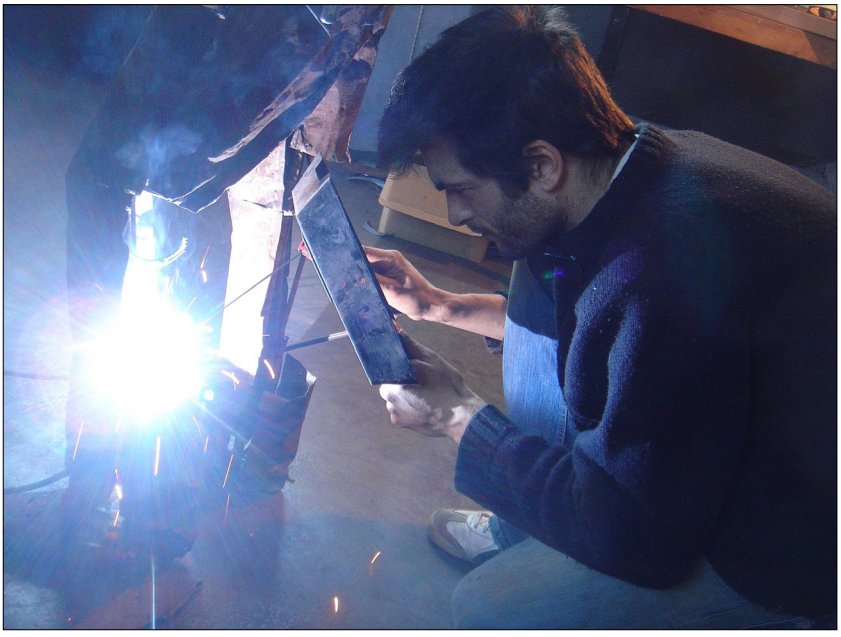
Matteo Baroni művészete

Matteo Baroni olasz képzőművész finoman vágja, formázza és hegeszti össze a hulladék vas- és rézdarabokat, ezzel mintegy újrahasznosítva, újra életre keltve a kiselejtezett anyagot.

Gyerek- és ifjúkorától kezdve vasból, acélból és más fémből készült tárgyakat gyűjtött. Szülővé válásával párhuzamosan fokozatosan formálódott benne a felelősség is a jövő és a fenntartható társadalom iránt. Olyan eszközöket keresett, melyek segítségével anyagi és etikai szemszögből is olcsón lehet műalkotást létrehozni. Művészként határozott meggyőződése, hogy ennek erős felelősségtudattal kell társulnia. Ezért, miután ifjúkora óta a természet határtalan varázslatában élt, úgy döntött, hogy nem akar már új dolgokat hozzáadni a világhoz, ezért csakis a körülötte fellelhető anyagból fog alkotni. Az első gyűjtögető útjain, amikor alkotásaihoz anyagot keresett, elhagyott házakat, tanyákat vagy gyárakat látogatott meg, és felfedezte, hogy az összegyűjtött rozsdás vasdarabokon a selyemhez, bőrhöz vagy fához hasonlóan játszott a csillogó narancssárga és barna szín.

Ezek olyan tulajdonságok, melyek az észlelés kulturális eltorzulása miatt rejtve vannak a szemünk elől, mert életünk kezdetétől fogva arra tanítanak bennünket, hogy az eldobott tárgyakhoz hozzá se érjünk, mert piszkosak, esetleg veszélyesek is. Ez a nevelés radikáli-san meghatározza azt a szemléletmódot, amellyel a vasra és más nemes anyagokra tekin-tünk, ha elhagyatott állapotukban találjuk. Ebből a felismerésből fakadt a vágy, hogy segítsen a társadalomnak a változásban ilyen téren. Matteo Baroni eltökélt szándéka, hogy bebizonyítsa, minden anyagban óriási érték és lehetőség van, attól függetlenül, hogy épp milyen állapotban vannak. A fém nem a legalkalmasabb anyag a szobrászkodáshoz, de sokféleképpen megmunkálható, és ha kellő munkát fektetsz bele, úgy alakíthatod, ahogy szeretnéd. Úgyhogy az évek művészi alkotómunkája során megtanulta, hogyan használhatja jól fel a fémhulladékot.

Matteo Baroni először lánghegesztéssel hegesztette műalkotásait, később a nagyobb szi-lárdságú kötést adó ívhegesztéssel. De az évek során kifejlesztette a maga sajátos, ke-ményforrasztási technikáit, mivel meg akarta őrizni az idő nyomait a fémen, és a hagyo-mányos technikák kissé ütköztek az ő elképzeléseivel. A költséghatékonyság érdekében a drágább ezüst forrasztópálcák helyett inkább sárgarezet használ a rozsdás vaslemezek összeforrasztására. Meglátása szerint manapság egyre nehezebb eldobott fémet találni, ez azt jelzi, hogy a



dolgok jó irányban kezdtek változni. Ugyanakkor az ipar kezd nyitottá válni a művészetre mint lehetséges szövetségesre a termelés során keletkezett fölösleges anyagok újrahasznosításában. Két olyan különböző terület, mint az ipar és a művészet együttműködésének lehetősége, tulajdonképpen új perspektívákat nyit meg a társadalom számára.

Minden alkotása egy olyan képben gyökerezik, amelyik hirtelen megragadta a fantáziáját, egy-egy erős és leírhatatlan érzés megtestesülése. A munkafolyamat során megpróbálja ezt az érzést minél hívebben visszaadni. Csak az alkotás végső fázisában jön, hogy mit is alkotott, mert a mögöttes üzenet csak akkor válik érzékelhetővé és tudatossá. Szobrai alkotása során a munka egy életnagyságú modell megalkotásával kezdődik, aprólékosan kidolgozott részletekkel, ezeket aztán gipszbe vagy más alakítható anyagba önti, mely segít majd a hegesztési folyamat során: figurái nagyszámú apró részletből tevődnek össze, melyeket acéllemezekből vág le, és gondosan kalapál formára a domborító eszközök segítségével. Ezek az apró fémdarabok nagy hőmérsékleten kezelve könnyen hajlanak és deformálódnak, ezért, amikor összeilleszti, stabil tartószerkezetre helyezi őket, hogy megőrizzék formájukat.

Matteo Baroni minden alkotását egy fizikai és mentális utazásnak tartja, melybe teljesen belemerül, és olyankor minden másodlagossá válik az alkotáshoz képest. Minden érzése ahhoz az úthoz, ahhoz a munkához kötődik, minden figyelme arra összpontosul, hogy pontosan kifejezze azt az egyébként visszaadhatatlan érzést, ami megragadta a fantáziáját. Az alkotás során az eszmény kiszabadul éteri mivoltából, és anyaggá formálódik, megtöltve a fémet élettel és érzelemmel. Egy alkotást akkor tekint teljesnek, befejezettnek, mikor semmit nem kell már hozzáadni. Éppen ezért soha nem fejezett be egy műalkotást addig, amíg nem volt teljesen elégedett vele, mert nem tudná teljesnek érezni, hogyha nem az.

Művészetének fogadtatása vegyes, főleg azért, mert a vezető művészeti galériák nehezen engednek teret az olyan kellemetlen témáknak mint az energiaválság vagy a klímaváltozás. De ettől függetlenül a művész elégedett, mert tagja egy olyan művészi közösségnek, akik egész alkotói munkájukat alárendelték a saját művészi elképzeléseiknek, nem riadva vissza a világ diktálta piaci törvényektől.

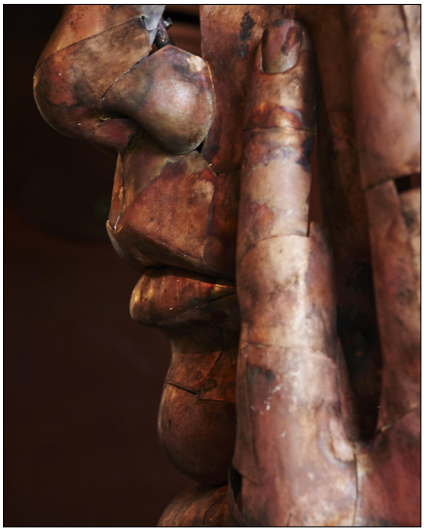
Matteo Baroni fontosnak tartja a költséghatékonyságot is a fémhulladék képzőművészeti felhasználásában, amelyet önmagában is figyelembe kell venni, ha szobrászatról beszé-lünk. A szobrászkodás jelentős költségei ugyanis sok esetben elrettentik a művészeket az alkotástól. Ezért egy ingyenesen hozzáférhető

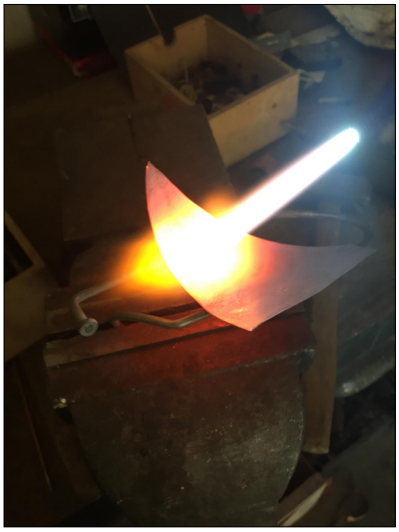
alapanyag, mely ugyanakkor erős, tartós és formálható, nagy lehetőségeket tartogat azok számára is, akik nem szeretnének kompromisszumot kötni a piaci kereslet diktálta törvények szerint. A művész szerint, ha a fémhulladékhoz való szabad hozzáférést összevetjük a technikai fejlődéssel, főleg a megújuló energiaforrások használatával, a hegesztés válhat az egyik legtisztább és legköltséghatékonyabb alkotói módszerré, ezért is érdemes ebbe a gyakorlatba fektetni.

Matteo Baroni azt vallja, hogy etikai szempontból is az újrahasznosítás jelenti a haladást és a jövőt, és úgy véli, eljött az az idő, hogy jobban hasznosítsuk a föld véges energiaforrásait.

A művészek nem csak újrahasznosítanak vagy újra felhasználnak, hanem munkájukon keresztül az anyag értékét is magasabb szintre emelik. Ezért az ő szerepükre a fogyasztásellenes küzdelemben egy új szót kellett létrehozni: „értéknövelt újrahasznosítás".

Matteo Baroni olyan munkáknak szenteli magát, amelyek messze túlmutatnak az önkifejezésen, igazából annak az ellentéte, mivel a transz(inter)diszciplináris együttműködés a legjobb esély arra, hogy megalapozzunk egy fenntartható és virágzó társadalmat. Azt vallja, hogy a művészet az emberiség nagy felfedezéseinek szemlélője. A határok tologatásával, új utak keresésével és próbálkozásokkal olyan területen, ahol a tudomány és a vallás is csődöt mond, a művészet mindegyre bebizonyítja azt, hogy ha valami elképzelhető, akkor az létre is hozható, meg is alkotható..





Melléklet

A könyvben szereplő hegesztési és rokon eljárások elnevezése magyar, angol, román és német nyelven

A hegesztési eljárások elnevezése az ISO 4063-as szabvány különféle kiadásaira támaszkodva szerepel a táblázatban.

Fejezet	Magyar elnevezés	Angol elnevezés	Román elnevezés	Német elnevezés
2.3.	Átlapolásos ellenállás-vonalhegesztés	Lap seam welding	Sudare în linie prin suprapunere	Überlapp-Rollennahtschweißen
3.7.	Átvitt ívű plazmaívhegesztés	Plasma welding with transferred arc	Sudarea cu plasmă cu arc transferat	Plasma-Stichlochschweißen
5.1.b.	Bemártásos lágyforrasztás	Dip soldering	Lipire moale în baie	Lotbadweichlöten
2.7. III.	Beolvadó gyűrűs, ívhúzásos csaphegesztés	Drawn arc stud welding with fusible collar	Sudare cu arc electric a bolțurilor cu amorsare prin ridicare cu inel fuzibil	Bolzenschweißen mit Ringzündung
3.10.	Diódalézeres, lézersugaras hegesztés	Diode laser welding	Sudare cu laser cu diode	Dioden-Laserstrahlschweißen, Halbleiter-Laserschweißen
2.9.	Dörzshegesztés	Friction welding	Sudare prin frecare	Reibschweißen
3.11.	Egyéb hegesztési eljárások	Other welding processes	Alte procedee de sudare	andere Schweiflverfahren
3.9.	Elektronsugaras hegesztés	Electron beam welding	Sudarea cu fascicul de electroni	Elektronenstrahlschweißen
2.3.	Élelőkészítéses, tompavarratos ellenállás-vonalhegesztés	Prep-lap seam welding	Sudare în linie cu margini pregătite	Rollennahtschweißen mit Kantenvorbereitung

2.5.	Ellenállás- csap-hegesztés	Resistance stud welding	Sudare electrică prin presiune a bolţurilor	Widerstandsbol-zenschweißen
2.4.	Ellenállás- dudor-hegesztés	Projection weld-ing	Sudare în relief	Buckelschweißen
2.1.	Ellenállás- he-gesztés	Resistance weld-ing	Sudare electrică prin presiune; sudare prin rezistenţă prin presiune	Widersands-schweißen
2.2.	Ellenállás-pont-hegesztés	Resistance spot welding	Sudare în puncte	Widersands-punktschweißen
2.3.	Ellenállás-vonal-hegesztés	Resistance seam welding	Sudare în linie	Rollennahtschwei-ßen
3.4.	Fedett ívű he-gesztés	Submerged arc welding	Sudare cu arc elctric sub strat de flux	Unterpulver-schweißen
2.9.	Folyamatos hajtású dörzshe-gesztés	Direct drive fric-tion welding	Sudare prin fre-care cu antrenare directă	Reibschweißen mit kontinuierli-chem Antrieb
3.10.	Gázlézeres, lézer-sugaras hegesztés	Gas laser welding	Sudarea cu laser cu gaz	Gas-Laserstrahl-schweißen
6	Hegesztőforrasz-tás	Weld brazing	Sudare prin lipire	Fugenlöten
5.1.b.	Hullámforrasztás	Wave soldering	Lipire moale cu val de metal topit	Wellenweichlöten
3.5.	Huzalelektródás, védőgázos ívhe-gesztés	Gas-shielded metal arc welding	Sudarea cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu protector de gaz	Metall-Schutzgas-schweißen
3.1.	Ívhegesztés	Arc welding	Sudarea cu arc electric	Lichtbogen-schweißen (Licht-bogenschmelz-schweißen)
6.2.	Ív-hegesztőfor-rasztás	Arc weld brazing	Sudare prin lipire cu arc electric	Lichtbogenlöten
2.7.	Ívhúzásos csap-hegesztés	Arc stud welding	Sudare a bolţu-rilor	Bolzenschweißen
2.10.	Kavaró dörzshe-gesztés	Friction stir welding	Sudare prin fre-care cu element activ rotitor	Rührreibschwei-ßen

5.1.b.	Kemencés lágyforrasztás	Furnace soldering	Lipire moale în cuptor	Ofenweichlöten
5	Keményforrasztás, lágyforrasztás és hegesztőforrasztás	Brazing, soldering and braze welding	Lipire tare, lipire moale și sudare prin lipire	Hartlöten, Weichlöten und Fugenlöten
2.7.I.	Kerámiagyűrűs vagy védőgázos, ívhúzásos csaphegesztés	Drawn arc stud welding with ceramic ferrule or shielding gas	Sudare cu arc electric a bolțurilor cu amorsare prin ridicare cu inel ceramic sau cu gaz de protecție	Hubz¸ndungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas
2.2.1.	Kétoldali ellenállás-ponthegesztés	Direct spot welding	Sudare în puncte directă	direktes Widersandspunktschweißen
3.2.	Kézi ívhegesztés	Manual metal arc welding	Sudarea manuală cu arc electric (sudare cu arc electric cu electrod învelit)	Lichtbogenhandschweißen
2.7. II.	Kondenzátorkisütéses, gyújtócsúcsos csaphegesztés	Capacitor discharge stud welding with tip ignition	Sudare cu arc electric a bolțurilor cu amorsare prin vârf fuzibil prin descărcarea unui condensator	Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Spitzenzündung
3.8.	Lánghegesztés	Gas welding	Sudarea cu gaze prin topire	Gasschmelzschweißen
6.1.	Láng-hegesztőforrasztás	Gas weld brazing	Sudare prin lipire cu gaze	Fugenlöten mit Flamme
5.2.	Lánghevítéses keményforrasztás	Flame brazing	Lipire tare cu flacără	Flammhartlöten
8.1.	Lángvágás	Flame cutting	Tăiere cu gaze; tăiere cu oxigen	autogenes Brennschneiden
2.9.	Lendkerekes dörzshegesztés	Inertia friction welding	Sudare prin frecare prin inerție	Reibschweißen mit Schwungradantrieb
2.6.	Leolvasztó ellenállás-tompahegesztés	Flash welding	Sudare prin topire intermediară	Abbrennstumpfschweißen mit Vorwärmung
3.10.	Lézersugaras hegesztés	Laser welding	Sudarea laser	Laserstrahlschweißen

8.3.	Lézersugaras vágás	Laser cutting	Tăiere cu laser	Laserstrahlschneiden
2.12.	Mágneses impulzusos hegesztés	Magnetic pulse welding	Sudare cu impulsuri magnetice	Magnetpulsschweißen
3.7.	Nem átvitt ívű plazmaívhegesztés; plazmasugaras ívhegesztés	Plasma arc welding with non-transferred arc	Sudarea cu plasmă cu arc netransferat	Plasmastrahlschweißen
3.3.	Önvédő, porbeles huzalelektródás ívhegesztés	Self-shielded tubular cored arc welding	Sudare cu arc electric cu sârmă tubulară autoprotectoare	Metall-Lichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode ohne Schutzgas
3.8.	Oxigén-acetilénes lánghegesztés	Oxyacetylene welding	Sudarea oxi-acetilenă	Gasschweißen mit Sauerstoff-Acetylen-Flamme
3.8.	Oxigénes lánghegesztés	Oxyfuel gas welding	Sudarea oxigaz	Gasschweißen mit Sauerstoff-Brenngas-Flamme
3.8.	Oxigén-hidrogénes lánghegesztés	Oxyhydrogen welding	Sudarea oxihidrică	Gasschweißen mit Sauerstoff-Wasserstoff-Flamme
3.8.	Oxigén-propános lánghegesztés	Oxypropane welding	Sudarea oxipropanică	Gasschweißen mit Sauerstoff-Propan-Flamme
5.1.a.	Pákás lágyforrasztás	Soldering with soldering iron	Lipire moale cu ciocanul de lipit	Kolbenweichlöten
3.7.	Plazmaívhegesztés	Plasma arc welding	Sudarea cu plasmă	Plasmaschweißen
8.2.	Plazmavágás	Plasma cutting	Tăiere cu plasma	Plasmaschneiden
2.11.	Robbantásos hegesztés	Explosion welding	Sudare prin explozie	Sprengschweißen
2.7. I.	Rövidciklusú, ívhúzásos csaphegesztés	Short-cycle drawn arc stud welding	Sudare cu arc electric a bolţurilor cu amorsare prin ridicare cu ciclu scurt	Kurzzeit-Bolzenschweißen mit Hubzündung
2	Sajtolóhegesztés	Welding with pressure	Sudare prin presiune	Preflschweißen
3.10.	Szilárdtestlézeres, lézersugaras hegesztés	Solid state laser welding	Sudare cu laser cu corp solid	Festkörper-Laserstrahlschweißen

8	Termikus vágás	Thermal cutting	Tăiere termică	Thermalschneiden
3.11.	Termithegesztés (aluminotermikus hegesztés)	Aluminothermic welding	Sudare aluminotermică; sudare cu termit	aluminothermisches Schweißen
2.8.	Ultrahangos hegesztés	Ultrasonic welding	Sudare cu ultrasunete	Ultraschallschweißen
2.8.	Ultrahangos ponthegesztés	Ultrasonic spot welding	Sudare cu ultrasunete în puncte	Ultraschall-Punktschweißen
2.8.	Ultrahangos vonalhegesztés	Ultrasonic seam welding	Sudare cu ultrasunete în linie	Ultraschall-Nahtschweißen
3.9.	Vákuumban végzett elektronsugaras hegesztés	Electron beam welding in vacuum	Sudarea cu fascicul de electroni în vid	Elektronenstrahlschweißen unter Vakuum
5.1.b.	Vákuumos lágyforrasztás	Vacuum soldering	Lipire moale în vid	Vakuumweichlöten
3.6.	Volfrámelektródás, védőgázos ívhegesztés; (TIG-hegesztés)	Gas-shielded arc welding with non-consumable tungsten electrode	Sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil	Wolfram-Schutzgasschweiße
2.6.	Zömítő ellenállás-tompahegesztés	Resistance butt welding	Sudare cap la cap în stare solidă	Pressstumpfschweißen

Szakirodalom

1. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába.* Műszaki Tudományos Füzetek 3., EME, Kolozsvár, 2007. https://doi.org/10.36242/mtf-03
2. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés*. Műszaki Tudományos Füzetek 5., EME, Kolozsvár, 2009. https://doi.org/10.36242/mtf-05
3. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés.* Műszaki Tudományos Füzetek 9., EME, Kolozsvár, 2010. https://doi.org/10.36242/mtf-08
4. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika II. Berendezések és mérések*. Műszaki Tudományos Füzetek 10., EME, Kolozsvár, 2010. https://doi.org/10.36242/mtf-09
5. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. Műszaki Tudományos Füzetek 4., EME, Kolozsvár, 2007. https://doi.org/10.36242/mtf-04
6. Bitay Enikő – Bagyinszki Gyula – Dobránszky János: *A hegesztés, a forrasztás és a termikus vágás fémtechnológiai alapismeretei.* Budapest, 2013. (egyetemi jegyzet).
7. Bohnart, Edward R.: *Welding Principles and Practices*. Fifth Edition, McGraw-Hill Education, New York, 2018.
8. Czichos, Horst és társai (szerk.): *Hütte*: *A mérnöki tudományok kézikönyve.* Springer Hungarica Kiadó Kft., Budapest, 1993.
9. Dehelean, Dorin: *Sudarea prin topire.* Editura Sudura, Timişoara, 1997.
10. Dormán Lajos: *Gépészeti anyagismeret I. Fémek és fémes anyagok*. Újvidék, 2001.
11. Frischherz Adolf – Skop Paul: *Fémtechnológia 1. Alapismeretek.* B + V Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1993.
12. Frischherz Adolf – Piegler Herbert: *Fémtechnológia 2. Szakismeretek*. B + V Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1994.
13. Gáti József (szerk.): *Hegesztési zsebkönyv*. COKOM Mérnökiroda Kft, Mikolc, 2003.
14. Hluchý, Miroslav et al.: *Gépgyártástechnológia – Félkészgyártmányok – A megmunkálás alapjai.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
15. Jenney, Cynthia L – O'Brien, Annette (szerk.): *Welding Handbook. Welding Science and Technology.* Volume 1. American Welding Society (AWS), 2001.
16. Jeffus, Larry: *Welding: Principles and Applications.* Cengage Learning. Boston, 2017.
17. Jeffus, Larry – Bower, Lawrence: *Welding Skills, Processes and Practices for Entry-Level Welders: Book 1. Welding Skills, Processes and Practices for Entry-Level Welders.* Delmar, Cengage Learning. 2010.

18. Kovács Mihály: *Hegesztés.* Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2013.
19. Miklosi, Corneliu (szerk.): *Sudarea metalelor.* Editura Tehnică, Bukarest, 1965. 401–402.
20. Messler, Robert W. Jr.: *Principles Of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy.* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2004.
21. Messler, Robert W. Jr.: *A Practical Guide to Welding Solutions: Overcoming Technical and Material-Specific Issues.* Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2019.
22. Pálfalvi Attila et al.: *Tehnologia materialelor*. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
23. Phillips, David H.: *Welding Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, 2016.
24. Rejtő Sándor: *Az elméleti mechanikai technológia alapelvei és a fémek technológiája. A melegség hatása a szilárd anyagok mechanikai tulajdonságaira*. Kilián Frigyes utóda, M. Kir. Egyetemi Könyvkereskedés bizománya, Budapest, 1915. https://eda.eme.ro/handle/10598/28300/
25. Sahoo, Susanta Kumar – Satpathy, Mantra Prasad: *Ultrasonic Welding of Metal Sheets.* CRC Press, 2021.
26. Sârbu, Ionel: *Sudarea prin topire a pieselor metalice*. Tehnica-Info, Chişinău, 2000.
27. Singh, Ramesh: *Applied Welding Engineering Processes, Codes and Standards.* Butterworth-Heinemann, Oxford, 2016.
28. Szunyogh László (főszerk.): *Hegesztés és rokon technológiák*. Kézikönyv. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007.
29. Tisza Miklós (szerk.): *Mechanikai technológiák*, Miskolci Egyetem Kiadó, 2006.
30. Túsz, Francisc: *Tratat de sudură*. Editura Sudura, 2003.
31. *** *EuWeld kurzus*. 2016-1-RO01-KA202-024508, Erasmus-Programme of the European Union.

Basics of Welding

Summary

Welding is the most important technology for the joining of industrial materials. This can be seen in the multitude of procedures, corresponding welding materials and the extensive standardization and possibilities for mechanization and automation in this field. This book presents the fundamental concepts in welding and related procedures including soldering, brazing, bounding and thermal cutting. Its purpose is to offer an aid for the assimilation of knowledge in the field of materials technology and to facilitate in-depth study of welding.

With this book it is intended that the reader will gain knowledge of the most commonly applied welding and related procedures and will acquire detailed knowledge of the large diversity of welding principles, methods and application areas. As such, it should prove to be an excellent aid for specialist study. There are ten chapters after which an annex of welding terms in Hungarian, Romanian, English, and German is given. There is also a dictionary of technical terms supplemented with a bibliography containing 31 titles. The glossary that closes this book serves to further consolidate an understanding of the manifold concepts and ideas addressed in the text. The presentation is enhanced by 109 colour figures and photos.

The first chapter presents the basic notions related to non-demountable assemblies. It gives clear definitions and highlights the differences between welding and soldering procedures. Regarding welding procedures, fusion welding and pressure welding are discussed in separate subsections. Chapter two gives a detailed presentation of precision welding procedures. The first subsection presents the taxonomy of these procedures while the following subsections provide a detailed description of each procedure.

Although the chapter title specifies „The most important", some specific procedures such as explosion welding or magnetic impulse welding are also presented. Chapter three deals with fusion welding procedures: starting with the classical procedures and how they are evolving into the specialized ones. The author explains in the smallest detail seven arc welding procedures, and subsequently flame welding. This chapter ends with the non-conventional welding

procedures such as electron beam welding, laser welding, and alumino-thermic welding. Chapter four provides a detailed synthesis of welding materials. The focus of the presentation is on coated welding rods and structures in three subsections. The remaining two subsections deal with the protecting gases and the gases of flame welding.

Chapter five presents the soldering technologies. This chapter is divided in two subsections. The first describes soldering while the next deals with brazing procedures. Chapter six presents braze welding while chapter seven some specific bonding procedures. Chapter eight is dedicated to describing the three thermal separation procedures: flame cutting, plasma jet cutting and laser cutting.

The last two chapters can be considered as complementary: they present the historical framework of the development of welding, and welding as a tool of artistic expression. Finally, it can be stated that this book provides basic knowledge in the field of materials technology, through theoretical and practical examples, complemented by figures and photos. It makes more expressive, understandable and attractive this – maybe the most exciting – field of mechanical engineering.

CONTENTS

FOREWORD 7

INTRODUCTION 9

1. THE WELDED AND THE SOLDERED ASSEMBLY 11
   1.1. Definition of welded assembly 12
   1.2. Definition of welding 12
   1.3. Main parts of the welded assembly 12
   1.4. Pressure welding processes 14
   1.5. Fusion welding processes 14
   1.6. Brazing and soldering processes 15

2. THE MAIN PRESSURE WELDING PROCEDURES 17
   2.1. Resistance welding procedures 19
   2.2. Resistance spot welding 19
   2.3. Resistance seam welding 22
   2.4. Projection welding 24
   2.5. Resistance stud welding 27
   2.6. Resistance butt welding procedures 28
   2.7. Arc stud welding 30
   2.8. Ultrasonic welding 33
   2.9. Friction welding 37
   2.10. Friction stir welding 38
   2.11. Explosion welding 40
   2.12. Magnetic pulse welding 42

3. WELDING WITH CONSUMABLE INSERT 44
   3.1. Arc welding types 45
   3.2. Manual arc welding 46
   3.3. Self-shielded, tubular cored arc welding 47
   3.4. Submerged arc welding 48
   3.5. Gas-shielded metal arc welding 50
   3.6. Gas-shielded arc welding with non-consumable tungsten electrode 51
   3.7. Plasma arc welding 53
   3.8. Gas welding 54

3.9. Electron beam welding ... 56
3.10. Laser welding ... 58
3.11. Aluminothermic welding ... 62

4. MAIN CHARACTRISTICS OF WELDING CONSUMABLES ... 64
4.1. Coated stick electrodes ... 64
4.1.1. Basic properties of stick electrodes ... 65
4.1.2. Types and main properties of coated stick electrodes ... 67
4.2. Shielding gases in welding processes ... 68
4.3. Gases of the flame welding ... 70

5. THE BASICS OF SOLDERING ... 72
5.1. Soldering ... 73
5.2. Brazing ... 76

6. THE BRAZE WELDING ... 79
6.1. Flame brazing ... 79
6.2. Arc weld brazing ... 80

7. BONDING ... 82

8. BASIC KNOWLEDGE IN A THERMICAL CUTTING ... 87
8.1. Flame cutting ... 87
8.2. Plasma-beam cutting ... 90
8.3. Laser-beam curting ... 91

9. REMARCABLE MOMENTS IN THE HISTORY OF WELDING ... 94
Some important events in development of welding. ... 94
Academician Cornel Miklósi, „The father of railway welding" ... 96

10. WELDING EXTEDED IN ART ... 101
Welding, as a modality of artistic expressivity ... 101
The art of Matteo Baroni ... 103

APPENDIX: The denomination of the welding and related procedures mentioned in this book, in Hungarian, Romanian, English and German ... 108

LITTERATURE ... 113

BASICS OF WELDING (Summary) ... 115
Contents ... 117

GRUNDLAGEN DES SCHWEIßENS (Zusammenfassung) ... 119
Inhalt ... 121

BAZELE SUDĂRII (Rezumat) ... 123
Cuprins ... 125

Grundlagen des Schweißens

Zusammenfassung

Schweißen ist die wichtigste Bindungstechnik von in der Industrie angewandten Werkstoffen. Das wird durch die Vollzähligkeit von Prozessen, die dieser entsprechenden Schweißstoffen, dem umfangreichen Normungskontext und den Mechanisierung- bzw. Automatisierungsmöglichkeiten, unterstützt. Dieses Buch enthält grundlegende Kenntnisse über Schweiß- und verwandte Prozesse, wie Löten, Schweißen, Kleben, thermisches Schneiden, um den Erwerb von Wissen über die Materialtechnologie zu erleichtern und eine gute Stimmung für eine bessere Vertiefung zu schaffen. Das Bucht stellt dem Leser die häufigsten angewandten Schweißverfahren zur Verfügung. Nach einem sorgfältigen Studium des Buches erhält der Leser Kenntnisse über die umfassenden und vielfältigen Prinzipien, Methoden und Anwendungen der Schweißverfahren. Es ist ein ausgezeichnetes Instrument zur Vertiefung in der Fachrichtung.

Das Buch ist in zehn Kapitel aufgeteilt. Den Kapiteln folgt ein Anhang mit den Benennungen der Schweißverfahren in Ungarisch, Rumänisch, English und Deutsch, und ein terminologischer Wörterbuchauszug.

Die eingeführten Begriffe werden durch eine Bibliografie mit 30 Titel unterstützt.

Das Buch beendet mit einem Verzeichnis, zur effizienter Orientierung in der Menge der dargestellten Begriffe.

Die Präsentation der Verfahren ist begleitet von 109 bunten Abbildungen und Fotos.

Das erste Kapitel präsentiert die Grundlagen der unlösbaren Verbände, und definiert klar den Unterschied zwischen Schweißen und Löten. Im Fall der Schweißverbände, Pressschweißen und Schmelzschweißen sind jene in einem Unterabschnitt entwickelt.

Kapitel zwei präsentiert ausführlich die Preßschweißverfahren. Der erste Unterabschnitt stellt die Taxonomie der obengenannten Verfahren dar, und ist begleitet von den Beschreibungen der einzelnen Prozeduren. Trotz dem Kapiteltitel verweist auf „wichtigsten Erhfahrungen", sind hier auch Sonderverfahren, wie Sprengschweißen und Magnetpulzschweißen beschrieben.

Kapitel drei stellt die Schmelzschweißverfahren dar. Die Reihe der Unterabschnitten beginnt mit den klassischen Verfahren und endet mit der Sonderverfahren. Der Autor kümmert sich ausreichend mit der Beschreibung der sieben Bogenschweißverfahren, die von der Präsentation der Gasschmelzschweißen begleitet ist. Der Kapitel endet mit der Präsentation der unkonventionellen Verfahren, wie das Elektronstrahlschweißen, das Laserstrahlshweißen und das aluminothermische Schweißen.

Kapitel 4 umfasst die Schweißstoffqualitäten. Der Schwerpunkt wird hier auf den beschichteten Elektroden gestellt, die in drei Unterabschnitten beschrieben sind. Die anderen zwei Unterabschnitten präsentieren die Schützgasstoffen und die Flammgasstoffen.

Kapitel 5 beschreibt die Lötenverfahren. Es ist in zwei Unterabschnitten geteilt: der erste beschreibt der Hartlöten- während der zweite der Weichlötenverfahren.

Kapitel 6 enthält Kenntnisse über der Schweißklöten. Kapitel 7 umfasst die verbleibenden Lötenverfahren.

Kapitel 8 ist bestimmt für die Präsentierung der drei thermischen Stofftrennverfahren, d.h. autogenes Brennschneiden, Plasmaschneiden und Laserstrahlschneiden.

Die letzten zwei Kapitel des Buchs können als Ausnahme gesehen werden, die den geschichtlichen Rahmen der Entwicklung der Schweißverfahren, bzw. die künstlichen Anwendungen beschreiben.

Als Schlussfolgerung kann man hinzufügen, daß dieses Buch Grundkenntnisse im Feld der Stofftechnologien gibt, die durch theoretische und praktische Beispiele, Abbildungen und Fotos unterstützt sind. Es stellt diese – vielleicht die aufregendste Fachrichtung der mechanischen Ingenieurweise – mehr, anschaulich, deutlich, und vielleicht mehr attraktiv dar.

INHALT

VORWORT 7

EINLEITUNG 9

1. DIE GESCHWEIßTE UND DIE GELÖTETE BINDUNG 11
1.1. Definition der geschweißten Bindung 12
1.2. Definition des Schweißen 12
1.3. Hauptteile der geschweißten Bindung 12
1.4. Die Preßschweißenverfahren 14
1.5. Die Schmelzschweißverfahren 14
1.6. Die Lötenverfahren 15

2. WESENTLICHE PRESSSCHWEIßVERFAHRUNGEN 17
2.1. Widerstandschweißverfahren 19
2.2. Widerstand-Punktschweißen 19
2.3. Rollennahtschweißen 22
2.4. Buckelschweißen 24
2.5. Widerstandbolzenschweißen 27
2.6. Preßstumpfschweißen 28
2.7. Widerstandsbolzenschweißen 30
2.8. Ultraschallschweißen 33
2.9. Reibschweißen 37
2.10. Rührreibschweißen 38
2.11. Sprengschweißen 40
2.12. Magnetpulsschweißen 42

3. SCHMELZSCHWEIßENVERFAHREN 44
3.1. Lichtbogenschweißverfahren 45
3.2. Lichtbogenhandschweißen 46
3.3. Metall-Lichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode ohne Schutzgas 47
3.4. Unterpulverschweißen 48
3.5. Metall-Schutzgasschweißen 50
3.6. Wolfram-Schutzgasschweißen 51
3.7. Plasmaschweißen 53

3.8. Gasschmelzschweißen 54
3.9. Elektronenstrahlschweißen 56
3.10. Laserstrahlschweißen 58
3.11. Aluminothermisches Schweißen 62

4. WESENTLICHE EIGENSCHAFTEN DER SCHWEIßSTOFFEN 64
4.1. Beschichtete Elektroden 64
4.1.1. Gründliche Eigenschaften der beschichteten Elektroden 65
4.1.2. Beschichtete Elektrodentypen und ihre Fähigkeiten 67
4.2. Schutzgasen in Schweißverfahrungen 68
4.3. Gasen im Brennschweißprozessen 70

5. GRUNDLAGEN DER LÖTEN 72
5.1. Weichlöten 73
5.2. Hartlöten 76

6. FUGENLÖTEN 79
6.1. Fugenlöten mit Flamme 79
6.2. Lichtbogen-Fugenlöten 80

7. DAS KLEBEN 82

8. GRUNDLAGEBN DES TERMISCHEN SCHNEIDENS 87
8.1. Autogenes Brennschneiden 87
8.2. Plasmaschneiden 90
8.3. Laserstrahlschneiden 91

9. BEDEUTENDE ZEITPUNKTE IN DER GESCHICHTE DES SCHWEIßENS 94
Wichtig Geschehenes in der Entwicklung des Schweißens 94
Akademiker Kornél Miklósi, „Vater des Bahngleisenschweißens” 96

10. SCHWEIßEN IN DER KUNST 101
Schweißen als Zeug des künstlerischen Ausdrucks 101
Der Kunstopfer der Matteo Baroni 103

ANHANG: Die Benennungen der im Buch erwähnten Begriffe der Schweiß- und verwandte Verfahren in Ungarisch, Rumänisch, Englisch und Deutsch 108

FACHLITTERATUR 113

BASICS OF WELDING (Summary) 115
Contents 117

GRUNDLAGEN DES SCHWEIßENS (Zusammenfassung) 119
Inhalt 121

BAZELE SUDĂRII (Rezumat) 123
Cuprins 125

Bazele sudării

Rezumat

Sudarea reprezintă cea mai importantă tehnologie de îmbinare ale materialelor din industrie, dovedită de multitudinea de procedee, de materiale de sudare, standardizarea extinsă precum şi posibilitatea de mecanizare şi de automatizare. Cartea de faţă prezintă cunoştinţele de bază legate de sudare şi procedeele înrudite cu aceasta – lipirea, sudarea prin lipire, tăierea termică – cu scopul de a facilita, prin prezentarea principalelor procedee, însuşirea cunoştinţelor din domeniul tehnologiei materialelor şi de a trezi interesul spre aprofundarea cunoştinţelor în domeniu. Cititorului i se prezintă cel mai frecvent aplicate procedee. În urma unui studiu amănunţit, cititorul va dobândi informaţi despre principiile, metodele şi ariile de aplicaţie de mare varietate şi extindere a procedeelor de sudare. Cartea reprezintă un mijloc de excepţie în vederea adâncirii cunoştinţelor de specialitate.

Lucrarea se împarte în zece capitole, urmate de o anexă care conţine denumirile procedeelor de sudură în limbile maghiară, română, engleză şi germană, precum şi un dicţionar terminologic.

Noţiunile introduse sunt fundamentate printr-o bibliografie conţinând 31 de titluri.

La finele cărţii există un glosar , care ajută la orientarea mai rapidă, mai eficientă în multitudinea noţiunilor prezentate.

Prezentarea procedeelor este însoţită de un număr de 109 de figuri sau fotografii color.

Capitolul întâi prezintă noţiunile de bază ale asamblărilor nedemontabile şi dă definiţiile clare respectiv deosebirea dintre procedeele de sudare şi cele de lipire. În cazul asamblărilor sudate, sudura cap la cap prin presiune şi sudura cu adaos de material sunt tratate în subcapitole separate.

Capitolul doi prezintă detaliat procedeele de sudare prin presiune. Primul subcapitol descrie taxonomia acestor proceduri, continuând în celelalte subcapitole cu prezentarea riguroasă a acestora. Cu toate că titlul capitolului conţine termenul „mai importante”, îşi găsesc aici locul şi câteva proceduri speciale, cum ar fi sudarea prin explozie sau sudarea prin impulsuri magnetice.

Capitolul trei prezintă procedeele de sudare cu adaos de material. Subcapitolele sunt ordonate începând cu procedeele clasice, continuând înspre cele speciale. Autorul tratează în amănunţime şapte variante ale sudării cu arc, urmând acestora sudarea cu flacără. La finele capitolului sunt înşiruite procedeele speciale, neconvenţionale: sudarea cu fascicul de electroni, cu fascicul laser, şi sudarea alumino-termică.

Capitolul patru oferă o sinteză a materialelor pentru sudare. Accentul este pus pe electrozii cu înveliş, aceştia fiind prezentaţi în trei subcapitole consecutive. Celelalte două subcapitole rămase prezintă gazele de protecţie respectiv gazele pentru sudare cu flacără.

În capitolul cinci se prezintă câteva proceduri de lipire. Capitolul se împarte în două subcapitole: lipirea tare sau brazarea, respectiv lipirea moale.

Capitolul şase prezintă unele variante ale tehnologiei de sudare prin lipire, pe când capitolul şapte descrie procedeele de lipire.

Capitolul opt este consacrat celor trei procedee de separare termică de material, şi anume tăierea cu flacără, tăierea cu jet de plasmă şi tăierea cu fascicul Laser.

Ultimele două capitole sunt complementare, care tratează cadrul istoric al tehnologiilor de sudare, respectiv latura de aplicabilitate ale acestora în expresia artistică.

În final, se poate afirma că lucrarea de faţă oferă cunoştinţe de bază în domeniul tehnologiei materialelor, prin exemple teoretice şi practice, completate cu figuri şi fotografii care fac, ca această specialitate – poate cea mai captivantă – a ingineriei mecanice, să fie mai uşor accesibilă, ilustrativă şi mai atractivă.

CUPRINS

PREFAȚĂ 7

INTRODUCERE 9

1. ASAMBLĂRI SUDATE ŞI LIPITE 11
1.1. Definirea asamblării sudate 12
1.2. Noțiunea de sudură 12
1.3. Părţile principale ale asamblării sudate 12
1.4. Sudura prin presiune 14
1.5. Sudura cu adaos de material 14
1.6. Lipirea 15

2. PROCEDEELE PRINCIPALE ALE SUDĂRII PRIN PRESIUNE 17
2.1. Procedeele de sudare rezistivă 19
2.2. Sudarea rezistivă în puncte 19
2.3. Sudarea rezistivă în linie 22
2.4. Sudarea rezistivă cu proeminenţe 24
2.5. Sudarea rezistivă de bolţuri 27
2.6. Sudarea cap la cap 28
2.7. Sudarea de bolţuri prin arc electric 30
2.8. Sudarea prin ultrasunete 33
2.9. Sudarea prin fricţiune 37
2.10. Sudare prin frecare cu element activ 38
2.11. Sudare prin explozie 40
2.12. Sudarea prin impulsuri magnetice 42

3. PROCEDEE DE SUDARE CU MATERIAL DE ADAOS 44
3.1. Sudarea cu arc electric 45
3.2. Sudarea manuală cu arc electric 46
3.3. Sudarea cu electrod tubular cu flux 47
3.4. Sudarea cu arc acoperit 48
3.5. Sudarea cu electrozi de sârmă şi atmosferă protectoare 50
3.6. Sudarea cu arc electric cu electrozi de wolfram în atmosferă protectoare (TIG) 51
3.7. Sudarea prin arc cu plasmă 53

3.8. Sudarea cu flacără 54
3.9. Sudarea cu fascicul de electroni 56
3.10. Sudarea cu fascicul laser 58
3.11. Sudarea alumino-termică 62

4. CARACTERISTICILE MAI IMPORTANTE ALE MATERIALELOR DE SUDARE 64
4.1. Electrozii cu înveliş 64
4.1.1. Proprietăţile de bază ale electrozilor cu înveliş 65
4.1.2. Tipurile şi caracteristicile de bază ale electrozilor cu înveliş 67
4.2. Gazele protectoare ale sudurii 68
4.3. Gazele sudurii cu flacără 70

5. BAZELE LIPIRII 72
5.1. Lipirea moale 73
5.2. Lipirea tare (brazarea) 76

6. LIPIREA PRIN SUDARE 79
6.1. Lipirea prin sudare cu flacără 79
6.2. Lipirea prin sudare cu arc 80

7. LIPIREA CU MATERIAL DE ADAOS 82

8. BAZELE TĂIERII TERMICE 87
8.1. Tăierea cu flacără 87
8.2. Tăierea cu jet de plasmă 90
8.3. Tăierea cu fascicul laser 91

9. ETAPE IMPORTANTE ÎN ISTORIA SUDĂRII 94
Evenimente însemnate în istoria sudări 94
Academicianul Cornel Miklósi „părintele sudării şinelor de cale ferată" ... 96

10. ARTA SUDĂRII 101
Sudarea, mijloc de expresie artistică 101
Arta lui Matteo Baroni 103

ANEXĂ: Denumirile procedeelor de sudare şi ale procedeelor înrudite în limbile maghiară, română, engleză şi germană 108

BIBLIOGRAFIE 113

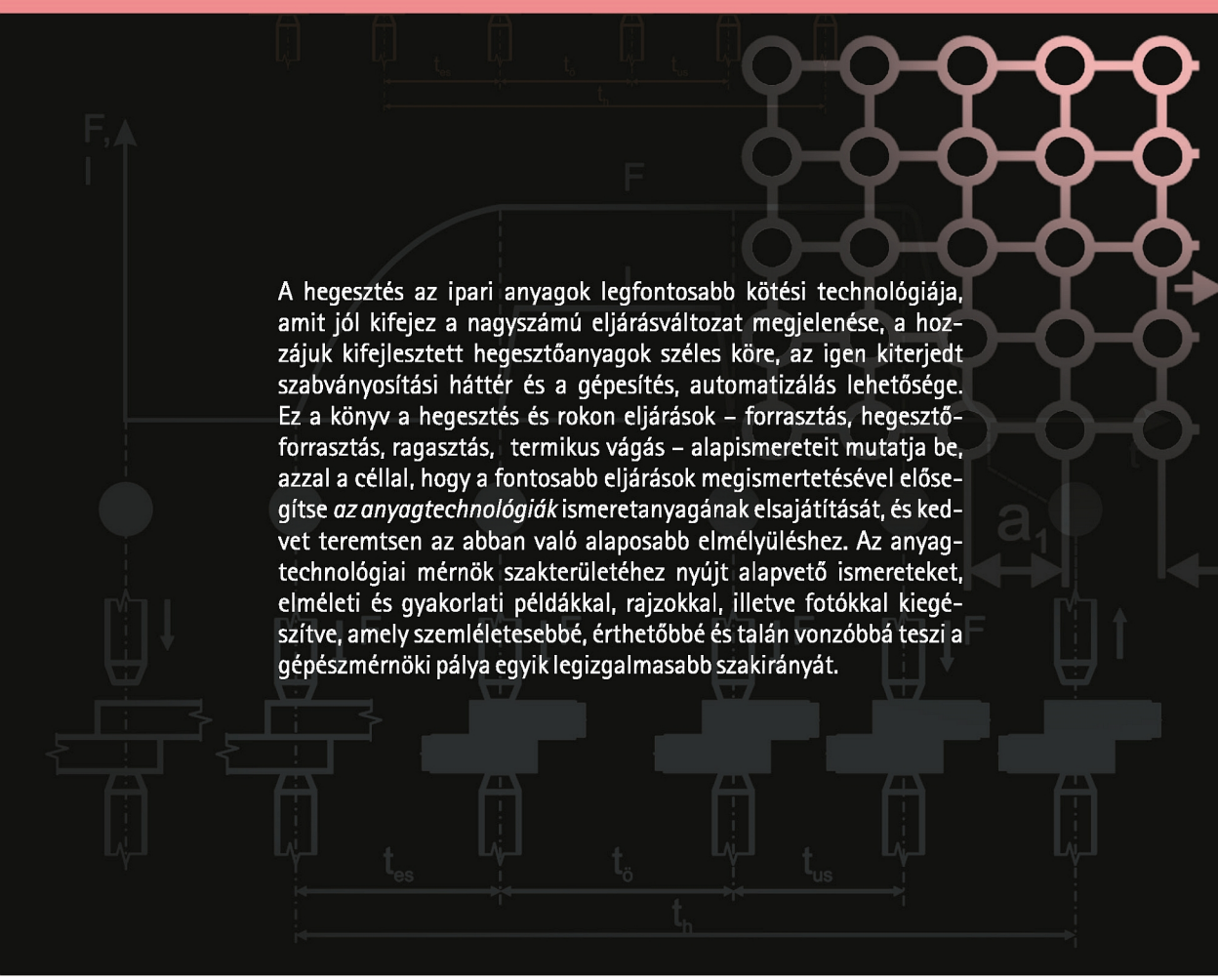
BASICS OF WELDING (Summary) 115
Contents 117
GRUNDLAGEN DES SCHWEIßENS (Zusammenfassung) 119
Inhalt 121
BAZELE SUDĂRII (Rezumat) 123
Cuprins 125

A sorozat eddig megjelent kötetei:

1. Jodál Endre: *Számítástechnika az ezredforduló küszöbén*. 1992.
2. Pálfalvi Attila: *Porkohászat*. 1993.
3. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. 2007.
4. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. 2007.
5. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés*. 2009.
6. Forgó Zoltán: *Bevezetés a mechatronikába*. 2009.
7. Tolvaly-Roşca Ferenc: *A számítógépes tervezés alapjai. AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek*. 2009.
8. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika* I. Eljárások és gépesítés. 2010.
9. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika* II. Berendezések és mérések. 2010.
10. Máté Márton: *Műszaki mechanika – kinematika*. 2010.
11. Bitay Enikő: *Anyagtudományi laboratórium I. Tulajdonságminősítő vizsgálatok.* 2011.
12. Máté Márton: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámai*. 2016.
13. Tolvaly-Roşca Ferenc: *Gépelemek*. 2019.
14. Papp István: *Mechanizmusok optimális kiegyensúlyozásának elmélete*. 2020.
15. Harangus Katalin – Kakucs András: *Valószínűségszámítás és statisztika a mérnöki gyakorlatban.* 2021.

Előkészületben:

Bitay Enikő – Végvári Ferenc: *Hőkezelési laboratórium*.
Gergely Attila: *Bevezetés a polimer anyagok feldolgozásába*.
Máté Márton: *Forgácsolószerszámok tervezése.*



A hegesztés az ipari anyagok legfontosabb kötési technológiája, amit jól kifejez a nagyszámú eljárásváltozat megjelenése, a hozzájuk kifejlesztett hegesztőanyagok széles köre, az igen kiterjedt szabványosítási háttér és a gépesítés, automatizálás lehetősége. Ez a könyv a hegesztés és rokon eljárások – forrasztás, hegesztőforrasztás, ragasztás, termikus vágás – alapismereteit mutatja be, azzal a céllal, hogy a fontosabb eljárások megismertetésével elősegítse *az anyagtechnológiák* ismeretanyagának elsajátítását, és kedvet teremtsen az abban való alaposabb elmélyüléshez. Az anyagtechnológiai mérnök szakterületéhez nyújt alapvető ismereteket, elméleti és gyakorlati példákkal, rajzokkal, illetve fotókkal kiegészítve, amely szemléletesebbé, érthetőbbé és talán vonzóbbá teszi a gépészmérnöki pálya egyik legizgalmasabb szakirányát.

ISBN: 978-606-739-206-7