

A hegesztés és a rokon gyártási eljárásai a fémek technológiájában



Szerző:

Dobránszky János

Varbai Balázs

2021.



A hegesztés és a rokon gyártási eljárásai a fémek technológiájában

Dobránszky János, tudományos tanácsadó
gépészmérnök, hegesztőmérnök, PhD, DSc,
Eötvös Loránd Kutatási hálózat, MTA–BME Kompozit-
technológiai Kutatócsoport;
BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Varbai Balázs, adjunktus
gépészmérnök, hegesztőmérnök, PhD,
BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Lektor: **Adonyi János**, professor emeritus,
LeTourneau University, Longview, TX, USA;
a BME címzetes egyetemi tanára

.....
Kiadó: DyTh Bt.

Első kiadás, 2021. – ISBN 978-963-89209-5-9
.....

A könyv tartalmának felhasználása esetén
a forrás pontos megjelölése kötelező!



Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
1. A hegesztett és a forrasztott kötés	2
1.1. A hegesztéshez kapcsoló szakkifejezések	3
1.2. A hegesztett kötés fő részei	4
2. A főbb ömlesztőhegesztési eljárások	6
2.1.1. A huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés	7
2.1.2. A volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztés	8
2.1.3. A plazmaívhegesztés	9
2.1.4. A kézi ívhegesztés	9
2.1.5. A fedett ívű hegesztés	10
2.1.6. A lánghegesztés	11
2.1.7. A lézeres hegesztés	12
3. A hegesztőanyagok jellemzői	14
3.1. A bevonatos elektrodák jellemzői és fajtái	15
3.2. A hegesztési védőgázok	16
3.3. A lánghegesztés gázai	18
4. A fontosabb sajtolóhegesztési eljárások ..	19
4.1. Az ellenállás-hegesztési eljárások	19
4.1.1. Az ellenállás-ponthegesztés	20
4.1.2. Az ellenállás-vonalhegesztés	21
4.1.3. Az ellenállás-dudorhegesztés	22
4.1.4. Az ellenállás-tompahegesztés és a leolvasztó tompahegesztés	24
4.2. A dörzshegesztés	25
5. A termikus vágás alapismeretei	26
5.1. A lángvágás	26
5.2. A plazmavágás	27
5.3. A lézeres vágás	28
6. A forrasztás alapjai	29
6. Filmtár	31

Bevezetés

Ez a tankönyv azért készült, hogy a hegesztés és a vele szoros rokonságban lévő megmunkálások alapjainak bemutatásával elősegítsük az anyagtechnológiai tantárgyak ismeretanyagának elsajátítását, és kedvet teremtünk az abban való elmélyüléshöz; az anyagtechnológiai mérnökséghez, amely a gépészmérnöki szakmai egyik legizgalmasabb szakiránya.

Az *anyagtechnológiai* tantárgyak elnevezése is arra kötelez, hogy tisztázzuk, mit is jelent ez a gyakorta használt kifejezés: technológia? A választ ekképpen fogalmazta meg *Rejtő Sándor*, a Mechanikai Technológiai Tanszék professzora, 1915-ben [1].

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 főtörekvése, 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 (3) 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 (mint pl. a 3D-s nyomtatás), amelyek összefoglaló és szaknyelviileg is helyes elnevezése: additív gyártás.

„Másodlagos” alakadási, alakmódosító, eljárások családja

- Forgácsolási eljárások,
- Egyéb, anyageltávolítással járó eljárások (pl. szikraforgácsolás, abláció, maratás).

Kötési eljárások családja

- Kötőelemes kötési eljárások,
- Ragasztási eljárások,
- Forrasztási eljárások,
- Hegesztési eljárások
- Termikus szórési eljárások.

Tulajdonságmódosító utólagos kezelések családja

- Hőkezelési és termikus felületkezelési eljárások,
- Mechanikai felületkezelések (pl. polírozás, szórás),
- Festési eljárások,
- Kémiai és elektrokémiai felületkezelések (galvanizálás).

1. A hegesztett és a forrasztott kötés

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

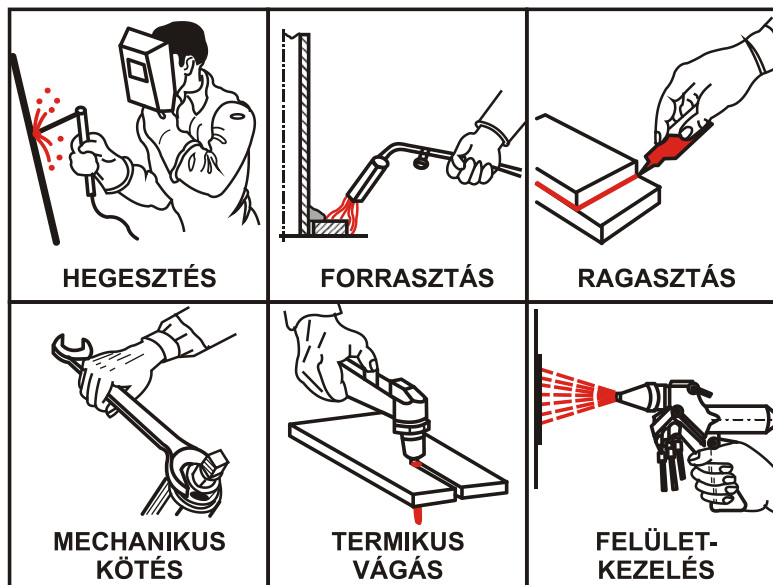
Oldható kötések	Állandó (nem oldható) kötések		
Csavaros kötés	Mechanikai ...	Kémiai ...	Termikus hatással
Csapos kötés	Feszítőkötés	Cementes kötés	Hegesztés
Ékes kötés	Nyomókötés	Laminálás	Keményforrasztás
Gyűrűs kötés	Peremezett kötés	Ragasztás	Lágyforrasztás
Karimás kötés	Szegecses kötés	Tapasztás	+
Mandzsettás ...	Szorítókötés		Hibrid kötések
Reteszes kötés	Tűzött kötés		
	Zsugorkötés		

1. ábra. A kötéstípusok egyszerű felosztása

Az oldhatatlan kötések nem lehet szétszerelni az alkatrészek vagy a kötés biztosító anyagrész roncsolása nélkül; pl. egy szegecselt kötés csak a szegecs kifűrésével lehet oldani, egy forrasztott kötés pedig csak szétvágással lehet oldani. A két alkatrész közötti kötés létrehozhatja: összeszorító erő, alakos test 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 kötések. Mind-ezen kötéstípusok közül csak a forrasztott és a hegesztett kötések készítésére szolgáló legfontosabb technológiákat tekintjük át a termikus vágások alapjaival együtt.

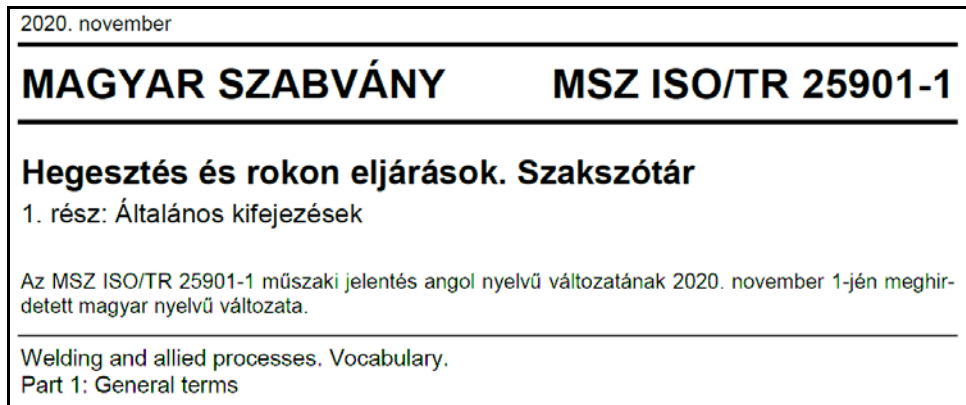
A hegesztés kötéstechnológiai jelentősége miatt a forrasztást, a ragasztást, a fém-szórást és a termikus vágást gyakran nevezik gyűjtő fogalommal a hegesztés rokon eljárásainak (a **2. ábra** vázolja ezeket).



2. ábra. A hegesztés és a vele rokon gyártási eljárások vázlatos szemléltetése [2]

1.1. A hegesztéshez kapcsolódó szakkifejezések

Számos mérnöki szakterülethez hasonlóan, a hegesztésnek rendkívül sajátos, nemzetközi szabványokban rendszerezett szaknyelve alakult ki, amelynek a megismerése és alkalmazása alapvető követelmény a mérnökök számára. Az alapvető terminológiai rendszert az ISO/TR 25901-es szabványsorozat foglalja össze. Az általános szakkifejezéseket tartalmazó, első kötete (**3. ábra**) magyar nyelven is megjelent.



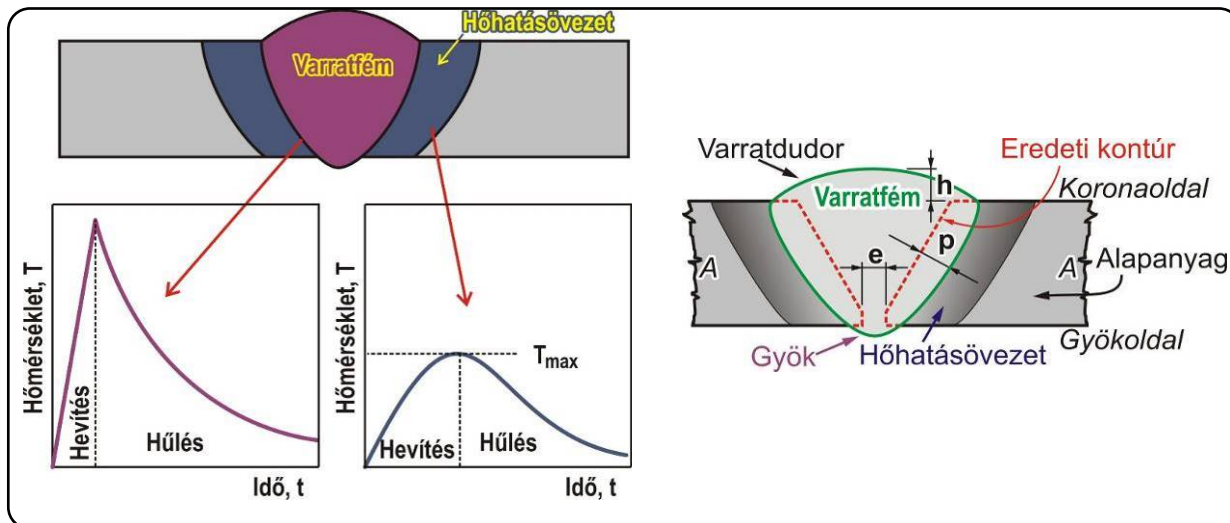
3. ábra. A hegesztés terminológiai alapszabványának címlaprészlete [3]

A legalapvetőbb szakkifejezések közül megadjuk néhánynak a magyar elnevezése és a meghatározása mellett az angol nyelvű változatát is.

- Hegesztés (welding) = Hővel vagy nyomással, vagy mindkettővel, illetve hozaganyaggal vagy anélkül alkalmazott kötési eljárás, amelyben két vagy több alkatrész egyesül, folytonosságot képezve a munkadarab(ok) anyaga(i) között. A hegesztés felrakáshoz és újraolvasztáshoz is alkalmazható.
- Ömlesztőhegesztés (fusion welding) = Helyi megömlesztéssel, külső erő alkalmazása nélkül végzett hegesztés, amelynek során az összekötendő felülete(ke)t hozaganyag adagolásával vagy anélkül kell megolvasztani.
- Varrat (weld) = A hegesztés eredménye. Részei a varratfém és a hőhatásövezet.
- Kötés (joint) = Az összekötendő vagy már összekötött munkadaraboknak, illetve e munkadarabok élleinek relatív elrendezése.
- Hegesztett kötés (welded joint) = Két vagy több alkatrész összehegesztésével létesített összeállítás.
- Hegesztett szerkezeti egység (weldment) = Egy vagy több hegesztett kötést tartalmazó összeállítás.
- Alapanyag (parent material, base material) = Az anyag, amelyet hegesztéssel, hegesztőforrasztással vagy keményforrasztással össze kell kötni, vagy amelynek a felületére réteget kell felrakni.
- Varratfém (weld metal) = Minden, a hegesztés során megolvasztott fém, amely a varratban maradt.
- Hőhatásövezet (heat-affected zone) = Az alapfém nem megolvasztott része, amelynek mikroszerkezetére a hőfolyamat hatással volt.
- Hegesztési övezet (weld zone) = A varratfémeket és a hőhatásövezeteket együttesen magába foglaló tartomány.
- Leolvasztott fém (deposited metal) = Hegesztés közben adagolt hozaganyag.
- Hegfürdő (weld pool), ömledék (molten pool) = Folyékony fémfürdő, amely az ömlesztőhegesztés során képződött.

1.2. A hegesztett kötés fő részei

Az ömlesztőhegesztéssel létrehozott hegesztett kötésnek tehát két fő részét különböztetjük meg, amelyeket a **4. ábra** egy keresztmetszeti vázlaton szemléltet. A varratfém az alapanyag egy részének és a hozaganyagnak a megolvasztásakor létrejött és összekeveredett ömledékből szilárdul meg, a hőhatásövezet pedig „csak” megolvadásal nem járó hőfolyamaton megy keresztül, amely azonban jelentősen módosíthatja az alapanyag eredeti tulajdonságait: mikroszerkezeti átalakulások, pl. allotrop fázisátalakulások, játszódnak le benne, és megváltozik pl. a keménység és a szívósság.



4. ábra. A hegesztett kötés részei, valamint jellegzetes hőciklusuk az ömlesztőhegesztési folyamatban

Az atomok közötti kohéziós kapcsolatot valamely külső forrás energiája „kényszeríti rá” az anyagokra. Ezek egy részének van saját hőmérséklete, azaz a benne fejlődő hőt kell átvenni a megmunkálendő anyagba. Ide tartozik az égésből származó láng, a villamos ív és a plazmaív. A hevítő energiaforrások más fajtáinak nincs saját hőmérsékletük, hanem a felmelegedést a megmunkálendő anyagban idézik elő, amikor kölcsönhatásba kerülnek vele; ilyen lehet az indukált mágneses tér, az elektronnyaláb, a lézernyaláb vagy a munkadarabon átfolyó villamos áram keltette Joule-hő. Mindezeket az **1. táblázat** foglalja össze.

Hevítés	Kötési eljárás	Vágási eljárás	Felületkezelés
Láng	Lángforrasztás, lánghegesztés	Lángvágás	Láingedzés, lángszórás
Villamos ív	Ívhegesztés	Ívvágás	Ívszórás
Mágneses tér	Indukciós hegesztés, forrasztás	–	Indukciós edzés
Plazma	Plazmaívhegesztés	Plazmavágás	Plazmaszórás
Elektronnyaláb	Elektronnyalábos hegesztés	Elektronnyalábos vágás	Elektronnyalábos átolvasztás, felületötöztetés
Lézernyaláb	Lézeres hegesztés	Lézeres vágás	Lézeres szórás
Súrlódás	Dörzshegesztés		Felrakás

1. táblázat. Néhány hevítési mód és alkalmazása hegesztés, forrasztás, vágás vagy felületkezelés céljára

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

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

Forrasztásról akkor beszélhetünk, amikor sem az alapanyag megolvadása, sem pedig képlékeny alakváltozást okozó külső erőhatás nem játszik közre a kötés kialakulásában, hanem az egyesítendő anyagok és a kötést biztosító forrasztóanyag közötti kölcsönös diffúzió révén alakul ki a kapcsolat, melynek feltétele, hogy az alapanyagok és a forrasztó szilárd állapotban oldják egymást. A forrasztás tehát olyan kötéslétesítési mód, amelyben a megolvadt forrasztóanyag nedvesíti és beteríti az összekötendő felületeket, majd a megszilárdulása után erős adhéziós kötést képez. Ha a forrasztóanyag olvadáspontja nagyobb, mint 450 °C, az eljárást keményforrasztásnak nevezzük, egyébként pedig lágyforrasztásnak; a pontos elnevezéseket szabvány (5. ábra) írja elő.

A forrasztás és a hegesztés esetében a kötésben kialakuló hőmérséklet meghatározó jelentőségű: adott egy hőmérséklet-határ, amely elkülöníti az eljárás-csoportokat. Ez a határ hegesztéskor az alapanyag olvadáspontjához köthető: az alapanyag – és adott esetben a hegesztőanyag – megolvadásával járó *ömlesztőhegesztés* és az alapanyag olvadása nélküli – vagy korlátozott térfogatra kiterjedő olvadással járó – *sajtolóhegesztés* különböztethető meg. Forrasztáskor a forrasztóanyagnak mindenképpen olvadék állapotba kell kerülnie, ezért két, jól elkülönülő olvadáspontú forrasztóanyag-csoportot választ szét a 450 °C-os hőmérsékletérték. Az ennél kisebb olvadáspontú forrasztókkal végezhető a lágyforrasztás, míg a nagyobb olvadáspontúakkal a keményforrasztás.

A hegesztési, forrasztási és termikus vágási eljárások rendszerezése
Szabványok, szabványok és megint csak szabványok...

2. kiadás, 2017. augusztus
2016. szeptember Tartalmazza az Sz. K. 2017. évi 8. számában közzétett helyesbítést.

MAGYAR SZABVÁNY **MSZ EN ISO 4063**

Hegesztés és rokon eljárások.
A hegesztési eljárások megnevezése és azonosító számuk
(ISO 4063:2009, 2010. 03. 01-jei helyesbített változat)

Az MSZ EN ISO 4063:2011 helyett.

Welding and allied processes. Nomenclature of processes and reference numbers
(ISO 4063:2009, Corrected version 2010-03-01)

Nemzeti előszó

A szabvány forrása az európai szabvány angol nyelvű szövege.
E szabvány magyar nyelvű kiadását a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék támogatta.

5. ábra. A hegesztés és rokon eljárásai elnevezéseit összesítő szabvány címlaprészlete [4]

2. A főbb ömlesztőhegesztési eljárások

Az ömlesztőhegesztés során az összehegesztendő anyagok kötési zónájában a hőmérséklet az olvadáspont fölé növekedik, és kialakul az úgynevezett ömledék vagy hegfüldő. A hűközlés megszüntetése után az ömledék megszilárdul, és varratfémeket képez; a műanyagok ömlesztőhegesztésekor képződő varrat neve marad: varrat.

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 hegfüldő 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 védi és szigeteli a lehülő varratzónát, lassítva ezzel a lehűlést.

A hőhatásövezetben a zónában az eredeti alapanyag „hőkezelődik”. Az acéloknál végbemehet a teljes vagy részleges ausztenitesedés, majd a lehűléskor az ausztenitből ferrit, perlit, bénit és martenzit képződhet. Az ezzel járó repedésképződési veszély a kb. 0,2 %-nál kisebb széntartalmú anyagok alkalmazásakor nem számottevő. A hegesztőmérnöki munka egyik alapvető célja a hegesztési repedések kialakulásának megelőzése. A hőhatásövezet egyes részeiben végbemehet az újrakristályosodás, ha az előzetes hidegalakítás ennek feltételeit kialakította. Emiatt kilágyulással és kedvezőtlen esetben szemcsedurvulással is kell számolni.

Az ömlesztőhegesztési eljárásokról áttekintést ad a **2. táblázat**, a kötés létesítéséhez szükséges energiásokat csoportosítva. A legelterjedtebbek és legjelentősebbek a villamos ívhegesztések (**6. ábra**).

Energiafajta	Energiaforrás	Eljárások példaként
Villamos áram	Villamos ív	Ívhegesztések
	Villamos ellenállás	Villamos salakhegesztés
Termokémiai	Kémiai reakció	Lánghegesztés
Nagy energiájú sugárzás	Elektronnyaláb	Elektronnyalábos hegesztés
	Lézernyaláb	Lézeres hegesztés

2. táblázat. Az ömlesztőhegesztési eljárások energiaforrásai



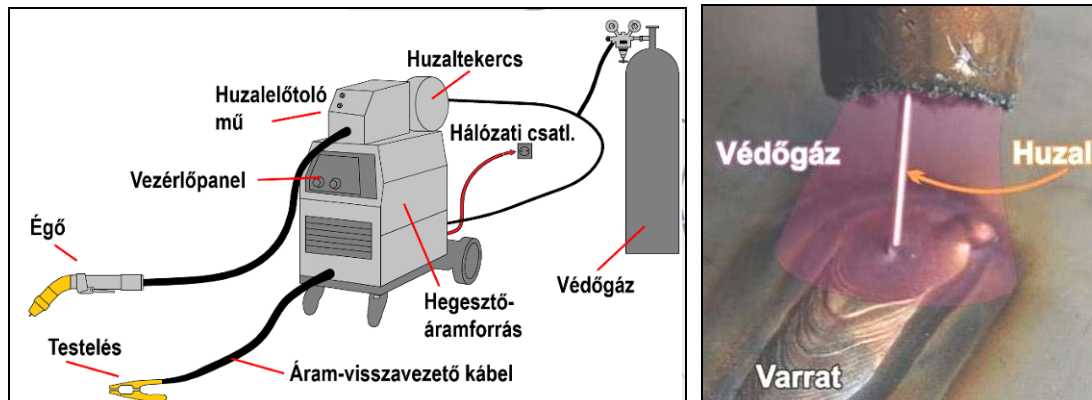
6. ábra. Szalagelektrodás fedett ívű hegesztéssel szénacélra felhegesztett, korrózióálló réteg

2.1. A villamos ívhegesztési eljárások

A villamos **ívhegesztések**hez a szükséges hőmennyiséget a villamos ív szolgáltatja. A villamos ív két, villamosan vezető anyag (az elektródák) közötti gázközegben létrejövő, hosszan tartó villamos kisülés, amelynek következtében az elektródák közötti tér atomjai részben ionizált, tehát plazma állapotba kerülnek. Ekképpen a villamos ív atomok, ionok és elektronok keveréke, vagyis az áramvezetés egy sajátos médiuma. A hegesztőívnek stabilan kell égnie, amit a hegesztőanyagok segítenek elő.

2.1.1. A huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés

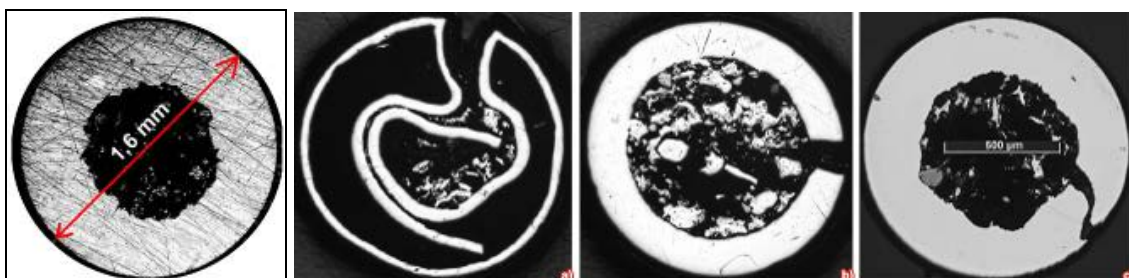
A **huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztések** világszerte a legnagyobb mértékben alkalmazott hegesztési eljárások. Közös jellemzőjük, hogy a feltekerceselt huzalelektrodát állandó sebességgel adagolja a huzalelőtoló berendezés. A villamos ív a folyamatosan leolvadó huzal vége és az alapanyag között ég. Az ömledéket és a huzalból leolvadó, az íven keresztül az ömledékbe jutó hegyanyagot a gázterelő hegesztőégő végére szerelt, cserélhető gázterelőn át kiáramló gázburok védi (**7. ábra**). Ez a gázvédelem kedvező anyagviteli és varrat tisztasági feltételeket teremt.



7. ábra. A huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés vázlatja és szemléltetése

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

A leolvadó huzalelektroda keresztmetszete lehet tömör vagy üreges, csőszerű; az előbbit tömör huzalnak, az utóbbit **porbeles huzalnak** nevezzük. A porbeles huzalok olyan portöltetet tartalmaznak (**8. ábra**), amely azonos szerepet játszik, mint a bevont elektródákban a bevonat. Mellettük önálló hegesztőanyag-fajtát alkotnak a tiszta fémporral töltött huzalok; alkalmazásukat a nagyobb hegesztési teljesítmény motiválja.

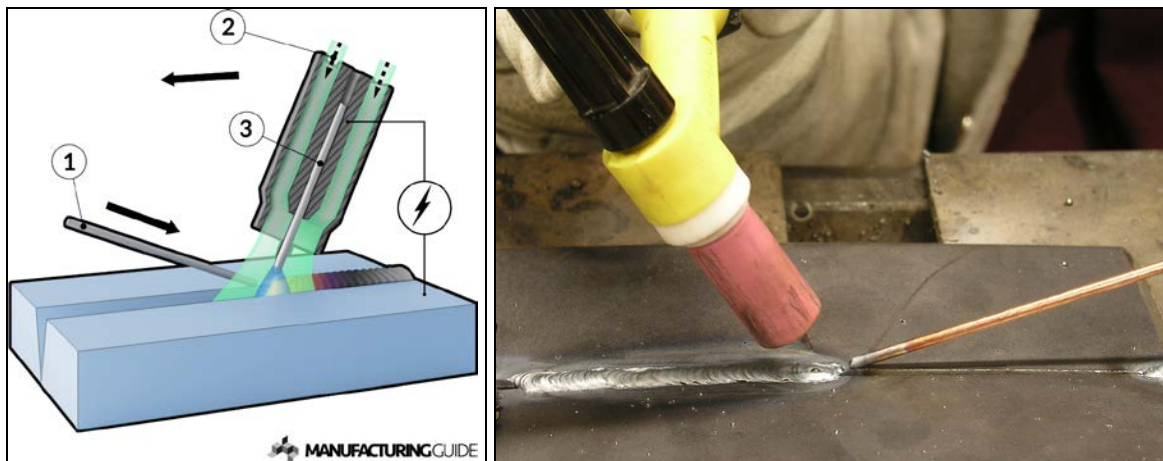


8. ábra. Különbféle szerkezeti felépítésű porbeles huzalok keresztmetszeti képe

2.1.2. A volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztés

A volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztés vázlata a **9. ábrán** látható. Alapvető sajátosságát az adja, hogy a villamos ív egyik elektrodája, nevezetesen a volfrámelektroda nem olvad le a hegesztési folyamatban. Az összehegesztendő anyag képezi az áramkör másik pólusát. Az ívet, az izzó volfrámelektrodát, valamint a megolvasztott alapanyagból és az adott esetben – de nem szükségszerűen – kézzel vagy gépi előtöltéssel adagolt hozaganyagból képződő hegfürdőt védőgázburkok védi. A védőgáz alapvetően semleges gáz, de tartalmazhat aktív komponenst (O₂, CO₂), 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 volfrámelektrodás ívhegesztéssel a gyökvarratokat – ez a többsoros varratok első sora –, a vékony lemezeket és csöveket, a rozsdamentes acélokat, nikkelt- és titánötvözeteket. Különösen fontos alkalmazása a váltakozó áramú eljárásváltozatban az alumíniumötvözetek hegesztése. A váltakozó áram lehetővé teszi felületi alumínium-oxid réteg megbontását, s így a jó varratképzést (**10. ábra**) is.



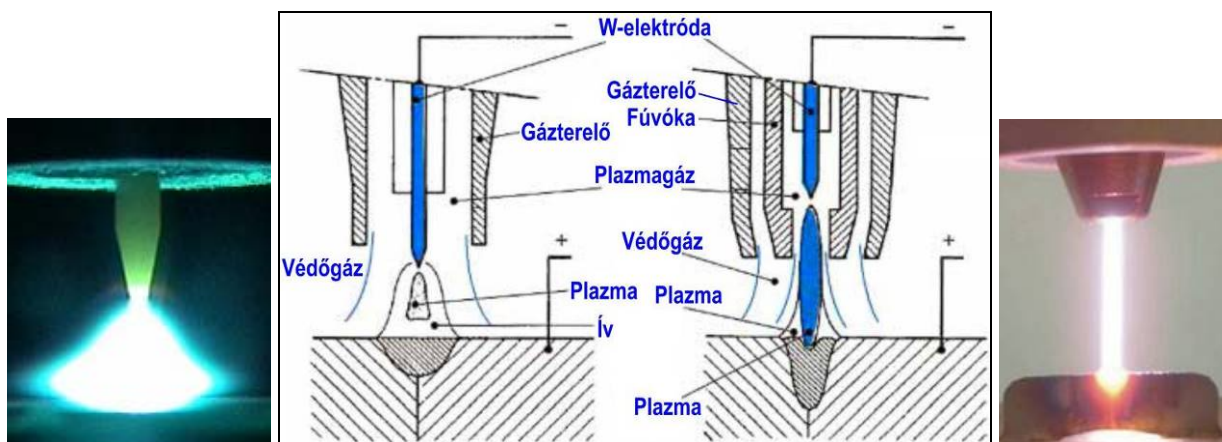
9. ábra. A volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztés vázlata [5] és egy alkalmazási példája; 1 = pálcá, 2 = védőgáz, 3 = volfrámelektroda

Áramfajta	Egyenáram –	Egyenáram +	Váltakozó áram
Elektrodapolaritás	Negatív (katód)	Pozitív (anód)	Váltakozó
Töltött részecskék áramlása			
Hegfűrdő alakja			
Oxidréteg feltörése	Nem történik meg	Igen, megvalósul	Igen, a második félciklusban
Hőmegoszlás az ívben, kb.	~30 % az elektródán ~70 % a munkadarabon	~70 % az elektródán ~30 % a munkadarabon	~50 % ~50 %
Beolvadás	Mély és keskeny	Sekély és széles	Közbenső eset
Az elektróda kihasználhatósága	Kiváló: d = 3,2 mm-es 400 A-ig	Gyenge: d = 6,4 mm-es 120 A-ig	Jó d = 3,2 mm-es 225 A-ig

10. ábra. Hőmegoszlás az egyenáramú és a váltakozó áramú TIG-hegesztésnél

2.1.3. A plazmaívhegesztés

A nemleolvadó elektródás, védőgázos ívhegesztésekhez tartozó **plazmaívhegesztés** lényegét az ívbeszűkítés jelenti. A villamos ív egész gáztere plazmává alakul, amelyet különféle áramlástechnikai kényszerek alkalmazásával összeszűkítünk (**11. ábra**), így a hevítő-olvasztó hatás lényegesen jobban fókuszálttá válik, mint a szabad ívű volfrámelektródás ívhegesztés esetében. A külön csatornában áramló plazmagázból (Ar vagy Ar + H₂ keveréke) képződő plazmát, az ívet és az ömledéket a külső csatornában áramló gázburok (Ar) védi a környezeti hatásoktól. Hozaganyag hozzáadása természetesen lehetséges, jól automatizálható, és egészen vékony fóliák, huzalok hegesztésre is alkalmazható a mikroplazmaívhegesztési eljárás. A plazmaívhegesztésnek számos változatát dolgozták ki és alkalmazzák; itt csak az alapesetet tekintjük, amelynél a plazma egyik talppontja a munkadarab: ez az átvitt ívű plazmaívhegesztés, amelynél a plazmafúvóka által leszűkített ív a volfrámelektróda és a munkadarab között ég.



11. ábra. A volfrámelektródás ívhegesztés (balra) és a plazmaívhegesztés (jobbra) plazmájának alakja

2.1.4. A kézi ívhegesztés

Fő jellemzője a hegesztőanyaga, a **bevont elektróda**, amely maghuzalból és a koncentrikusan rásajtott bevonatból áll (**12. ábra**). A munkadarab és az elektróda maghuzalja között villamos ívet kell gyújtani és hegesztés közben fenntartani. A kb. 3000 °C-os ív megolvasztja az talppontjai környezetét, és a közös hegfüldőből dermed meg a varrat. A folyamatos hegesztéshez a leolvadó elektródának előtoló, haladó és esetenként lengető mozgást kell adni. Kézi eljárás volta ellenére széles körben alkalmazzák, ahol az automatizálás műszakilag vagy gazdaságilag nem lehetséges. *A bevont elektródák jellemzőit a 3. fejezet ismerteti.*

Egyenáramú hegesztéskor a pozitív pólus (anód) hőmérséklete nagyobb a katódból kilépő, nagy sebességű elektronok becsapódása miatt. A katód hőmérséklete kisebb, felületébe fémionok csapódnak. Az ív két talppontja a katódon a katódfojt, az anódon az anódfojt. Ha az elektróda van katódként kapcsolva – egyenes polaritás –, a katódfojt mindig azonos helyen marad, az anódnak kell mozognia a hegesztési vonal mentén az elektróda előrehaladásával együtt.

Fordított polarításban – a munkadarab a katód – a katódfojt is elmozdul: a nagyobb hőmérsékletű helyről a hidegebb hely felé, ami az elektronok termikus emisszióját zavarja; eredménye az ívstabilitás romlása.

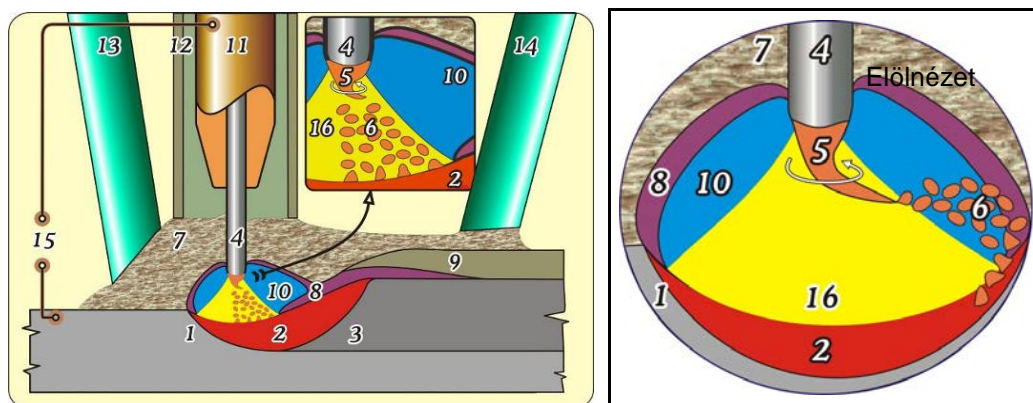


12. ábra. A kézi ívhegesztési munkahely felszerelése

2.1.5. A fedett ívű hegesztés

A fedett ívű hegesztésnél (13. ábra) a feltekercselt huzal- vagy szalagelektrodát folyamatosan tolja elő a hegesztés helyére a huzaladagoló egység, miközben egy tartályból az elektrodabevonat funkcióit (kivéve a védőgázképzést) ellátó fedőpor rejti el a villamos ívet. Rendszerint az egész hegesztőegységet önjáró szerkezetre szerelik. A kézi ívhegesztéshez viszonyítva lényegesen nagyobb áramerősségek (akár 2 kA) és leolvadási teljesítmények érhetők el.

Elsősorban hosszú, egyenes, vízszintes vagy vízszintes helyzetbe forgatható varrat- szakaszok hegesztésére alkalmas eljárás. Hosszvarratos és spirálvarratos, nagy átmé- rőjű csövek (14. ábra), hajók, daruk, hidak, tartályok, nehézjárművek vastag lemezei- nek hegesztésére használják. Hegesztőanyaga a huzalelektroda vagy a szalagelektro- da és a csak erre az eljárásra jellemző fedőpor. (Ezek a hegesztőanyagoknak és az eljárásváltozatok bemutatása nem része ennek a tárgyalásnak.)



13. ábra. A fedett ívű hegesztés vázlata; 1 –Alapanyag, 2 –Hegfürdő, 3 –Varratfém, 4 –Huzalelektroda, 5 –Megolvadt huzalvég, 6 –A forgó huzalvégről leváló cseppek, 7 –Fedőpor, 8 –Salakolvadék, 9 –Megdermedt salak, 10 –Ívkaverna, 11 –Áramátadó, 12 –Hegesztőfej, 13 –Poradagoló, 14 –Porvisszaszívó, 15 –Villamos táplálás, 16 –Hegesztőív



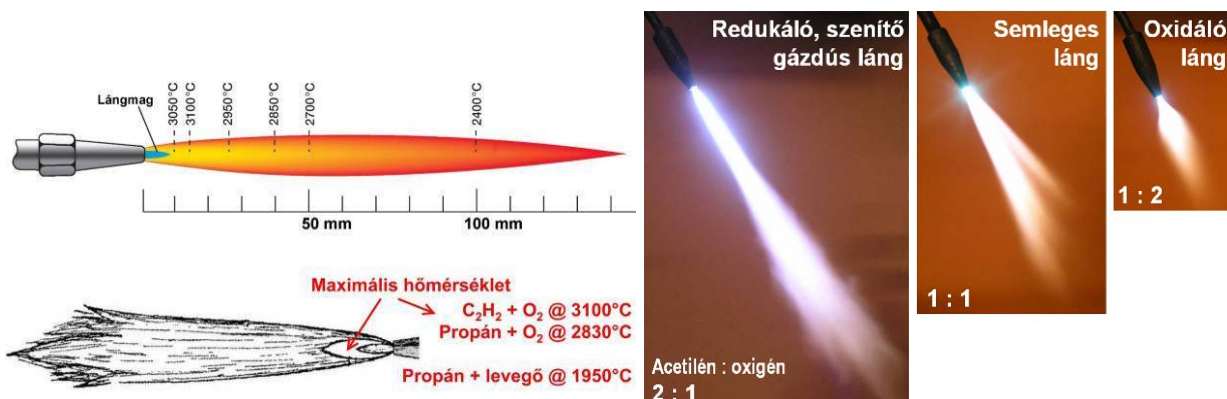
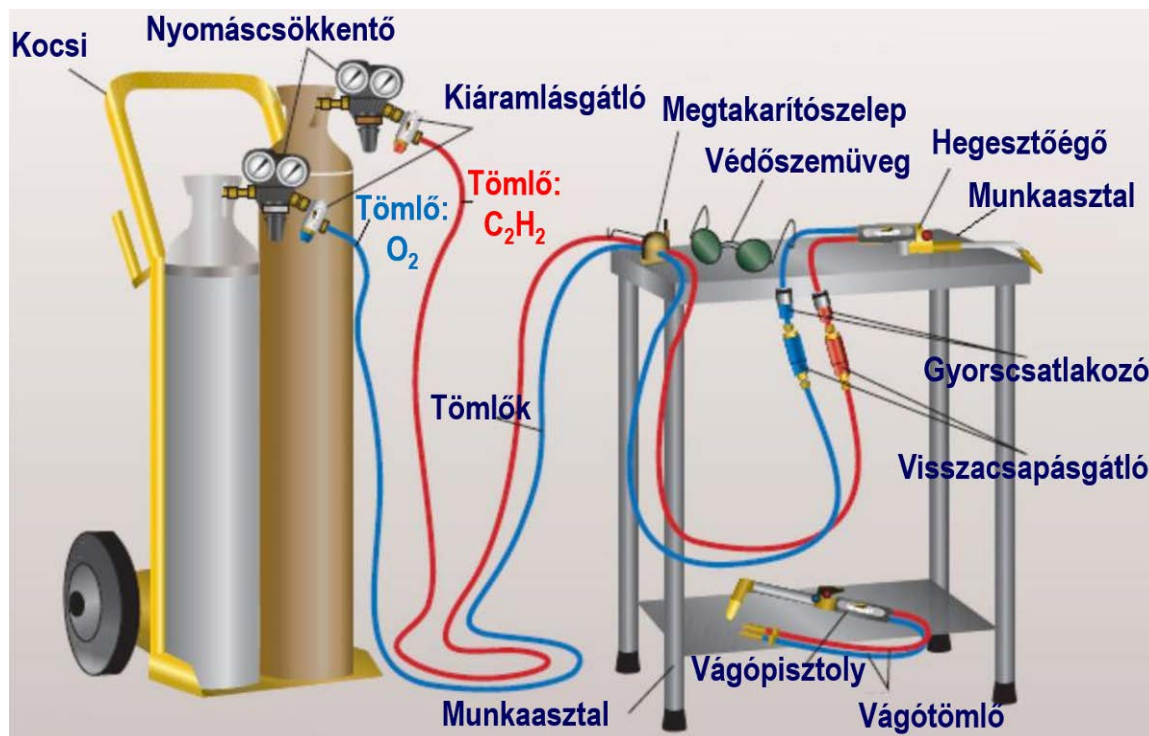
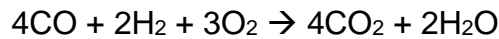
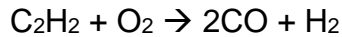
14. ábra. 813×12,5 mm méretű gáztávvezetési csövek gyártása; hosszvarratos cső (a), spirálvarratos cső (b). Tehergépkocsi-futómű csőtengelyének gyártása fedett ívű hegesztéssel (c)

2.1.6. A lánghegesztés

A **lánghegesztés** vázlatát a **15. ábra** mutatja. Az eljárás lényege abban áll, hogy a hevítő-olvasztó energia egy oxigénnel kevert gáz elégetéséből származik. A nagy lánghőmérsékletű éghető gáz az acetilén (C_2H_2), de lehet propán-bután gáz vagy hidrogén 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 szénacélokhöz.

Az elsődleges és a másodlagos égési reakciók a következők szerint mennek végbe:

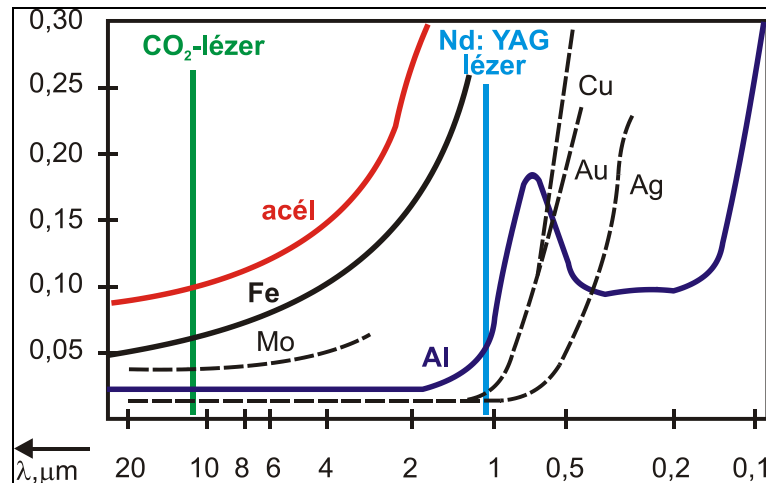


15. ábra. A lánghegesztés vázlatja és a lángtípusok

2.1.7. A lézeres hegesztés

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

A lézeres hegesztés alapját az anyagok optikai tulajdonságai jelentik, nevezetesen az, hogy a felületre érkező sugárzást képesek elnyelni is, nem csak visszaverni vagy átbocsátani (16. ábra). Az elnyelt sugárzás energiája értelemszerűen nem vész el, hanem erőteljes és gyors melegedést, megolvadást és elpárolgást okoz; hegesztés esetén a cél a nagy mélységű és kis szélességű megolvadási zóna gyors elérése.



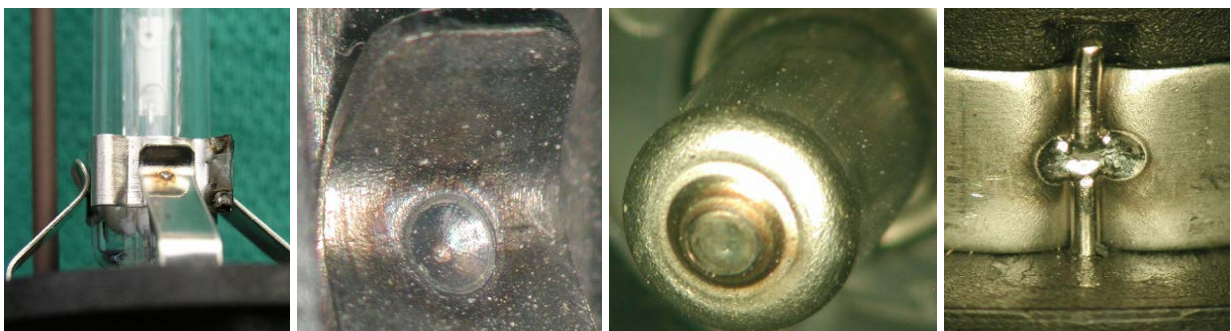
16. ábra. Az elnyelési tényező változása a sugárzás hullámhosszára függvényében

A lézernyaláb a lézerforrásban képződik, és a lézeroptikai rendszeren keresztül jut el a kívánt „méretben” és energiával a munkadarab felületére. Az anyagmegmunkálás témakörében a lézer a megmunkálási folyamatban résztvevő eszközök egyedi fajtájának megjelölésére szolgáló kifejezés. A „lézer” szó minőségjelzővé alakítható, és így – akár többlépcsős tagolásban is – egyre pontosabban meghatározhatóvá válik, pl. egy sugárzástípus, egy nyalábfajta, egy berendezéstípus, egy optikai rendszer fajtája, egy hegesztési eljárás fajtája – pl. az ún. gázlézeres hegesztés –, egy vágástípus, egy jelöléstípus stb. A helyes terminológia alapján következetesen lézeres hegesztésről, lézeres vágásról, míg a technológiai változók terén, pl. lézernyaláb-átmérőről kell beszélni.

A lézeres hegesztés üzemmódját tekintve lehet folyamatos vagy impulzusos. A folyamatos üzemi lézeres hegesztés esetén a lézernyaláb energiája az időben állandó. A gázlézerek kimenő teljesítménye alapvetően a gerjesztett gáztérfogat függvénye, ezért a nagyteljesítményű berendezések ($P > 1 \text{ kW}$) nagyméretűek, a lézerforrás szerepét betöltő csőrendszer több méter hosszúságú, és hatékony hűtést igényel.

Az impulzusos hegesztést – alkalmazási példákat mutat a 17. ábra – megvalósító lézerberendezések átlagteljesítménye gyakran csak néhány száz watt, 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. Ma már kézi hegesztőfejekkel is kaphatók.

A lézeres 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.



17. ábra. A lézeres hegesztés alkalmazási példái autólámpák alkatrészeinek hegesztésénél

3. A hegesztőanyagok jellemzői

A hegesztőanyagok szorosan kötődnek a hegesztési eljárásokhoz, amelyek általában a felhasználásuk módját és az elnevezésüket is meghatározzák. A hegesztés alapfogalmainak szabványa – MSZ ISO/TR 25901-1:2020 [3] – szerint a hegesztőanyag a varrat készítéséhez felhasznált anyag, magába foglalja a hozaganyagot és a segédanyagot. A hozaganyag is hegesztőanyag, amelyet hegesztés közben a varrat kialakítása céljából adagolnak, és a segédanyag is hegesztőanyag, amely azonban nem képezi részét a kész varratnak (ilyen pl. a védőgáz, a fedőpor). Az iparban legalább egy tucat hegesztőanyagfajtát alkalmaznak, de itt 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 varratfémje az adott körülményeknek leginkább megfelel. Ilyen esetet jelennek általában az alumíniumötvözetek, a rozsdamentes acélok és a vegyes kötések.

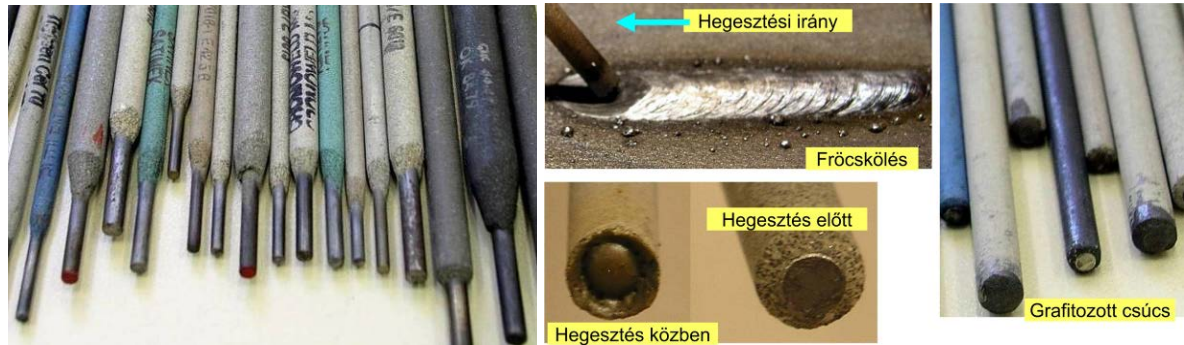
Azokhoz a gyártmányokhoz, amelyekkel szemben fokozott elvárásokat támasztanak, pl. hajó, nyomástartó edény, daru stb., általában előírják, hogy csak hivatalos minősítésű hegesztőanyagokat szabad használni. A gyártók a katalógusaikban megadják az ebből a célból megszerzett tanúsítványaik jelzését.

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 gépi vagy kézi hegesztés lesz-e?
- 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.

3.1. A bevonatos elektródák jellemzői és fajtái

A bevonatos elektróda maghuzalból és a maghuzalra sajtolt bevonatból áll (18. 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. nagyhozamú elektródák), a varratalakot, az ívgyújtási képességet, a salakképzést, salakleválást, a fröcskölési hajlamot stb.



18. ábra. Bevonatos elektródák kézi ívhegesztéshez. Az elektródát hegesztés közben „húzza” kell vezetni. Az elektróda végének begrafitozása a bázikus elektródáknál szokásos

Az elektróda-bevonat alkotói különféle szervetlen és esetenként szerves vegyületek, amelyekből akár több tucat különféle összetevő is bekerülhet a bevonatba. A kézi ívhegesztés alapvető jellegzetessége a salakképződés, a salak pedig attól függő hatást fejt ki, hogy milyen a salakképző alkotóknak az olvadék fázisok (fémolvadék és olvadt salak) közötti fizikokémiai reakciókban mutatott aktivitásának eredője. Ebből a szempontból az elektróda-bevonat 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 SiO₂.

Az elektróda-bevonatokban tehát a legfontosabb összetevők a salakképzők, de emellett redukálószeres (pl. szénpor, alumínium), ötvözők (pl. ferrokróm), gázképző anyagok, kötőanyagok és színezőanyagok is megtalálhatók bennük. Az elektróda-bevonat és a belőle képződő salak legfontosabb feladatai a következők:

- az ívgyújtás és az ívújragyújtás elősegítése,
- az ívstabilitás biztosítása,
- védőgáz képzése, amely jellemzően CO és CO₂,
- 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 növelése (vasportartalmú elektródákban),
- a szilárd szennyezők (S, P) és a gáz szennyezők (H, N) eltávolítása.
- a fröcskölés csökkentése,
- a vízszintestől eltérő helyzetben történő hegesztés elősegítése,
- a varratdudor kedvező alakjának formálása.

A bevonat lehet vékony, közepesen vastag vagy vastag. A maghuzal tömegére vonatkoztatva az elektróda kihozatali tényezője 65 % és 240 % között változhat.

Az elektródabevonatok 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 $300\text{ }^\circ\text{C}$ -on ki kell szárítani. Érzékeny a polarításra. A bázikus salaknak köszönhetően olyan varratfémeket eredményez, amelynek szívóssága kielégíti akár a $-40\text{ }^\circ\text{C}$ -ra előírt ütőmunka követelményt.

- **Rutilos bevonat; jelölése: R.**

Jellemző alkotója a rutil (TiO_2). Ívgyújtási képessége és a legtöbb hegesztéstechnikai sajátossága kiváló. A savas salaknak miatt a varratfém szívóssága legfeljebb $-20\text{ }^\circ\text{C}$ -ra előírt ütőmunka-követelményt elégíti ki. Mind egyenáramú, mind váltakozó áramú áramforrásról jól leolvasztható.

- **Cellulózisos bevonat; jelölése: C**

A bevonat jellemző alkotói a szerves anyagok, amelyek a leolvasztás során elégséges nagymennyiségű védőgázt fejlesztenek. Kimondottan a nagy átmérőjű olaj- és gáztávozati csövek szabadtéri, fentről lefelé haladó hegesztésre fejlesztették ki, és mindmáig ez a legfontosabb alkalmazásuk.

- **Nagy kihozatalú (nagyhozamú) bevonat: RR.**

A nagy vastagságú gyártmányok hegesztett kötéseit gyakran kell több varratsorból felépíteni. Ilyenkor veszik hasznát a nagy kihozatalú elektródáknak: egy varratsor keresztmetszete vagy/és a hegesztési sebesség jelentősen növelhető. Az RR bevonatok vastagok, bennük a vaspornagysága akár meg is haladhatja a maghuzal anyagának mennyiségét. Ezekkel az elektródákkal csak vízszintes helyzetű varratok készíthetők.

Manapság gyakran használnak vegyes jellegű bevonatokat, pl. rutil-bázikus (RB) vagy rutil-cellulózisos (RC), és létezik, de kicsi a gyakorlati jelentősége az oxidos (O) és a savas (A) bevonatnak.

3.2. 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 meglévő 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 védőgáz-mennyiség 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 gázkeverék csoportokat határozva meg (a lista nem teljes):

- I semleges Ar, He, Ar + He
- M2 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 nitrogén Ar, N_2 , N_2 + H_2 , Ar + N_2 + H_2

A **3. táblázat** a huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztésre, a különféle alapanyagokhoz javasolt védőgázok főbb fajtáit mutatja. A dőlt betűvel szedettek az „alapgázok”, normál betűvel a ritkábban használt keverékek vannak feltüntetve.

Alapanyagcsoport	Ar (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	He (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)
Ötvözetlen és gyengén ötvözött minőségi és nemesacélok		<i>100</i>				
	<i>82</i>	<i>18</i>				
	90	10				
Rozsdamentes acélok (korrózióálló, hőálló és kúszásálló)	<i>97,5</i>	<i>2,5</i>				
	<i>98</i>		2			
	95					5
Alumíniumötvözetek	<i>100</i>					
				100		
	50			50		

3. táblázat. Védőgázok a fő alapanyag-csoportok huzalelektrodás védőgázos hegesztéséhez

A **4. táblázat** a volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztésre, az eljárás szempontjából legjellemzőbb alapanyagcsoportokhoz javasolt védőgázokat mutatja.

Alapanyagcsoport	Ar (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	He (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)
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					
				100		
	50			50		
	69,97		0,03	30		

4. táblázat. Védőgázok a kétféle alapanyag-csoport volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztéséhez

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 % 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 színjelölése nem képezi e tárgyalás részét.

3.3. A lánghegesztés gázai

Az acetilén (C_2H_2) a leggyakrabban használt éghetőgáz. Színtelen, szagtalan, nem mérgező, telítetlen szén-hidrogén-vegyület, amely könnyen szétesik alkotóira, intenzív hőfejlődés közben. Az acetilén–oxigén keverék 3–93% acetiléntartalomnál robbanóképes keverék. A palack színe gesztenyebarna.

A hegesztéshez szükséges acetilént acélpalackban forgalmazzák. Az acetilént 10, 20, 40, illetve 50 L 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 acetilén gázt. A nyomás ekként 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 MPa nyomáson $16 \times 24 \times 19 = 7296$ liter $\approx 7,3$ m³ 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 tartály 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 leparlása 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 (~1 bar) nyomáson 863 liter gáznemű oxigénné alakul át, hőfelvétel (és a környezet lehülése) közben. Így az oxigéntartály használata nagyipari üzemekben igen gazdaságos.

A kék színű, fehér nyakú gázpalackot (**19. 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.



19. ábra. A lánghegesztés gázainak tárolópalackjai

4. 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. Gyakran felületi olvadás is bekövetkezik; az olvadék általában nem vesz részt a kötésképződésben, hanem a sorjába távozik, magával vivén a felületi szennyeződéseket.

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. A sajtolóhegesztési eljárások az összehegesztendő munkadarabok kölcsönös helyzete és a képződő kötés kiterjedése szerint különböztethetők meg.

- Ponthegesztés: átlapoltan illesztett, lemezek között hoz létre a hegesztőszerszám méretének megfelelő, kiskiterjedésű (pontszerű) varratot.
- Vonalhegesztés: lemezszerű alkatrészek között jön létre a hegesztőszerszám szélességi méretéhez igazodó, hosszú vonal mentén kialakuló kötés.
- Dudorhegesztés: egymásra helyezett, kis felületen érintkező alkatrészek között jön létre kis kiterjedésű, egyedi varrat. A kicsi érintkezési felület lehet természetes, avagy a mesterségesen kialakított kiemelkedésre – ez a dudor – alapuló.
- Tompahegesztés: az összehegesztendő alkatrészek a homlokfelületük mentén illeszkednek. Főleg rúdszerű termékek, tengelyek, csövek hegesztésére szolgál.

A **5. táblázatban** látható energiatípusokhoz rendelhető sajtolóhegesztési eljárások között a legnagyobb jelentőségűek az villamos ellenállás-hegesztések.

Energiaforrás fajtája	Az energia forrása	Eljárás neve
Villamos áram	Joule-hő	Ellenállás-hegesztés
		Indukciós hegesztés
Mechanikai	Képlékenyalakítás	Hidegsajtoló hegesztés
		Robbantásos hegesztés
	Súrlódás	Ultrahangos hegesztés
		Dörzshegesztés

5. táblázat. Néhány sajtolóhegesztési eljárás energiaforrása

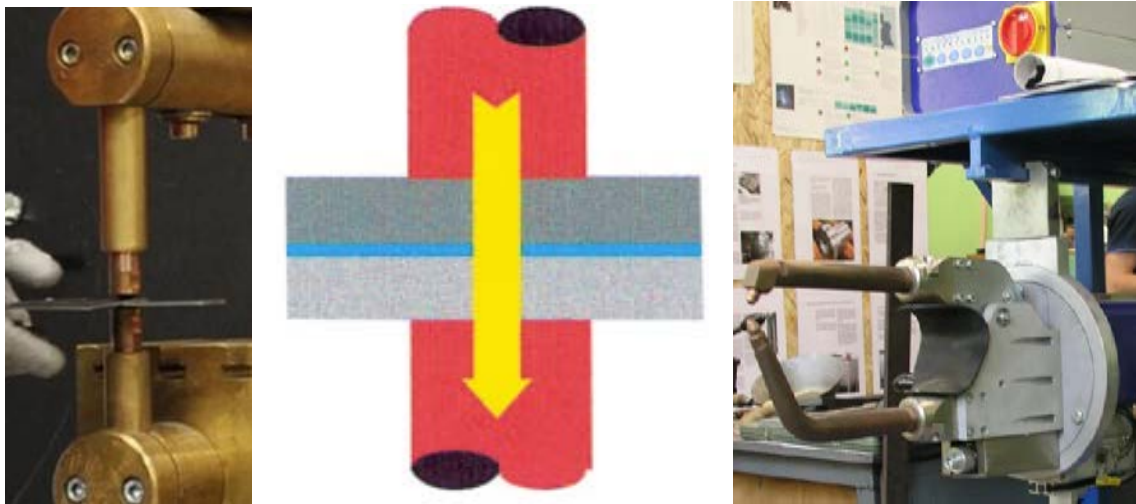
4.1. Az ellenállás-hegesztési eljárások

Az ellenállás-hegesztési eljárások közös alapelve a következő. Az összehegesztendő munkadarabokat általában rézötvetből készített és hűtött elektródákkal összenyomják, majd nagy erősségű villamos áramot vezetnek rajtuk keresztül. Az érintkező felületeken átmeneti ellenállás lép fel, amely az érdességi csúcsok pontszerű érintkezése okozta helyi áramsűrűség-növekedésből adódó belső ellenállás és a felületek szennyeződéséből létrejövő felületi ellenállás összege. Az átvezetett áram az érintkezésnél hőt fejleszt, és a Joule-hő is hevíti az anyagokat. A nyomóerő a felületi egyenetlenség-csúcsokat ellapítja, a felületi szennyeződések alkotta hártványokat 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 felhevítve növeli a fémes anyagok ellenállását. 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 áramátfolyás kikapcsolódik, és a felületeket összeszorító erő biztosítja a képlékeny alakváltozás révén a kohéziós kötés kialakulását.

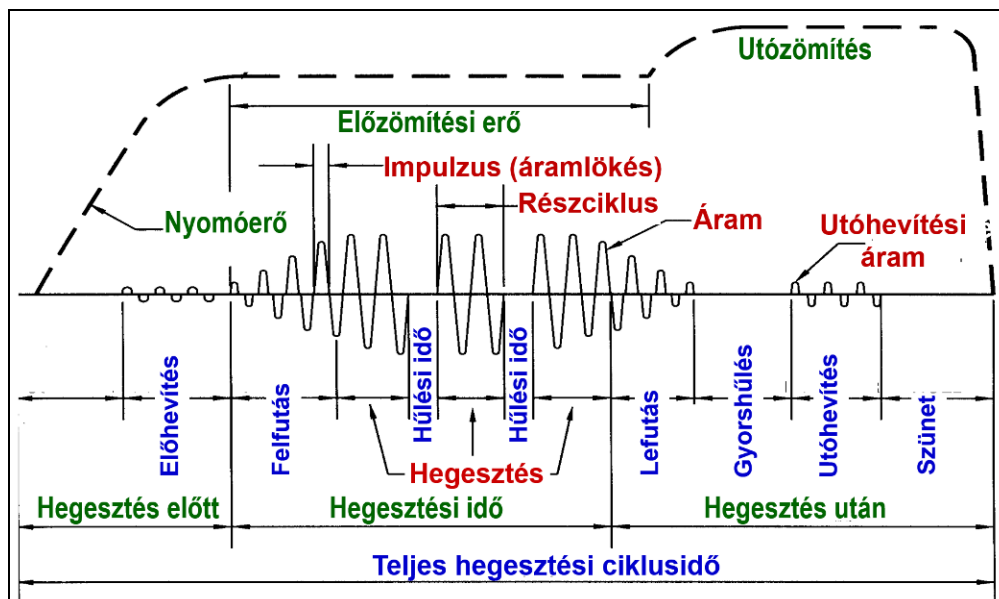
4.1.1. Az ellenállás-ponthegesztés

Az ellenállás-ponthegesztések közül a kétoldali ellenállás-ponthegesztés (20. ábra) vékony lemezek átlapolott kötéseinek hegesztésére szolgál. A lemezeket kúpos vagy félgömb végződésű elektródákkal nyomják össze, illetve kapcsolják az áramkörbe.



20. ábra. Kétoldali ellenállás-ponthegesztés vázlatja és berendezése

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 nyomóerőt az áramkikapcsolás után még egy fenn kell tartani, hogy a varratlencse dermedése nyomófeszültségi állapotban menjen végbe (21. ábra). Ezzel elkerülhető a mikroüregek, a repedések vagy más varrathibák keletkezése.



21. ábra. A kétoldali ellenállás-ponthegesztés munkarendjének vázlatja

Az áramforrás többnyire váltakozó áramú, az áramerősség akár 50 kA értéket is elérhet, amivel 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.

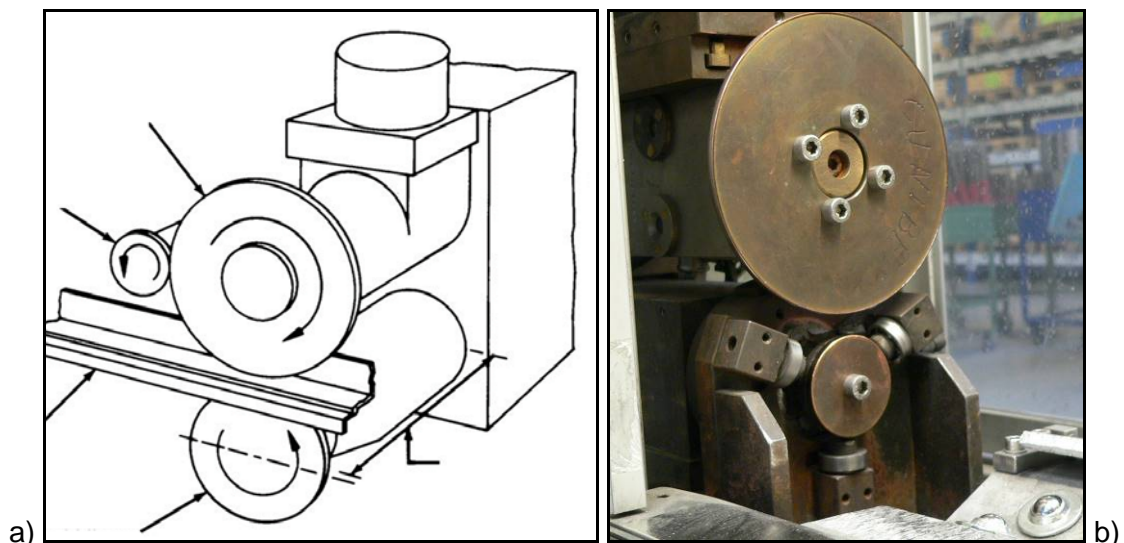
Az ellenállás-hegesztéshez használt elektródák anyaga főleg Cu-Cr vagy Cu-Cr-Zr ötvözet; a jó villamos vezetőképesség mellett elegendően nagy a szilárdságuk is. Alkalmazásait tekintve a ponthegesztés tehát a vékony lemezek átlapolt kötéseinek kialakítására szolgál (**22. ábra**). Minthogy teljes körűen robotosítható, a gépkocsik alváz- és a karosszériaelemeinek az összehegesztésére még ma is a legelterjedtebb eljárás.



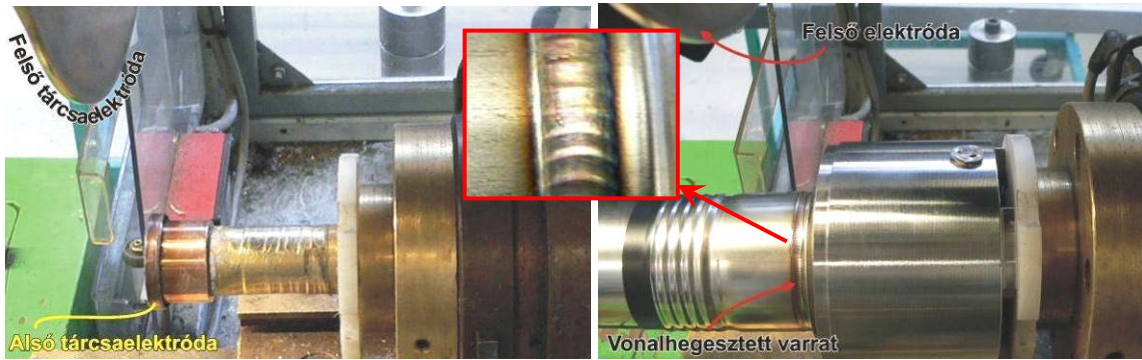
22. ábra. Ponthegesztett fül búvárszivattyú-motorházfedélen (a), lemezek ellenállásponthegesztett átlapolt kötéseinek alakváltozása a nyíróvizsgálat során (b, c)

4.1.2. Az ellenállás-vonalhegesztés

Az ellenállás-vonalhegesztés vázlatát a **23. 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 **24. ábra**.

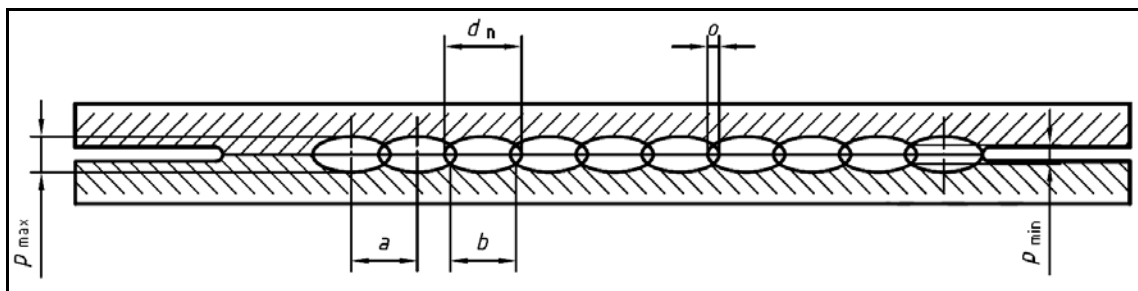


23. ábra. Az ellenállás-vonalhegesztés vázlatja (a) és tárcsaelektrodái (b)



24. ábra. Ellenállás-vonalhegesztés búvárszivattyú-alkatrészen

A hegesztési sebességtől és az áram bekapcsolási frekvenciájától függően egymást átfedő pontokból álló vonalvarrat vagy egyszerű pontsorvarrat készíthető (25. ábra).



25. ábra. Ellenállás-vonalhegesztéssel készült varrat; a vonalvarrat pontsorozatból áll

4.1.3. Az ellenállás-dudorhegesztés

Az **ellenállás-dudorhegesztésnél** az elektródáknak csak két feladatot kell ellátni: a nyomóerő közvetítését és az áram hozzávezetését (26. ábra). A harmadik feladatot – az áram koncentrációját – a munkadarabok természetes vagy mesterséges alakja (a dudor) teljesíti. A természetes dudorú ellenállás-dudorhegesztésre jellemző példa a keresztmetszet alakot alkotó huzalok összehegesztése. Alkalmazási példaként talán a legismertebb gyártmány a fémhuzalból épített bevásárlókocsi, de a dudorhegesztés nagyon elterjedt eljárás a vasbetonszerkezetek betonacélhálóinak, valamint a különféle fényforrásoknak a gyártásában is (27. ábra).



26. ábra. Keresztbe fektetett huzalok ellenállás-dudorhegesztése



27. ábra. A dudorhegesztés alkalmazási példái; a) bevásárlókocsi, b) betonacélhuzal, c) értágítóbetét egy varrata, d) üvegházi világításra alkalmazott, nátriumgőz kisülőlámpa

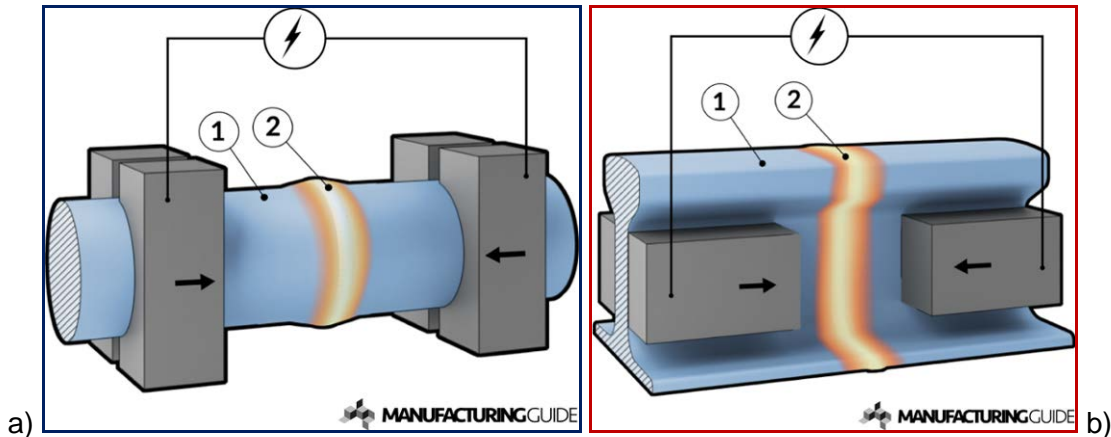
Az ellenállás-dudorhegesztéssel összehegesztendő alkatrészek egyikén képlékenyalakítással előzetesen létrehozhatók dudorok, amelyek egy-egy pontszerű varratot képeznek; példaként egy ilyen bűvárszivattyú-alkatrészt mutat a **28. ábra**.



28. ábra. Mesterségesen kialakított dudorok egy bűvárszivattyú-alkatrészen

4.1.4. Az ellenállás-tompahesztes és a leolvasztó tompahesztes

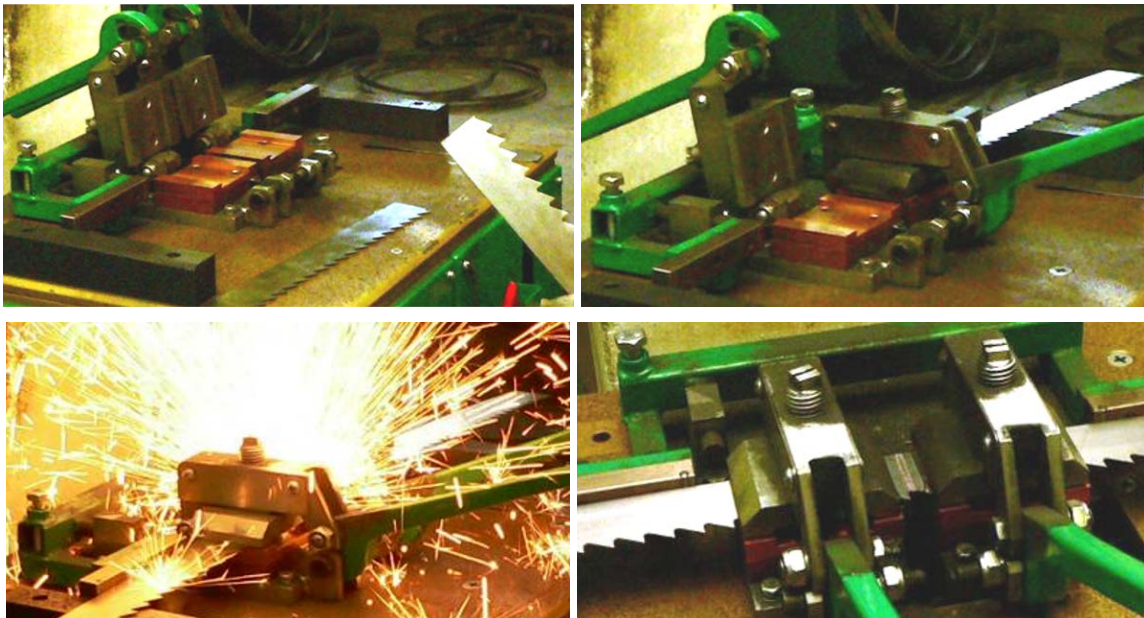
Az **ellenállás-tompahesztes** vázlatát a **29.a. ábra** mutatja. A rúd- vagy csőszerű alkatrészek érintkezésbe kerülő homloklapfelületük mentén az átfolyó áram keltette Joule-hő hatására felmelegednek, majd a tengelyirányú erőhatással a berendezés összenyomja az alkatrészeket. A felületeken meglévő vagy a hevítés során keletkező szennyeződések, oxidok a kinyomódnak sorjába; ennek érdekében kellően nagy mértékű képlékeny alakváltozásra van szükség.



29. ábra. Az ellenállás-tompahesztes (a) és a leolvasztó tompahesztes (b) vázlatja [5]

A leolvasztó tompaheszteszt (27.b. ábra) főleg az edződésre hajlamos, nagy széntartalmú acélok hegesztésére alkalmazzák, mint amilyen például a 30. ábrán látható szalagfűrészlapok anyaga, a C75 jelű rugóacél, valamint a vasúti sínek

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



30. ábra. Szalagfűrészlap leolvasztó tompahesztesése

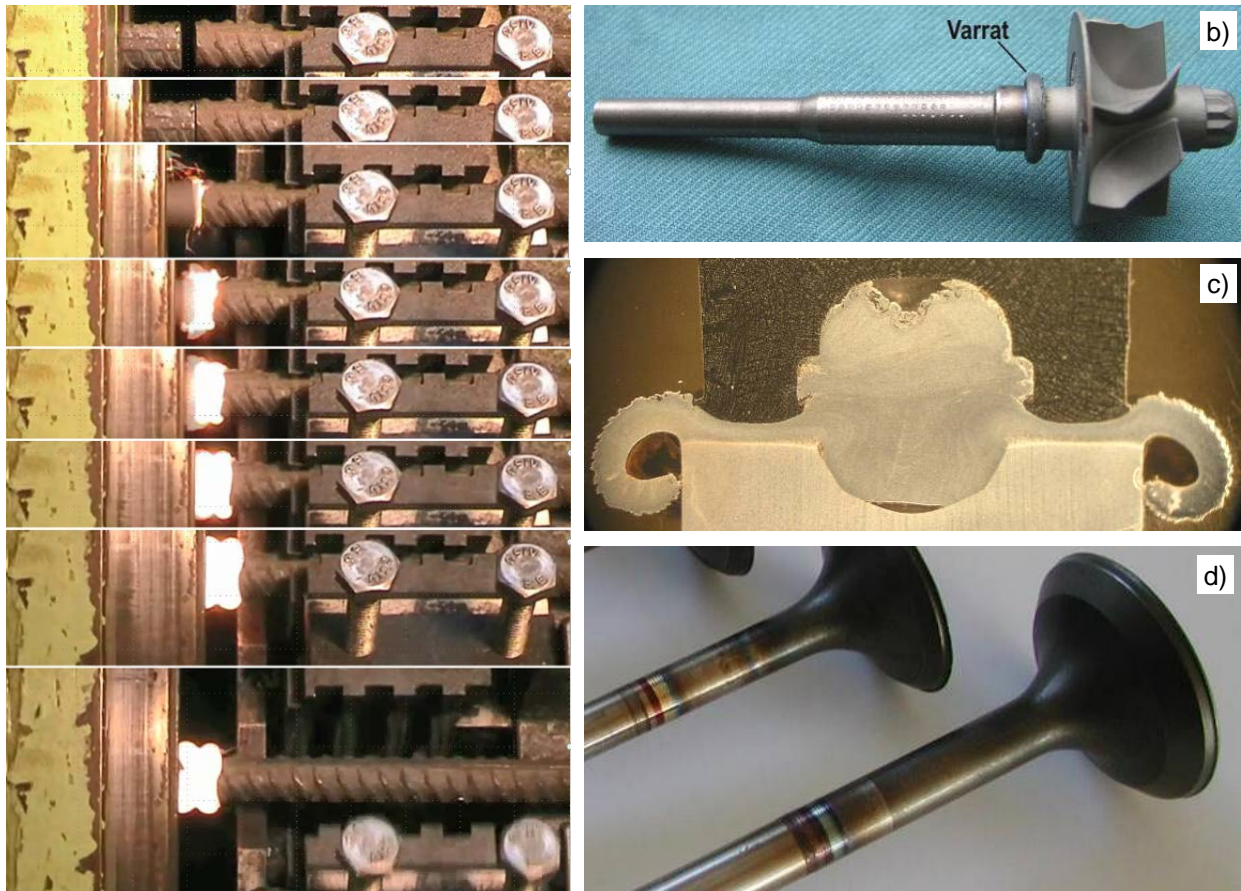
Az ellenállás-tompahesztes során a munkadarabokat összenyomva, majd rajtuk áramot átvezetve a fejlődő hő és az erőhatás együttesen nagyfokú képlékeny alakváltozást hoz létre, ami kohéziós kapcsolatot teremt a két anyag között. A felületi szennyeződések sorjába nyomása csak kisebb keresztmetszeteknél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

4.2. A dörzshegesztés

A **dörzshegesztések** legismertebb változata a forgatásos (másként rotációs) dörzshegesztés; szabványos elnevezése: folyamatos hajtású dörzshegesztés (**31. 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 – ez a lendkerekes dörzshegesztés – küszöböli ki. A lendkereket a szükséges energiát eredményező maximális fordulatszámra felpörgetik, majd ezt követően a hajtómorról 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 lefékeznek a forgást.



31. ábra. A dörzshegesztés folyamata (balra). Turbina + tengely hegesztett kötés (b) és annak hosszmeteszete (c). Varrat a magyar HARLO Kft. gyártotta gépen készült szelepszáron (d)

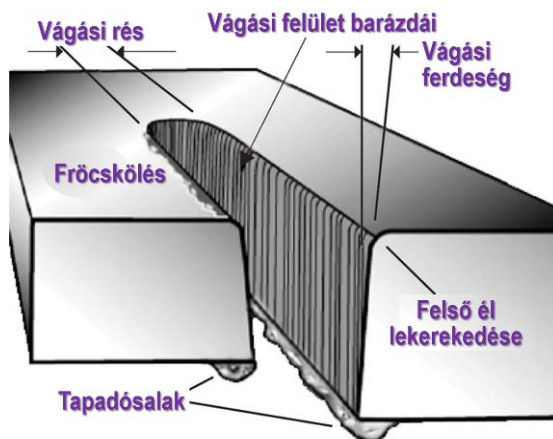
5. A termikus vágás alapismeretei

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. vízszugaras), képlékenyalakítási (pl. lemezollós vágás) vagy forgácsolási (pl. fűrészelés) megmunkálással. A képlékenyalakítási és az eróziós vágás számottevő hőhatás nélkül megy végbe, míg a forgácsolási és a termikus vágást jelentős hőhatás kíséri. Az ollós vágásokat kivéve minden vágási eljárás alkalmazása során keletkezik anyagvesztéség.

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 következők: lángvágás, plazmavágás, lézeres vágás. A továbbiakban erre a három termikus vágási eljárásra nézve tekintjük át a fontosabb alapismereti jellemzőket.

5.1. A lángvágás

A **lángvágáskor** az oxigénnel kevert éghető gáz lángjával a helyileg gyulladási hőmérsékletre felhevített (előmelegített) anyagot nagynyomású oxigénsugárban elégetik (oxidálják), és ezzel egyidejűleg a keletkezett és megolvadó égéstermékeket (oxidokat) az oxigénsugárral kifúvatják; így alakul ki a vágási rés, amelyet a **32. ábra** szemléltet.



32. ábra. A lángvágás és a többi termikus vágás során kialakuló vágási környezet vázlatja

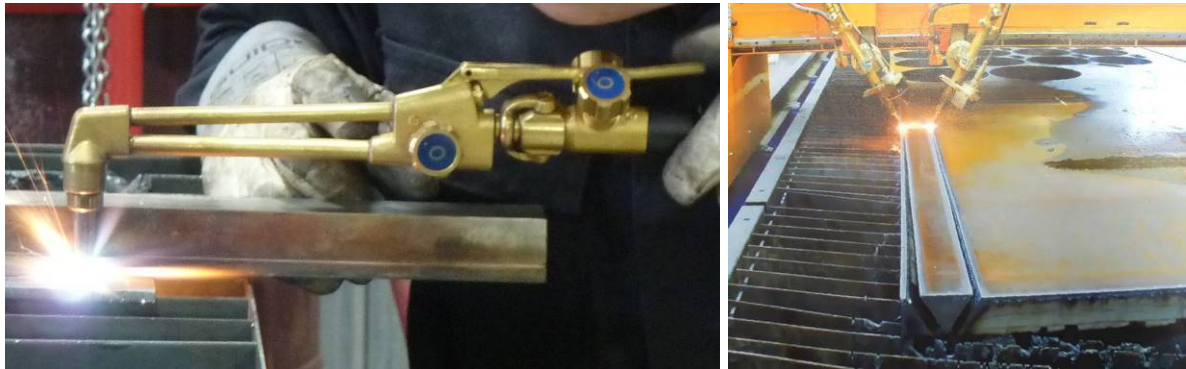
A lángvágás – amely az égető, nemolvasztó vágások egyike – alkalmazhatóságának feltételei a következőkben összegezhetők:

- az anyag oxigénben elégethető legyen;
- az anyag gyulladási hőmérséklete legyen kisebb mint az olvadáspontja;
- a képződő oxid olvadáspontja is legyen kisebb, mint a vágandó anyagé, azért, hogy az égéstermék 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 lángvágathatósi követelményeknek gyakorlatilag csak az ötvöztelen és a gyengén ötvözött szerkezeti acélok felelnek meg, azok közül is csak a kisebb széntartalmúak ($C < 0,25\%$). Azonban ez nem szűkíti be érdemileg az alkalmazási lehetősé-

geket, ugyanis ezeket az acélokat óriási mennyiségben alkalmazzák a hegesztett szerkezetek gyártására. Tehát a jól hegeszthető acélok egyben jól lángvághatók is.

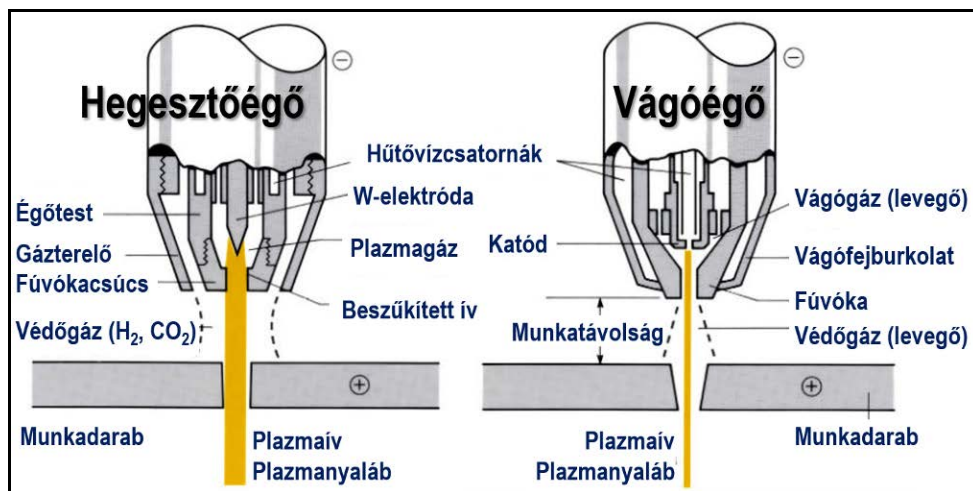
A lángvágásra használt éghető gáz leggyakrabban acetilén (C_2H_2), de alkalmaznak propánbutángázt is. A vágást lángvágó égőkkel végzik, kézi vagy gépi mozgatással (**33. ábra**). A fokozott követelmények csak gépesített lángvágással teljesíthetők, kézi vágással nem igazán. A lángvágó berendezések lehetővé teszik több vágófej együttes működtetését. Az átvágható vastagság akár több száz mm (!) is lehet.



33. ábra. A kézi és a gépi lángvágás szemléltetése

5.2. A plazmavágás

A plazmavágás során a lánggal nem vágható anyagokat (pl. rozsdamentes acélok, alumínium-, nikkell- és rézötvözetek) nagy hőmérsékletű, koncentrált, kis átmérőjű és nagy nyomású plazmaívvel vagy plazmanyalábbal egy kisméretű foltban átolvasztják (átlyukasztják), majd a vágófej (vázlatát mutatja a **34. ábra**) folyamatos mozgatásával a keletkezett olvadékot kifúvatják a kialakuló vágási résből.



34. ábra. A plazmaívhegesztés és a plazmavágás égőjének hosszszelvényi vázlatja

A plazmát létrehozó villamos ív katódja általában W-elektroda, anódja pedig egy gyűrű alakú, vízhűtéses plazmafúvóka vagy a megmunkálandó anyag. A plazma hőtartalma a fúvóka szűkítésével tovább növelhető. A plazmavágáshoz (amely olvasztáson alapuló vágás) használt fontosabb plazmaképző gázkeverékek: H_2 , N_2 , CO_2 , oxigén, levegő. A nitrogéntartalmú gázkeverékekből jelentős mértékű a káros NO_2 kibocsátása. Ezt is és a zajszintet is kedvezőbbé teszi a víz alatti plazmavágás.

A plazmavágás leginkább, de nem csak fémes anyagok anyag vágására alkalmazható (**35. ábra**). A fémes anyagok vágásakor nagyobb pontosságot biztosít, mint a lángvágás, és kisebb a vágási rés mentén kialakuló hőhatásövezet.



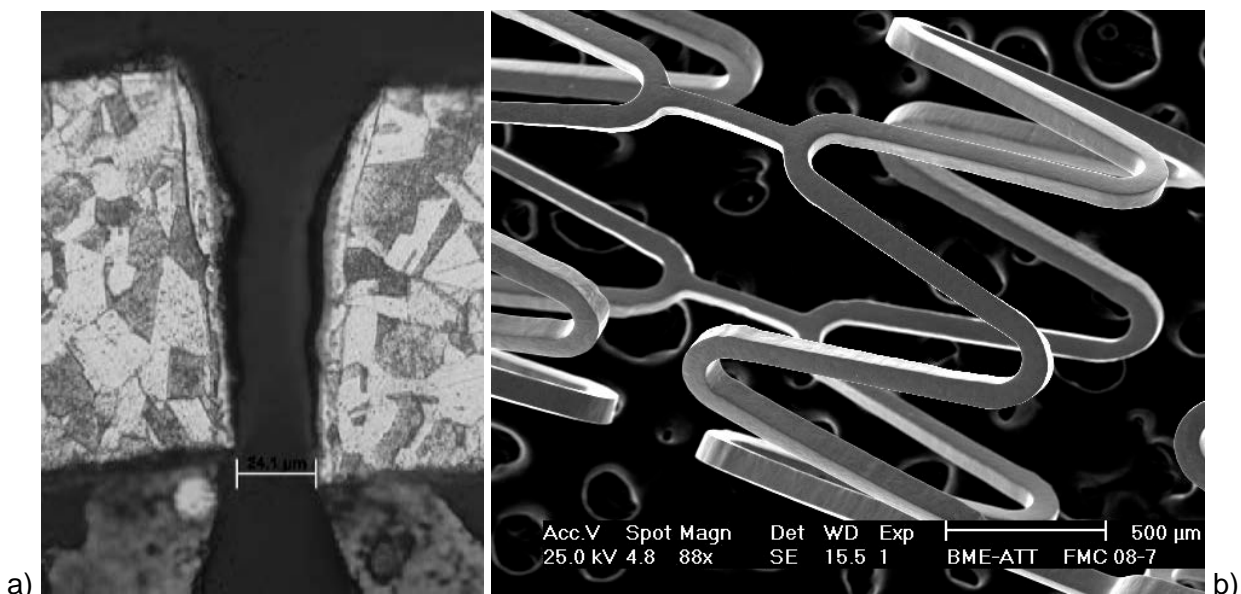
35. ábra. Plazmavágott alkatrészek

5.3. A lézeres vágás

A **lézeres vágás** ugyancsak alkalmas minden olyan anyag vágására, amely kellően elnyeli – akár a tükröződést vagy átbocsátást gátló bevonattal – az adott hullámhosszúságú sugárzást. A lézeres vágásakor a közel párhuzamos nyalábú, koherens lézernyaláb fókuszálásával nagy teljesítménysűrűséget lehet elérni. Ennek hatására az anyag megolvad, és akár el is párolog. Nagynyomású (általában 5–10 bar) vágógáz (pl. oxigén, nitrogén, levegő, argon) befúvásával a keletkező keskeny vágási résből a megolvadt vagy/és elpárolgott anyag eltávolítható; a **36. ábra** mutat erre példát.

Gyakorlatilag minden anyag vágható lézeres vágással. A vágólézerek ugyanúgy lehetnek folyamatos üzeműek és impulzusos üzeműek, mint a hegesztőlézerek; nemritkán 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 vágásénál.



36. ábra. a) A lézeres vágás során kialakuló vágási rés 1,50 mm átmérőjű és 0,100 mm falvastagságú, auszteniites korrózióálló acél cső nagy pontosságú lézeres vágásakor, 6 bar nyomású oxigén mint vágógázt használva. b) Az említett csőből 2006-ban gyártott, FMC-08 típusú koszorúrészt bordázatának egy részlete pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálva

6. A forrasztás alapjai

A **forrasztás** lényege: az összeforrasztandó anyagok között kialakított szűk részbe – szélessége legfeljebb 0,1–0,2 mm – az olvadáspontjuknál kisebb olvadáspontú, olvadék állapotba hozott forrasztanyagot juttatunk, amely forrasztanyag megszilárdulván erős, adhéziós kötést alakít ki az általa beborított felületek között. A forrasztanyag behatolását a kapilláris hatás teszi lehetővé. Ez akkor működőképes, ha a fémfelületet a forrasztanyag olvadéka csaknem tökéletesen nedvesíti. A jó nedvesítés feltételei csak akkor teljesülnek, ha a forrasztandó felületekről minden szennyeződést (zsír, nedvesség) és a felületi oxidréteget is eltávolítjuk. Ez utóbbit a folyasztószerek biztosítják. A forrasztanyagok ötvözetek lévén egy hőmérsékleti tartományban olvadnak meg. Az ennek megfelelő forrasztási hőmérséklet és az ezzel szinte teljesen együtt változó kötőszilárdság alapján különböztetik meg a két nagy forrasztás családot.

- A lágyforrasztásra a 450 °C-nál kisebb a munkahőmérséklet és legfeljebb 50 MPa a kötési szilárdság jellemző.
- A keményforrasztás meghatározója a 450 °C-nál nagyobb a munkahőmérséklet. A kötőszilárdság jóval nagyobb, de általában nem haladja meg a 300 MPa-t.

A lágyforrasztás alkalmazását illetően a jó áram- és hővezető képesség kívánatos. A keményforrasztott kötés a szilárdság mellett nagyobb üzemi hőmérsékletre is alkalmas.

A forrasztás előnyei (a hegesztéssel összevetve):

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

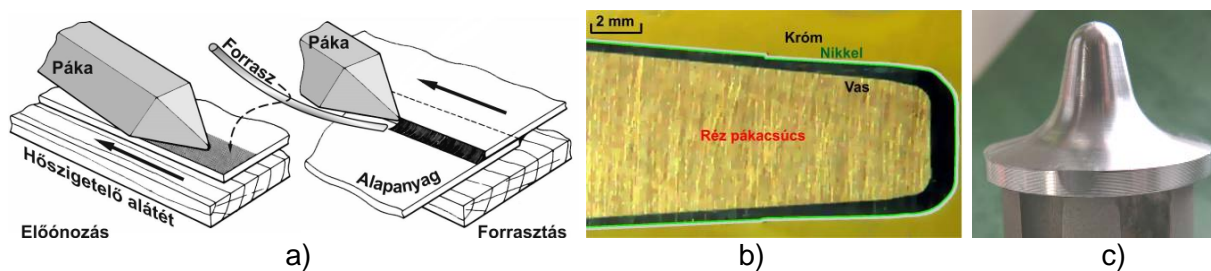
A forrasztás hátrányai:

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

A forrasztási eljárásokat aszerint szokták meghatározni, hogy milyen hevítési módszerrel történik a forrasztanyag megolvasztása. Ezeknek a hevítési módoknak a száma igen nagy, így ebben a tárgyalásban nincs mód nemhogy részletesen kitérni rájuk, de még felsorolni sem, ezért mindössze egyet nevezünk meg: a pákás forrasztást.

A forrasztandó felületek felhevítéséhez gyakran alkalmaznak forrasztópákát (**37. ábra**). A forrasztópákát nem tévesztendő össze a hegesztőpálcával! Az előmelegített pákával a forrasztanyagot megolvasztják és a forrasztás helyére viszik. Itt addig tartják, amíg az alapanyag is felhevül a kívánt hőmérsékletre, és a forrasztó a hézagot kitölti. Mivel megfelelő szilárdságú kötés csak úgy érhető el, ha a forrasztanyag vékony rétegben köti össze a felületeket (azaz a forrasztási hézag kicsi), ezért a forrasztás alatt a munkadarabokat szerszámmal vagy a pákával össze kell szorítani.

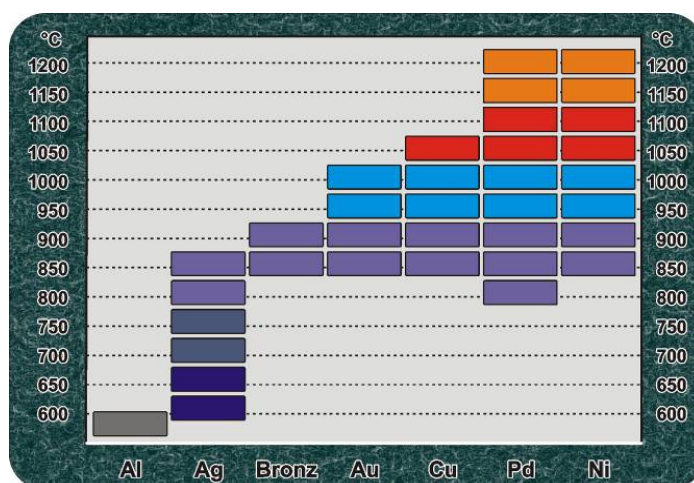
Forrasztáskor szem előtt kell tartani, hogy a forrasztott kötés szilárdsága jelentős mértékben függ az összeforrasztott felületek nagyságától. Ezért ahol nagyobb szilárdságra van szükség, ott célszerű átlapolni vagy hevederes kötéskialakítást alkalmazni.



37. ábra. a) A pákás forrasztás vázlatja. b) Pákacsúcs hosszmetsete. c) Gépi pákás forrasztáshoz használt páka képe

A lágyforrasztáshoz 2006 óta csak ólommentes lágyforraszok, pl. Sn-Cu, Sn-Cu-Ag használhatók az EU-ban. A legkisebb olvadáspontú lágyforrasz az ón, ólom, bizmut hármass eutektikumából készíthető, amely már 96 °C-on megolvad. Az alumíniumot Sn-Zn-Al-Cd ötvözetekkel (pl. 40Sn-35Zn-15Al-10Cd) lágyforrasztják.

A keményforrasztást a nagy mechanikai igénybevételnek, illetve hőhatásnak kitett munkadaraboknál célszerű alkalmazni. A forraszanyag helyes kiválasztása előfeltétele a jó kötésminőségnek. Fontos, hogy a forrasz olvadáspontja közelítse meg a forrasztandó anyagokét, de azokénál kisebb legyen. A gyakorlatban a rézalapú keményforraszok terjedtek el leginkább, de széles körben alkalmaznak nagy ezüsttartalmú ötvözeteket is (**38. ábra**). Az ezüstforraszok híg folyósabbak, nagy szilárdságúak, jól nedvesítik a fémfelületeket, kiváló a korrózióállóságuk, és a kötés még jól alakítható is.



38. ábra. A keményforraszok fő csoportjai az alapalkotó szerinti csoportosításban

A keményforrasztáshoz gyakran használt hőforrás a propánbutángáz vagy acetilén és oxigén gázkeverék lángja. Mivel a láng nagy hőmérsékletű, a forraszanyagot az összekötendő tárgyak melegével olvasztják meg, ugyanis a közvetlenül túlhevített forraszanyag eléghet, a kötés pedig rideggé és salakossá válhat. A **39. ábrán** jellegzetes keményforrasztott gyártmányok láthatók.



39. ábra. Keményforrasztott gyártmányok

6. Filmtár

A filmtárban rövid bemutatók találhatók a tankönyvben ismertetett eljárások alkalmazásairól, valamint néhány hegesztési eljárás működésének izgalmas részleteiről.



[A kötésfajták](#)



[A MAG-hegesztés laborgyakorlata](#)



[Bevont elektródák](#)



[Dörzshegesztés](#)



[Ellenállás-ponthegesztés](#)



[Ellenállás-dudorhegesztés](#)



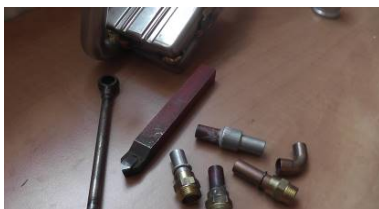
[Ellenállás-tompahegesztés](#)



[Ellenállás-vonalhegesztés](#)



[Fedett ívű hegesztés](#)



[Forrasztás](#)



[Kavaró dörzshegesztés](#)



[Lánghegesztés](#)



[Lángvágás](#)



[Lézeres hegesztés](#)



[Lézeres vágás](#)



[Önvédő huzalelektróda](#)



[Plazmaívhegesztés](#)



[TIG-hegesztés](#)

7. Szakirodalom

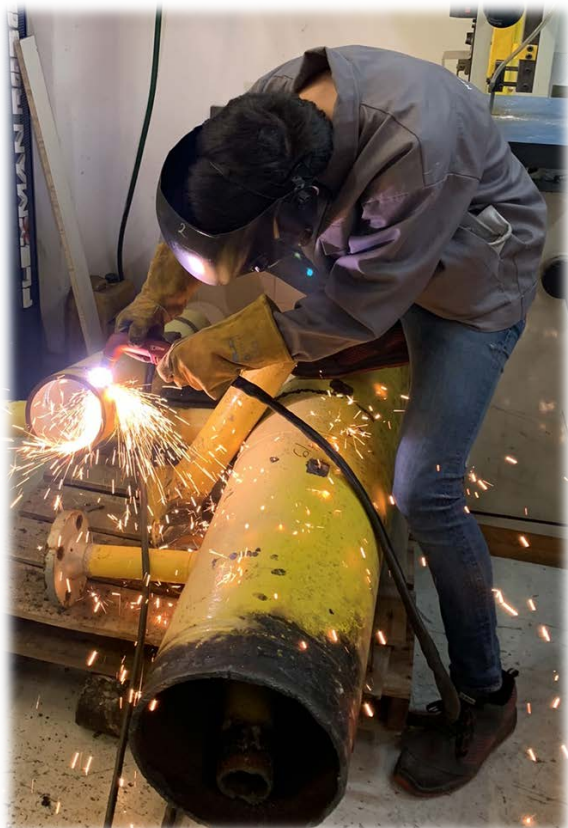
- [1] Rejtő Sándor: Az elméleti mechanikai technológia alapelvei és a fémek technológiája – I. kötet. 1915; <http://hdl.handle.net/10598/28300>
- [2] Bagyinszki Gyula, Bitay, Enikő: Hegesztéstechnika I. – Eljárások és gépesítés. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010. <http://hdl.handle.net/10598/15437>
- [3] MSZ ISO/TR 25901:2020 Hegesztés és rokon eljárások. Szakszótár. 1. rész: Általános kifejezések.
Welding and allied processes. Vocabulary. Part 1: General terms
Soudage et techniques connexes — Vocabulaire — Partie 1: Termes généraux
Schweißen und verwandte Verfahren - Terminologie - Teil 1: Allgemeine Begriffe
- [4] MSZ EN ISO 4063:2016 Hegesztés és rokon eljárások. A hegesztési eljárások megnevezése és azonosító számuk (ISO 4063:2009, 2010. 03. 01-jei helyesbített változat).
Welding and allied processes — Nomenclature of processes and reference numbers
Soudage et techniques connexes — Nomenclature et numérotation des procédés
Schweißen und verwandte Prozesse - Liste der Prozesse und Ordnungsnummern
- [5] Manufacturing Guide Sweden AB: Welding;
<https://www.manufacturingguide.com/en/svetsning>. Utoljára megtekintve: 2021.12.28.





Dobránszky János, Varbai Balázs

A hegesztés és a rokon gyártási eljárásai a fémek technológiájában



ISBN 978-963-89209-5-9

Ez a tankönyv azért készült, hogy a hegesztés és a vele szoros rokonságban lévő megmunkálások alapjainak bemutatásával elősegítsük az anyagtechnológiai tantárgyak ismeretanyagának elsajátítását, és kedvet teremtünk az abban való elmélyüléshöz; az anyagtechnológiai mérnökséghez, amely a gépészmérnöki szakmai egyik legizgalmasabb szakiránya. A filmtárban rövid bemutatók találhatók a tankönyvben ismertetett eljárások alkalmazásairól, valamint néhány hegesztési eljárás működésének izgalmas részleteiről.