

*Dr. Balogh András – Dr. Sárvári József – Dr. Schäffer József
Dr. Tisza Miklós*

MECHANIKAI TECHNOLÓGIÁK

Szerkesztette:

Dr. Tisza Miklós



**MISKOLCI EGYETEMI KIADÓ
2003**

A tankönyv az Oktatási Minisztérium támogatásával,
a Felsőoktatási Pályázatok Irodája által koordinált
Felsőoktatási Tankönyvtámogatási Program keretében jelent meg.

Lektorálta:

Dr. Artinger István
egyetemi tanár
a műszaki tudomány doktora

Szerkesztette:

Dr. Tisza Miklós
tanszékvezető, egyetemi tanár
a műszaki tudomány doktora

© Mechanikai Technológiai Tanszék szerzői kollektívája, 2003

Kiadja:

a Miskolci Egyetemi Kiadó
Felelős vezető: Dr. Péter József
A kiadásért felelős: a Miskolci Egyetem rektora
1. kiadás, 2003., Példányszám: 900
ISBN 963 661 571 3

Készült:

A Miskolci Egyetem Sokszorosító Üzemében
Felelős vezető: Kovács Tiborné
Met-1274-2003. ME.

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ	9
1. KÉPLÉKENY ALAKÍTÁS	13
1.1 Elméleti alapok	13
1.1.1 A folyási feltétel	13
1.1.2 Alakváltozási mérőszámok	15
1.1.3 Az alakítási szilárdság hideg- és melegalakításkor	20
1.1.4 Az alakíthatóság	26
1.1.5 A súrlódás és a kenés	29
1.2 Kovácsolás	31
1.2.1 A szabadalakító kovácsolás alapszabályai	32
1.2.2 Süllyesztékes kovácsolás	36
1.2.3 Kovácsoló gépek	40
1.3 Hengerlés	43
1.3.1 A hengerlés elvi alapjai	43
1.3.2 Rúd- és idomacélok hengerlése	46
1.3.3 Lemezhengerlés	49
1.3.4 Szalagok hideghengerlése	49
1.4 Kisajtolás	51
1.5 Csőgyártó eljárások	52
1.5.1 Csőgyártás hengerléssel	52
1.5.2 Csőgyártás sajtolással	54
1.5.3 Hegesztett csövek gyártása	55
1.6 Huzalgyártás	56
1.6.1 Revétlenítés	56
1.6.2 Húzás	57
1.6.3 Hőkezelés	60
1.6.4 Korroszióvédelem	60
1.6.5 Rúd és csőhúzás	61

1.7 Hideg térfogatalakító eljárások	61
1.7.1 Hidegzömítés	62
1.7.2 Hidegfolyatás	70
1.7.3 Példák a hideg térfogat-alakítás alkalmazására	77
1.8 Lemezalakító eljárások	79
1.8.1 Lemezvágó eljárások	80
1.8.2 Hajlítás	90
1.8.3 Mélyhúzás	93
2. ELSŐDLEGES ALAKADÓ TECHNOLÓGIÁK	99
2.1. Öntéstechnológia	99
2.1.1. Mintakészítés	99
2.1.2. Egyszeri öntésre alkalmas formázóanyagok	100
2.1.3. A kézi homokformázási technológia	101
2.1.4. A fogyási türegek elhárítása	103
2.1.5. Kéregöntvények	105
2.1.6. Magkészítés	106
2.1.7. Gépi formázás	107
2.1.8. Méretpontos formázó eljárások	107
2.1.9. Tartós formákba való öntés	110
2.1.10. Az öntvénytervezés irányelvei	113
2.2. Porkohászat	115
2.2.1. Fémporok előállítása	116
2.2.2. Fémporok tulajdonságai	118
2.2.3. Fémporok sajtolása	121
2.2.4. Melegsajtolás	125
2.2.5. Zsugorítás	126
2.2.6. Porkohászati termékek	127
2.3. Műanyagfeldolgozási technológiák	133
2.3.1. Hőre keményedő műanyagok sajtolása	135
2.3.2. Hőre lágyuló műanyagok fröccsöntése	137
2.3.3. Extrudálás	138
2.3.4. Műanyag lemezek formázása	139
2.3.5. Üvegszálás műanyagok	140

3. HEGESZTÉS	143
3.1. A hegesztélmélet rövid áttekintése	144
3.1.1. A hegesztőeljárások rendszerezése	145
3.1.2. A hegesztett kötés	149
3.1.3. A hegesztés hőforrásai	155
3.1.4. A hozaganyag hevítése, megolvasztása és átvitele a hegfürdőbe	159
3.1.5. A hegesztendő tárgy helyi hevítése és megolvasztása	163
3.1.6. A hegfürdő kristályosodása	166
3.1.7. A hőhatásövezet, mint a szilárd fázisban végbemenő fémtani folyamatok következménye	168
3.2. A legfontosabb ömlesztőhegesztő eljárások	171
3.2.1. Ívhegesztések	171
3.2.2. Sugárhegesztések	225
3.2.3. Lánghegesztés	229
3.2.4. Felrakóhegesztés	235
3.3. A legfontosabb sajtolóhegesztő eljárások	238
3.3.1. A sajtolóerő szerepe a hegesztésnél	238
3.3.2. A sajtolóhegesztő eljárások legfontosabb hőforrása: az ellenálláshő	239
3.3.3. Lemezek villamos ellenálláshegesztése	244
3.3.4. Szilárd fázisú sajtolóhegesztések	254
3.4. A hegesztés rokoneljárásai	258
3.4.1. Keményforrasztás	258
3.4.2. Lágyforrasztás	259
3.4.3. Ragasztás	259
3.4.4. Termikus szórás	260
3.5. Hegesztett szerkezetek gyártása	261
3.5.1. A hegesztés rendeltetése: kötő- és felrakóhegesztés	261
3.5.2. A hegesztési munkák gépesíthetősége	261
3.5.3. Különféle anyagok hegeszthetősége	263
3.5.4. A hegesztés tárgyi és személyi feltételei	264
3.5.5. A hegesztés gyártási dokumentumai	267
3.5.6. Hegesztési hibák és javításuk	270

4. HŐKEZELÉS	271
4.1. A hőkezelő eljárások általános alapjai	271
4.1.1. A hőkezelés szerepe a gépgyártástechnológiában	271
4.1.2. A hőkezelés definíciója és hőmérséklet-idő diagramja	272
4.1.3. A hőkezelő eljárások osztályozása	273
4.1.4. Hőátvitel hőkezelésnél	274
4.1.5. Anyagátvitel hőkezelésnél	280
4.1.6. Sajátfeszültségek, méret és alakváltozások hőkezelésnél	284
4.1.7. Hőkezelő berendezések	287
4.2. Izzítások	293
4.2.1. Feszültségcsökkentő izzítás	293
4.2.2. Újrakristályosító izzítás	295
4.2.3. Szemcsedurvító eljárás	298
4.2.4. Szferoidizáló izzítás	299
4.2.5. Normalizálás	302
4.2.6. Teljes lágyítás	303
4.2.7. Izotermás lágyítás	305
4.2.8. Ausztenites lehűtés	306
4.3. Keménységnövelő hőkezelések	307
4.3.1. Edzés	307
4.3.2. Felületi edzés	315
4.4. Szívósságfokozó hőkezelések	323
4.4.1. Nemesítés	323
4.4.2. Bainites hőkezelés	328
4.5. Termokémiai kezelések	329
4.5.1. Nitridálás	329
4.5.2. Betétedzés	339

ELŐSZÓ

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karán a különböző szakokon folyó képzések közös sajátossága, hogy valamennyi gépészmérnök hallgató tanulmányai első hat félévében, az ún. *kari közös ismeretek* blokkban a gépészmérnöki tudományok alapismereteit sajátítja el szilárd anyagtudományi, matematikai és mechanikai alapot biztosítva a későbbi szakirányú tanulmányokhoz. Ebben az alapozó szakmai ismeretanyagban fontos szerepet játszik a kar legnagyobb tanszékére a Mechanikai Technológiai Tanszék. A tanszék által oktatott tantárgyak egyrészt a gyakorló mérnökök számára nélkülözhetetlen anyagtudományi alapismereteket tartalmaznak (a *Metallográfia*, az *Anyagismeret* és az *Anyagvizsgálat* tantárgyak keretében), illetve azokat az alapvető technológiai ismereteket biztosítják, amelyek a gépészeti technológiák szempontjából meghatározó jelentőségűek: ezeket az ismereteket tanulják a hallgatók a *Mechanikai Technológiák* című tárgy keretében.

A Felsőoktatási Tankönyvpályázat első alkalommal való meghirdetése óta a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke kiemelt figyelmet fordít arra, hogy a nagylétszámú hallgatószámot színvonalas, korszerű tankönyvekkel lássa el. A tanszék középtávú tankönyv- és jegyzetírási tervével összhangban ennek megfelelően készült el 1995-ben a *Gépipari Anyagismeret*, 1998-ban a *Metallográfia* és 2001-ben az *Anyagvizsgálat* című tankönyv. Ebbe a sorozatba illeszkedik az Oktatási Minisztérium által 2001-ben meghirdetett Felsőoktatási Tankönyvpályázaton elnyert támogatás keretében elkészített tankönyv, amelyben a tanszék által oktatott *mechanikai technológiai* témakörök tananyagát foglaltuk össze.

E tankönyv, kiindulva a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Kara Mechanikai Technológiai Tanszékének feladataiból és építve a kialakult hagyományokra, első sorban gépészmérnök hallgatók számára készült, de a kari oktatási struktúrából következően eredményesen használhatják a műszaki informatikus, műszaki menedzser, villamosmérnök és anyagmérnök hallgatók is, különböző elnevezésű tantárgyakban, különböző évfolyamokon, természetesen az elmélyülés különböző igényével.

A hazai műszaki felsőoktatásban más területeken is meglévő gyakorlatnak megfelelően e tankönyvet olyan alaptankönyvnek szánjuk, amely – ismerve a többi hasonló képzési profilú felsőoktatási intézmény tanterveit és igényeit – a kialakítandó országos kreditrendszer egységes követelményrendszerét testesíti meg. Ezért

a tankönyv a Miskolci Egyetem előzőkben felsorolt karai és képzési irányai mellett a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán, a Győri Széchenyi István Egyetemen, valamint a gépészmérnöki képzést folytató műszaki főiskolákon (a Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Karán, és a Kecskeméti Főiskola Gépipari Automatizálási Műszaki Főiskolai Karán), valamint a Debreceni és a Pécsi Egyetem műszaki főiskolai karain is alkalmazható.

Az előzőkkel összhangban e tankönyv célja elsődlegesen az, hogy megismertesse a hallgatókat a legfontosabb mechanikai technológiákkal, azok elméleti alapjaival, technológia folyamataival és berendezéseivel, ezzel olyan alapvető mérnöki alapismereteket biztosítva, amelyek egyetlen praktizáló mérnök ismeretárából sem hiányozhatnak. Ez a koncepció és tárgyalási mód megegyezik azzal, amit e tankönyvprogram előző könyvei megírásánál is alkalmaztunk. A technológiai eljárások ismertetését a vonatkozó elméleti alapok rövid összefoglalása előzi meg és az egyes eljárásokhoz szorosan kapcsolódó példák követik.

A *Mechanikai Technológiák* fogalomkörébe a különféle *alakító és alakadó eljárások* (képlékenyalakítás, öntészet, porkohászat, műanyag-feldolgozás), a *kötés-technológiák* (elsősorban a hegesztés és rokon eljárásai), valamint a *termikus, termokémiai és termomechanikai* kezelések (ezen belül elsősorban a gépipari alkalmazás szempontjából legfontosabb hőkezelő eljárások és felülettechnológiák) tartoznak. Ezen technológiai eljárások kiemelt szerepet töltenek be a műszaki gyakorlatban és ennek megfelelően a hazai műszaki felsőoktatás képzési programjaiban is. A Mechanikai Technológiáknak jelentős szerepe van az anyagfejlesztés, a tulajdonság-optimalizálás, a racionális anyagfelhasználás, a minőségbiztosítás, a műszaki biztonság és a környezetvédelem területén egyaránt. E szerepvállalás nem képzelhető el csak akkor, ha a Mechanikai Technológiák oktatása szoros kapcsolatban van anyagtudományi, kontinuum-mechanikai, gyártástechnológiai, informatikai és automatizálás-technikai ismeretekkel egyaránt. Ennek figyelembevételével a tankönyv a Mechanikai Technológiák anyagtudományi és kontinuum-mechanikai elméleti alapjainak rövid áttekintése után az eljárások klasszikus csoportosításának megfelelően ismerteti a legfontosabb eljárásokat.

Az *Alakító és Alakadó technológiák* címszó alatt elsősorban a gépipari alkatrészgyártás szempontjából kiemelt jelentőségű *Képlékenyalakítás* elméleti alapjaival, a különféle lemezalakító- és térfogatalakító eljárásokkal és berendezéseikkel foglalkozunk. A *Képlékenyalakítás*, amely az egyik legősibb megmunkáló eljárás, napjainkban ismételtelen reneszánszát éli, amely mindenek előtt az eljárások anyag- és energia-takarékos jellemzőinek köszönhető. A képlékenyalakítás különböző módszereivel gyártott alkatrészek termékskálája a parányi mikroelektronikai alkatrészekről, a különféle háztartási eszközökön, a technikai haladás szempontjából mindig is kiemelt jelentőségű autópipari alkatrészekeken keresztül, a csúcstechnológiai alkalmazásokig (repülőgépipar és űrtechnika) terjed.

A gépipari alkatrészgyártó technológiák mellett minden leendő gépészmérnöknek szükséges ismereteket jelentenek azok az előgyártó technológiai eljárások is (mint például a hengerlés, csőgyártás, kovácsolás, sajtolás), amelyek többnyire további feldolgozó eljárások előgyártmányainak előállítására szolgálnak, de számos esetben közvetlen felhasználásra is kerülhetnek.

A gépipari megmunkálások előgyártmányait számos esetben azok az ún. *elsődleges alakadó eljárások* szolgáltatják, amelyek legfontosabb ismereteit a tankönyv *Öntéstechnológiai, Porkohászati és Műanyagfeldolgozási* fejezetei taglalják.

A *Hegesztés* című fejezet a *Kötéstechnológiák* nélkülözhetetlen kötő- és rokon eljárásait foglalja magába. Ebben a fejezetben a mintegy 5000 éves múltira visszatekintő forrasztások mellett, a 100-150 éves múlttal rendelkező hegesztés és termikus vágás, valamint a ragasztás és termikus szórás eljárásaival kívánunk foglalkozni.

A *Hőkezelés* című fejezetben a hőkezelés általános alapjainak rövid összefoglalását követően, a különféle izzításokkal, a keménységnövelő-, illetve szívósságfokozó hőkezelésekkel, valamint egyes termokémiai kezelésekkkel foglalkozunk.

A technológiai eljárások ismertetését az eljárások lényegének és berendezéseik működésének megértését jelentősen segítő gazdagon illusztrált ábraanyag teszi teljessé.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők e helyen is köszönetet kívánnak mondani mindazoknak, akik közvetlen, vagy közvetett módon hozzájárultak e tankönyv elkészüléséhez, megjelenéséhez.

Mindenekelőtt köszönet illeti az *Oktatási Minisztériumot*, amely felismerve az egyetemi oktatásban az átfogó, alapvető tankönyvek fontosságát, a *Felsőoktatási Tankönyvtámogatási Pályázat* keretében jelentős anyagi eszközökkel támogatja a nagy létszámú hallgatói rétegeket érintő tankönyvek elérhető áron való megjelentetését.

A tankönyv felépítését jelentős mértékben meghatározta az a sok évtizedes tapasztalat, amelyet a *Mechanikai Technológiák* (korábban más elnevezésekkel is, mint például *Szerkezeti anyagok technológiája I., II.*) oktatásában a *Miskolci Egyetem* (és jogelőd intézménye a *Nehézipari Műszaki Egyetem*) különböző karain és szakjain a *Mechanikai Technológiai Tanszék* oktatói, kutatói felhalmoztak. E tekintetben külön is ki kell emelnünk a tanszékalapító *Zorkóczy Béla* professzor, valamint *Romvári Pál* professzor munkásságát: a tanszék különböző tárgyaiban e témakörökben tartott előadásaik, illetve egyetemi jegyzeteik amellet, hogy gépészmérnök hallgatók generációinak szolgáltak alapvető forrásmunkaként, e tankönyv írásakor is meghatározó jelentőséggel bírtak.

A tankönyv ábraanyagának gondos elkészítéséért köszönettel tartozunk a tanszék munkatársainak, *Kiss Antal* egyetemi adjunktusnak, *Lukács Zsolt* és *Szabó Péter* tudományos munkatársnak, valamint *Magyar Zoltán* tanszéki mérnöknek. A kézirat színvonalas elkészítése *Szegeczkiné Radácsi Erika* tanszéki előadó munkáját dicséri.

Külön köszönetünket fejezzük ki *Artinger István* egyetemi tanárnak, a műszaki tudományok doktorának, a tankönyv lektorálásáért, értékes tartalmi észrevételeiért.

A szerzők

Miskolc, 2003. április

1. KÉPLÉKENY ALAKÍTÁS

A képlékeny alakítás olyan gyártási módszer, amellyel szilárd test (az előgyártmány) alakját és méreteit, külső erőrendszer segítségével jelentős mértékben megváltoztatjuk úgy, hogy eközben a test térfogata változatlan maradjon.

Ahhoz, hogy a képlékeny alakítás megtörténhessen az alábbi két feltételnek teljesednie kell:

- Az anyag alakított részében ébredő mechanikai feszültségek biztosítsák a képlékeny alakváltozás feltételeit (folyási feltétel).
- Az anyag ne repedjen meg és ne törjön el az alakítás közben (alakíthatóság).

E két feltétel tárgyalása során a Szilárdságtan, a Metallográfia, az Anyagvizsgálat és az Anyagismeret tárgyakban tanult ismereteket alkalmazzuk.

1.1 ELMÉLETI ALAPOK

1.1.1 A folyási feltétel

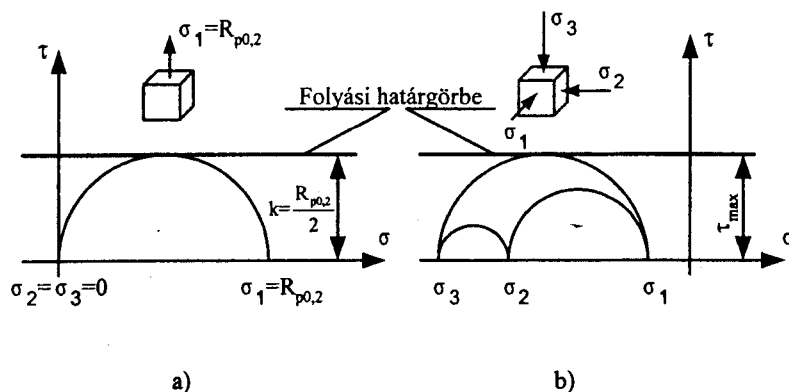
A szilárdságtanban tanultak szerint a külső erőrendszerrel terhelt test tetszőleges *P* pontjában ébredő feszültségállapotot a feszültségtenzor jellemzi. A terhelt test minden pontjában létezik három olyan egymásra kölcsönösen merőleges sík, amelyekben csúsztató feszültség (τ) nem ébred. Ezek a fősíkok, az ezekre merőleges irányok a főirányok. A feszültségtenzor ismeretében a fősíkokban ébredő normál feszültségek, az ún. főfeszültségek ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) meghatározhatók.

A feszültségtenzor a főfeszültségekkel felírva:

$$F = \begin{vmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{vmatrix} \tag{1.1}$$

A szilárdságtanban a redukált (összehasonlító) feszültség kiszámítására két elméletet ismertek meg a Tresca-St.Venant és a Huber-Mises-Henky féle elméletet.

A metallográfiában tanultak szerint a képlékeny (maradó) alakváltozás leggyakoribb mechanizmusa a transzláció, azaz kristálytani síkok egymáson való elcsúszása, így logikus a Tresca-St.Venant elmélet azon kritériuma, hogy a képlékeny alakváltozás megindulásához a legnagyobb csúsztató feszültségnek kell elérni egy, az anyagtól (összetételtől, szerkezetétől, hőmérsékletétől stb.) függő, k -val jelölt értéket, ami „a tiszta nyírás folyáshatára”.



1.1. ábra

Vázlat a Tresca-St. Venant féle folyási feltételhez

Az 1.1. ábra a) részén folyási határfeszültségig terhelte szakító próbatestet Mohr körét ábrázoltuk (a feszültségi állapot egytengelyű). Eszerint a próbatestet maradó (képlékeny) alakváltozásának megindulásakor, más szavakkal a „képlékeny folyás” megindulásakor, az anyagban ébredő legnagyobb csúsztatófeszültség:

$$\tau_{\max} = k = \frac{R_{p0.2}}{2} \quad (1.2)$$

Az 1.1. ábra b) részén egy háromtengelyű feszültségi állapotban, képlékenyen alakított test P pontjában kialakuló feszültségállapot Mohr körét rajzoltuk meg. Ennek alapján felírható a

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (1.3)$$

összefüggés. A Tresca-St.Venant elmélet szerint az (1.2) és (1.3) összefüggések egyenlőségéből a folyási feltétel:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = R_{p0.2} \quad (1.4)$$

Ez az összefüggés szobahőmérsékleten végzett alakításakor csak az alakváltozás megindulásakor érvényes, mivel az anyag a hidegalakítás hatására keményedik, a folyási határfeszültség nő. Az $R_{p0.2}$ -vel az anyag eredeti állapotában mért folyási

határát jelöljük. Az alakváltozás hatására változó folyási határ jelölésére az alakítási szilárdság fogalmát vezetjük be, amelyet k_f -fel jelölünk. A Tresca-St.Venant folyási feltétel így a

$$\sigma_1 - \sigma_3 = k_f \quad (1.5)$$

alakban írható fel. Azt, hogy az alakítási szilárdság mitől függ és hogyan lehet meghatározni, a későbbiekben tárgyaljuk. Emlékezzünk most vissza arra, hogy a redukált (összehasonlító) feszültség összefüggése a szilárdságtanban Tresca-St.Venant szerint:

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (1.6)$$

A folyási feltétel tehát általánosan a

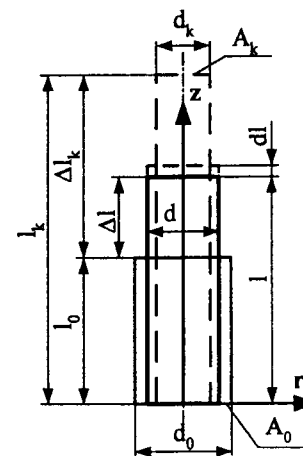
$$\sigma_{red} = k_f \quad (1.7)$$

összefüggéssel is felírható. Ha a redukált feszültség HMH elmélet szerinti összefüggését a (1.7) összefüggésbe helyettesítjük, a folyási feltétel bonyolultabb és pontosabb összefüggését kapjuk, nevezetesen:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = k_f \quad (1.8)$$

A (1.5) és a (1.8) összefüggés legfeljebb 15% eltérést eredményez, ezért ebben a tantárgyban az egyszerűbb (1.5) összefüggést alkalmazzuk.

1.1.2 Alakváltozási mérőszámok



1.2. ábra

Vázlat az alakváltozási mérőszámok értelmezéséhez

A 1.2. ábrán vázolt d_0 átmérőjű, A_0 keresztmetszetű és l_0 hosszúságú munkadarabot l_k hosszúságúra nyújtottuk, melynek következtében átmérője d_k -ra, keresztmetszete A_k -ra csökkent. A nyújtás közbeni pillanatnyi hossz jelöljük l , átmérőjét d betűvel.

Ha az l hossz dl -el megnő, akkor a tengelyirányú mérnöki nyúlás elemi része:

$$d\varepsilon_x = \frac{dl}{l} \quad (1.9)$$

a valódi nyúlás elemi része pedig:

$$d\varphi_x = \frac{dl}{l} \quad (1.10)$$

A hossz l_0 -ról l_k -ra változásához tartozó véges nyúlás értékek az

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l_k} d\varepsilon_x = \frac{1}{l_0} \int_{l_0}^{l_k} dl = \frac{l_k - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l_k}{l_0} \quad (1.11)$$

és a

$$\varphi = \int_{l_0}^{l_k} d\varphi_x = \int_{l_0}^{l_k} \frac{dl}{l} = \ln l \Big|_{l_0}^{l_k} = \ln l_k - \ln l_0 = \ln \frac{l_k}{l_0} \quad (1.12)$$

összefüggésekkel számolhatók. Képlékeny alakításnál – tehát nagy alakváltozásoknál – a valódi nyúlást használjuk. Később láthatjuk ennek előnyeit.

Hengeres darabok hengerszimmetrikus alakításakor a valódi nyúlás az átmérből is kiszámítható. Az 1.2. ábrán feltüntetett méretekkal a térfogatállandóság:

$$\frac{d_0^2 \pi}{4} \cdot l_0 = \frac{d_k^2 \pi}{4} \cdot l_k. \quad (1.13)$$

Ebből

$$\frac{l_k}{l_0} = \frac{d_0^2}{d_k^2} \quad (1.14)$$

Az (1.14) összefüggést az (1.12)-be helyettesítve

$$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d_k^2} = 2 \ln \frac{d_0}{d_k} \quad (1.15)$$

Hengerszimmetrikus alakváltozások esetére (pl. a huzalgártásban) az alakváltozás jellemzésére a fajlagos keresztmetszet-változást (q) is használjuk, amely az 1.2. ábra jelöléseivel:

$$q = \frac{A_0 - A_k}{A_0} = \frac{\Delta A_k}{A_0}. \quad (1.16)$$

Az ε és a q az (1.11) és (1.16) összefüggéssel számolt értékei pusztán számok. Ezek százalékos értékét is használjuk. A φ -esetében a %-nak nincs értelme.

Az alakított darab térfogatállandóságának feltételéből az előző alakváltozási mérőszámok egymásból átszámíthatók, így például

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon) = \ln \frac{1}{1 - q}. \quad (1.17)$$

Az alakváltozás sebességét az egységnyi idő alatt megvalósult valódi nyúlás-ként értelmezzük, azaz:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.18)$$

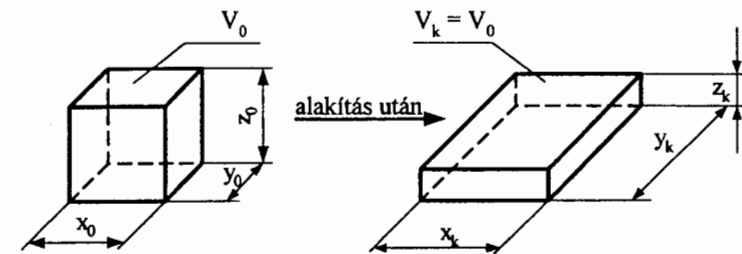
Ha az 1.2. ábrán vázolt l hosszúságú darab alsó végét rögzítjük, felső végét pedig v sebességgel húzzuk, akkor az dt idő alatt $dl = vdt$ -t mozdul el, így

$$d\varphi = \frac{dl}{l} = \frac{vdt}{l}. \quad (1.19)$$

Ezt az (1.18) összefüggésbe helyettesítve, erre az esetre az alakváltozási sebesség a

$$\dot{\varphi} = \frac{v}{l}. \quad (1.20)$$

kifejezéssel számolható. Az alakváltozás sebessége tehát nem azonos a szerszám sebességével, mértékegysége pedig [1/s].



1.3. ábra

Vázlat a térfogatállandóság tételének levezetéséhez

Az 1.3. ábrán egy fősíkkal határolt hasáb képlékeny alakítás előtti és utáni méreteit adtuk meg. Képlékeny alakítás hatására a test térfogata gyakorlatilag nem változik, így az ábra alapján igaz az

$$x_0 \cdot y_0 \cdot z_0 = x_k \cdot y_k \cdot z_k. \quad (1.21)$$

egyenlőség. Ebből elemi átalakítással

$$\frac{x_k}{x_0} \cdot \frac{y_k}{y_0} \cdot \frac{z_k}{z_0} = 1 \quad (1.22)$$

következik. Mindkét oldal természetes logaritmusát véve:

$$\ln \frac{x_k}{x_0} + \ln \frac{y_k}{y_0} + \ln \frac{z_k}{z_0} = 0. \quad (1.23)$$

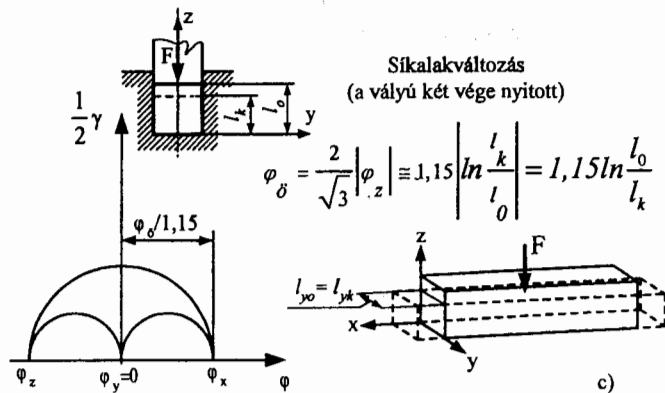
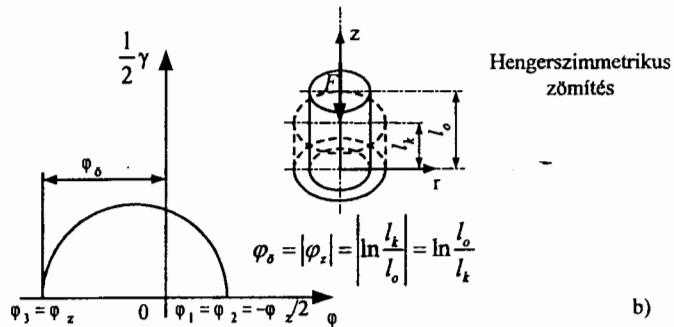
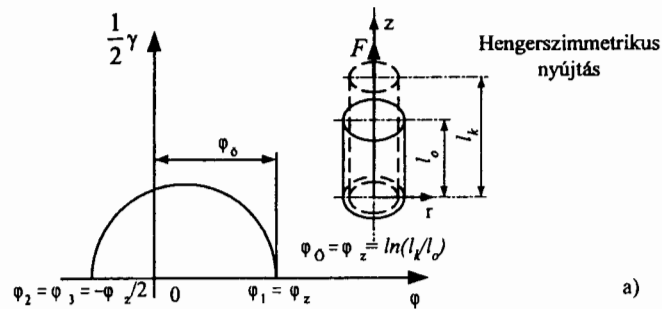
A kifejezés bal oldalán a három irányban megvalósult valódi nyúlások szerepelnek, így a térfogatállandóság a

$$\varphi_x + \varphi_y + \varphi_z = 0, \quad (1.24)$$

illetve főnyúlásokkal kifejezve a

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (1.25)$$

összefüggésekkel írható fel.



1.4. ábra

Az összehasonlító (redukált) valódi nyúlás három jellegzetes alakváltozási állapot esetén

Az (1.25) összefüggésből következik, hogy az alakváltozási Mohr kör legnagyobb köre – ahogy három jellegzetes esetre az 1.4. ábrán vázoltuk – mindig magába zárja az origót. A redukált (összehasonlító) feszültség fogalmát már ismerjük. Az 1.4. ábra kapcsán az összehasonlító valódi nyúlás (φ_0) fogalmával kell megismerkednünk. Az összehasonlító valódi nyúlás egy olyan egytengelyű húzó igény-

bevétellel megvalósított alakítás tengelyirányú valódi nyúlása, amely a φ_1 , φ_2 , φ_3 főnyúlásokkal jellemzett alakítással azonos mértékű keményedést okoz hidegalakításakor. Az összehasonlító valódi nyúlás φ_1 , φ_2 és φ_3 ismeretében kiszámítható. Értéke – itt nem részletezett levezetés alapján – a legnagyobb abszolút értékű főnyúlás abszolút értékének 1+1,15-szöröse lehet.

$$\varphi_0 = (1 + 1,15) |\varphi|_{\max} \quad (1.26)$$

Az 1.2. ábrán vázolt alakításnál az összehasonlító valódi nyúlás a z-irányú valódi nyúlás. A $\varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_r = \varphi_t$ feltételből és a (1.25) összefüggésből következik, hogy $\varphi_2 = \varphi_3 = -\varphi_z/2 = -\varphi_0/2$ (lásd az 1.4. ábrán). A következőkben, ha a φ mellé nem írunk indexet, az összehasonlító valódi nyúlást jelent.

Az 1.6. ábra b) részletén egy húzalhúzás elvi vázlata látható. Itt az n -edik húzó művelet során a húzal átmérőjét d_{n-1} -ről d_n -re csökkentjük. Legyen az anyaga átmérője az utolsó lágyításakor d_0 , az első húzás után d_1 , majd d_{II} és így tovább, az n -edik húzás után pedig d_n . Az egyes húzó műveletekben megvalósuló valódi összehasonlító nyúlások:

$$\text{az első műveletben: } \varphi_I = 2 \ln \frac{d_0}{d_1}, \quad (1.27)$$

$$\text{a II. műveletben: } \varphi_{II} = 2 \ln \frac{d_I}{d_{II}}, \quad (1.28)$$

$$\text{az } n\text{-edik műveletben: } \varphi_n = 2 \ln \frac{d_{n-1}}{d_n}. \quad (1.29)$$

Az n húzás során az átmérő d_0 -ról d_n -re csökkent, így az n húzó műveletben összesen megvalósult valódi nyúlás

$$\varphi_{1-n} = 2 \ln \frac{d_0}{d_n}. \quad (1.30)$$

Adjuk össze az egyes húzóműveletekben megvalósult valódi nyúlásokat

$$\varphi_I + \varphi_{II} + \dots + \varphi_n = 2 \ln \frac{d_0}{d_1} + 2 \ln \frac{d_I}{d_{II}} + \dots + 2 \ln \frac{d_{n-1}}{d_n} = \quad (1.31)$$

$$2 \ln \left(\frac{d_0}{d_1} \cdot \frac{d_I}{d_{II}} \cdot \dots \cdot \frac{d_{n-1}}{d_n} \right) = 2 \ln \frac{d_0}{d_n}.$$

Az (1.30) és az (1.31) összefüggések egyenlősége alapján

$$\varphi_{1-n} = \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (1.32)$$

Ez azt jelenti, hogy az egymást követő alakító műveletekben összesen megvalósult valódi összehasonlító nyúlás a részműveletekben megvalósult valódi összehasonlító nyúlások összegével egyezik meg.

Ez nem érvényes, ha mérnöki nyúlással (ϵ), vagy a fajlagos keresztmetszet csökkenéssel (q) számoljuk az alakváltozásokat, azaz

$$\epsilon_{1-n} \neq \sum_{i=1}^n \epsilon_i, \text{ illetve } q_{1-n} \neq \sum_{i=1}^n q_i. \quad (1.33)$$

1.1.3 Az alakítási szilárdság hideg- és melegalakításkor

A képlékeny alakváltozás általában kristálytani síkok egymáson való elcsúszásával (transzláció) valósul meg. Az alakváltozás közben a diszlokációk mozognak, sokszorozódnak és egymásra torlódnak.

Hidegalakítás fémtani értelemben akkor történik, ha az alakítás közben nem játszódik le olyan jelenség, amely a növekvő diszlokációsűrűséget csökkentené, tehát ha az alakítás közben nincs újrakristályosodás. Ez színtémek esetén hozzávetőleg a Kelvin fokokban mért olvadáspont 40%-ánál kisebb hőmérsékleten áll fenn. Hidegalakításkor az alakítás következményei az alábbiak:

- a szilárdsági jellemzők (R_m , k_f) növekedése és az alakváltozási jellemzők (A , Z) csökkenése, – amelyeket együtt „a hidegalakítás okozta keménységnek” nevezünk,
- a kristallitok nyújtottá válnak,
- az általában inhomogén feszültségi és alakváltozási állapot miatt ún. maradó feszültségek keletkeznek,
- a csúszósíkok igyekeznek befordulni a legnagyobb főnyúlás irányába, így a különböző kristallitok kristályrácsa – amely az alakítás előtt rendezetlen volt – rendeződik. Ezt a rácsrendeződést *alakítási textúrának* nevezzük.

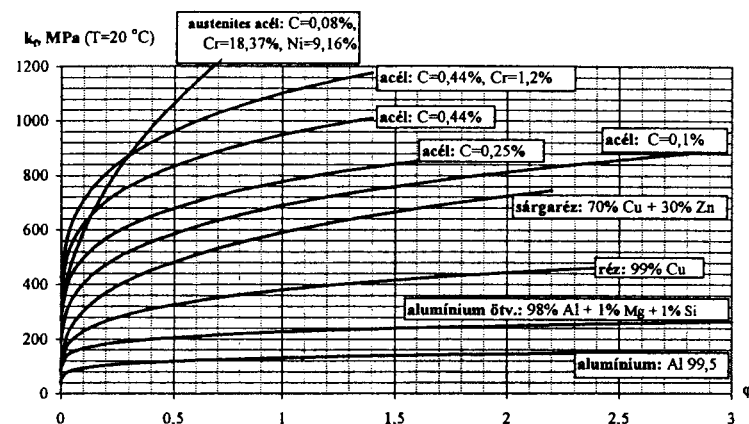
Melegalakításkor, tehát az újrakristályosodási hőmérsékletnél nagyobb hőmérsékleten végzett alakításkor, az alakítás hatására szintén nő a diszlokációsűrűség, de egy bizonyos energiaszint elérésekor megindul az újrakristályosodás, és ennek hatására a megnövekedett diszlokációsűrűség csökkenése is. Ezt a jelenséget *dinamikus újrakristályosodásnak* nevezzük. Az egységnyi térfogatú anyagban időegységenként létrejövő diszlokációsűrűség növekedés az alakváltozási sebességtől ($\dot{\varphi}$) függ, a diszlokációsűrűség időegységenkénti csökkenése pedig adott hőmérsékleten az energiaszint, tehát az aktuális diszlokációsűrűség függvénye. Ebből következik, hogy adott hőmérsékleten végzett alakításkor az aktuális diszlokációsűrűség, így az alakítási szilárdság (k_f) is annál nagyobb, minél nagyobb az alakváltozás sebessége. Melegalakításnál az adott összetételű anyag alakítási szilárdsága a hőmérséklet és az alakváltozási sebesség függvénye.

A melegalakítás közben megnőtt diszlokációsűrűség az alakítás befejezése után, még az alakítás hőmérsékletén eredeti értékére csökken, így a lehűlés után végzett anyagvizsgálattal alakítás okozta keménységét nem érzékelünk.

Az előzőek értelmében hidegalakításkor az alakítási szilárdság (k_f) – kivéve a szélsőségesen kicsi és a szélsőségesen nagy alakváltozási sebességeket – csak igen kis mértékben függ az alakváltozás sebességétől, és ha ettől eltekintünk, csak a hőmérsékletnek és az utolsó lágyítás óta bekövetkezett alakváltozás nagyságának függvénye. Adott anyag szobahőmérsékleten végzett alakításkor az alakítási szilárdságot a k_f - φ görbe, az úgynevezett „folyási görbe” alapján határozhatjuk meg. (A folyási görbék felvételének módszereit a „Képlékeny alakítás” tárgyban ismeretjük.)

Az 1.5. ábrán néhány anyag folyási görbéjét ábrázoltuk. Az acélok folyási görbéjének felvétele előtt az anyagot az A_1 alatti tartós izzítással hőkezelték, szövetszerkezetük így ferritből és szemcsés perlitből áll.

Az 1.5. ábrán néhány anyag folyási görbéjét ábrázoltuk. Az acélok folyási görbéjének felvétele előtt az anyagot az A_1 alatti tartós izzítással hőkezelték, szövetszerkezetük így ferritből és szemcsés perlitből áll.



1.5. ábra

Különböző anyagok folyási görbéje $T=20^\circ\text{C}$ -on mérve

A folyási görbe használatát az 1.6. ábrával kapcsolatban mutatjuk be. Az ábra vázlatán a huzalgyártás egy húzó műveletét vázoltuk. A huzal utolsó lágyításakor d_0 átmérőjű volt. A lágyítás után a b) ábrán vázolt húzás előtt ezen az anyagon már végeztek ugyanilyen huzalhúzó műveleteket. A húzógyűrű elé kerülő anyagot a lágyítás óta (előzetesen)

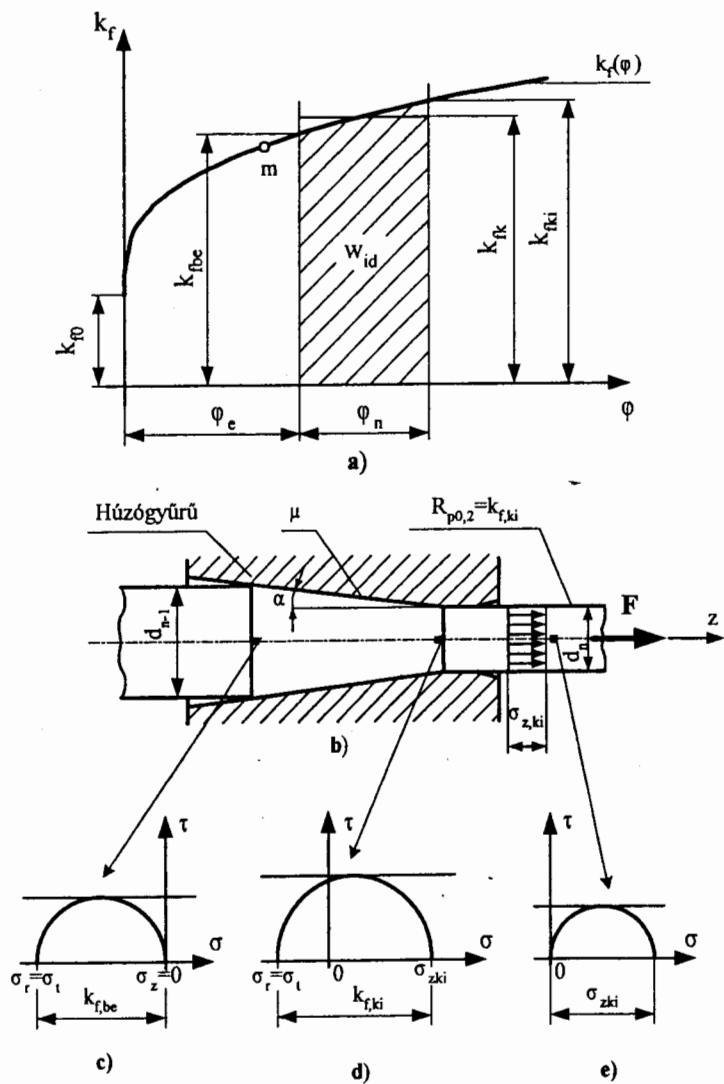
$$\varphi_e = 2 \ln \frac{d_0}{d_{n-1}} \quad (1.34)$$

mértékben alakították hidegen, így a szerszám elé kerülő (belépő) anyag alakítási szilárdsága k_{f_n} (lásd az 1.6. ábra a) részén).

A szerszámban az n -ik húzáskor megvalósuló alakváltozás

$$\varphi_n = 2 \ln \frac{d_{n-1}}{d_n} \quad (1.35)$$

így a szerszámából kilépő anyag alakváltozása $\varphi_e + \varphi_n$ (a valódi nyúlások összeadhatók), alakítási szilárdsága pedig k_{f_n} .



1.6. ábra

A folyási feltételből és a folyási görbéből adódó feszültségek huzalhúzásnál

Az 1.6. ábra b) részletén vázolt huzalhúzás közben az F húzóerő a húzógyűrű α félkúpszögű kúpos furatán áthúzza az anyagot. Az anyag kúpos része a húzás során a képlékeny folyási állapotában van, így itt érvényes a folyási feltétel. A húzóerő hatására a kis félkúpszögű ($\alpha=5-8^\circ=0,09-0,14$ rad) kúpnak az anyagra jelentős radiális nyomás hat.

Ha a húzógyűrű előtti huzalrészt tengelyirányú erő nem terheli (nincs ellenhúzás) a belépő oldalon $\sigma_z=0$ és a folyási feltételből $\sigma_r=-k_{f,be}$ azaz itt radiálisan $p_{be}=k_{f,be}$ felületi nyomás keletkezik a szerszám és a munkadarab között. A már áthúzott d_n átmérőjű részben a kúpn kívül egytengelyű húzó igénybevétel ébred. Ezt jelöljük $\sigma_{z,ki}$ -vel.

Egy itt nem tárgyalt levezetés szerint (lásd később a *Képlékenyalakítás* című tantárgyban)

$$\sigma_{z,ki} = k_{f,k} \cdot \varphi_n \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} \right) + \frac{2}{3} k_{f,k} \cdot \alpha, \quad (1.36)$$

ahol:

$$k_{f,k} = \frac{1}{\varphi_n} \int_{\varphi_n}^{\varphi_n + \varphi_n} k_f \cdot d\varphi \cong \frac{k_{f,be} + k_{f,ki}}{2} : \text{a közepes alakítási szilárdság}, \quad (1.37)$$

μ : a szerszám és a munkadarab közötti súrlódás súrlódási tényezője,

α : a húzógyűrű kúpjának félkúpszöge radiánban.

Az (1.36) jelű, ún. *Siebel-féle* formula levezetésekor alkalmazott egyszerűsítő feltételek egyike az volt, hogy az anyag alakítási szilárdsága a húzókúpnál állandó és ez azonos a közepes alakítási szilárdsággal ($k_{f,k}$).

Az (1.37) összefüggés eredetét keresve tekintsük az 1.2. ábrát. Az itt látható V térfogatú, A keresztmetszetű, l hosszúságú testet egytengelyű F húzóerővel veszteségmentesen, képlékenyen alakítjuk. Ennek dl mértékű megnyújtásához

$$dW_{id} = F dl \quad (1.38)$$

munka szükséges. Ha képlékeny az alakváltozás, az egytengelyű húzófeszültség egyenlő az alakítási szilárdsággal, így

$$F = A \cdot k_f. \quad (1.39)$$

A keresztmetszetet a térfogattal és a hosszal felírva

$$A = \frac{V}{l}. \quad (1.40)$$

Az (1.39) és (1.40) összefüggéseket az (1.38)-ba helyettesítve az elemi munka

$$dW_{id} = V \cdot k_f \frac{dl}{l} = V k_f \cdot d\varphi, \quad (1.41)$$

amelyből térfogategységnyi anyag veszteségmentes alakításához szükséges elemi munka

$$dw_{id} = \frac{dW_{id}}{V} = k_f \cdot d\varphi. \quad (1.42)$$

Ha az anyag előzetes alakítottottsága φ_e a vizsgált műveletben pedig φ_n alakváltozás történik, akkor

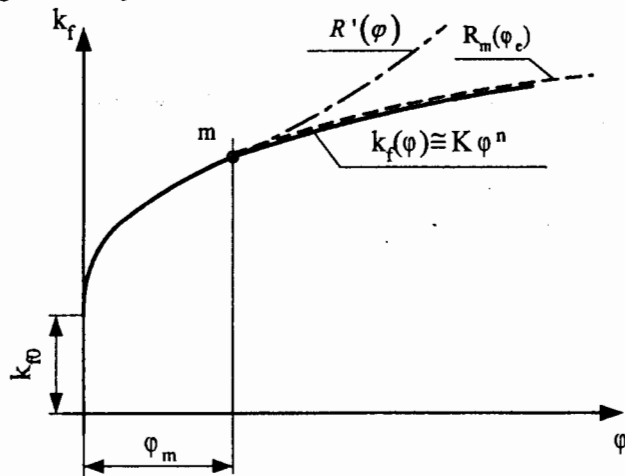
$$w_{id} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_0 + \varphi_n} k_f \cdot d\varphi, \quad (1.43)$$

tehát a térfogategységre eső alakváltozási munka a folyási görbe alatti területtel egyenlő (lásd az 1.6. ábra a részletén bevonalkázva). Ez a terület az ábrán látható téglalap területével azonos, így a

$$w_{id} = k_{\bar{r}} \cdot \varphi_n \quad (1.44)$$

összefüggéssel is felírható. Az (1.43) és az (1.44) összefüggések egyenlőségéből adódik az (1.37) összefüggés első tagja. Nagyobb alakváltozásoknál (ahol a folyási görbe kis mértékben tér el az egyenestől) az (1.37) összefüggés második tagja elfogadható közelítés.

Az 1.7. ábrán egy koordináta-rendszerben ábrázoltuk a $k_f(\varphi)$ az $R'(\varphi)$ és az $R_m(\varphi_0)$ görbéket. Az *Anyagvizsgálat* tárgyban megismertük a szakító vizsgálat eredményei alapján megszerkeszthető $R'(\varphi)$ valódi feszültség diagramot. Ha ezt a maradó valódi nyúlás függvényében szerkesztjük, akkor a szakító próbatest egyenletes nyúlásának a végéig, azaz az m pontig, a folyási görbét nyerjük. Az egyenletes nyúlás végétől a szakadásig a szakító próbatest befűződött, kontrahált, így a kontrahált rész feszültségállapota nem egytengelyű húzás, hanem három húzó főfeszültséggel jellemezhető ($\sigma_r = \sigma_r > 0$), ezért ebben a tartományban az $R'(\varphi)$ görbe a $k_f(\varphi)$ görbe fölött jár.



1.7. ábra

A folyási görbe ($k_f - \varphi$) a szakítással felvett valódi feszültség görbe ($R' - \varphi$) és a hidegen alakított huzalokon mért ($R_m - \varphi_0$) görbe

Az utolsó lágyítás után hidegen $\varphi > \varphi_m$ mértékben alakított anyagból kimunkált szakító próbatest kontrahációval kezdi a maradó alakváltozását, ezért ebben a tartományban igaz az $R_m(\varphi) \cong k_f(\varphi)$.

Ahhoz, hogy egy egytengelyű húzással terhelt próbatestnek egyenletes (kontrakció nélküli) nyúlása legyen, az szükséges, hogy fennálljon a

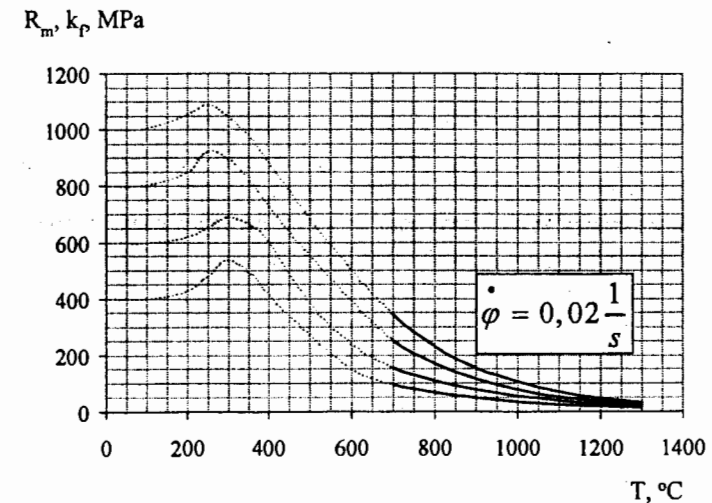
$$\frac{dk_f}{d\varphi} > k_f \quad (1.45)$$

feltétel. A kis alakváltozási sebességgel járó ($\dot{\varphi} = 0,02 \text{ s}^{-1}$) meleg szakító vizsgálatoknál

$$\frac{dk_f}{d\varphi} \approx 0, \quad (1.46)$$

így a próbatest kontrahációval kezdi a maradó alakváltozást, azaz a szakító szilárdság és a folyási határ, ami az alakítási szilárdság, azonos

$$k_{f(r,\dot{\varphi})} = R_{m(r,\dot{\varphi})} \quad (1.47)$$



1.8. ábra

Különböző szakítószilárdságú acélok alakítási szilárdsága $T \geq 700^\circ\text{C}$ hőmérsékleten

A 1.8. ábrán vázolt, acélokon melegen mért szakítószilárdsági értékek, a melegalakítás hőmérsékletén ($T > 600^\circ\text{C}$), a mérésnél alkalmazott alakváltozási sebességhez tartozó alakítási szilárdságnak tekinthetők.

A szakító vizsgálatnál eltérő alakváltozási sebességekkel végzett alakítások esetére érvényes alakítási szilárdságot az alábbi (Alder-Philips) formulával számítjuk.

$$k_{f(T,\varphi,\dot{\varphi})} = k_{f\dot{\varphi}} \left(\frac{\dot{\varphi}}{\dot{\varphi}_a} \right)^m \quad (1.48)$$

ahol:

- $k_{f\dot{\varphi}}$: a T hőmérsékleten alakváltozási sebességgel mért alakítási szilárdság,
 $\dot{\varphi}$: az adott alakításnál megvalósuló alakváltozási sebesség,
 φ : az egy ütéssel (nyomással) végzett alakváltozás nagysága,
 m : a sebességkitevő, amely az alakított anyag összetételétől, hőmérsékletétől és az egy ütéssel végzett alakváltozás nagyságától függő érték.

Az m értéke a hőmérséklet függvényében és a φ függvényében is nő. Értéke adott anyagra vonatkozó táblázatokból vehető.

Az 1.8. ábra szerint $T=1100^\circ\text{C}$ -on $\dot{\varphi}=0,02$ alakváltozási sebességgel végzett alakításkor az alakítási szilárdság a hidegen mérhető folyási határnak ($R_{p0,2}=k_{f\dot{\varphi}}$) hozzávetőleg a tized része. Az egészen nagy méretű munkadarabokat ezért nagy hőmérsékleten és kis alakváltozási sebességgel – a kovácsolás helyett sajtolást alkalmazva – alakítjuk.

1.1.4 Az alakíthatóság

Egy anyagot akkor tekintünk jól alakíthatónak, ha nagy mértékű alakváltozást visel el törésig és ha az ehhez az alakváltozáshoz szükséges térfogategységenkénti ideális munka kicsi, tehát ha a $\varphi_{\text{törés}}/w_{\text{id}}$ hányados nagy. A törésig elviselt alakváltozást befolyásoló tényezők az alábbiak:

- a feszültségállapot,
- a hőmérséklet,
- alakváltozási sebesség.

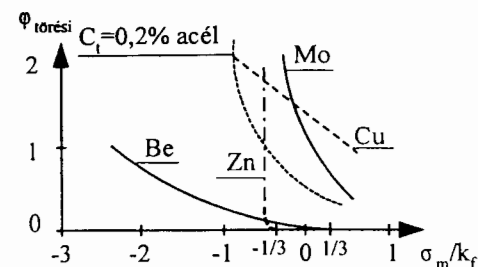
A feszültségállapot alakváltozóképeségre gyakorolt hatását először Kármán Tódor, magyar tudós vizsgálta (1911). Az egytengelyű nyomó igénybevétel alkalmazásával vizsgálva ridegen eltörő márvány próbatesteket $p=300 \text{ MPa}$ nyomású kamrában, egy ide benyúló bélyeggel, külső erővel zömítve, ($\sigma_1=\sigma_2=300 \text{ MPa}$) $\epsilon=6-8\%$ maradó alakváltozást ért el. Ezzel bebizonyította, hogy az alakváltozó képesség a feszültségállapotnak is függvénye. A törésig elviselt alakváltozást célszerű a

$$\frac{\sigma_m}{k_f} \quad (1.49)$$

függvényében ábrázolni (lásd az 1.9. ábrán) ahol

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}, \quad (1.50)$$

az anyagban ébredő közepes, más szóval hidrosztatikus feszültség, k_f pedig a vizsgált anyag alakítási szilárdsága.



1.9. ábra

Különböző anyagok alakíthatósága szobahőmérsékleten a feszültségállapot függvényében

Egytengelyű húzó igénybevételnél $\sigma_1=k_f$; $\sigma_2=\sigma_3=0$, így $\sigma_m/k_f=1/3$. Tiszta csavarásnál $\sigma_3=0$, $\sigma_1=-\sigma_3$ és $\sigma_m/k_f=0$. Egytengelyű nyomásnál $\sigma_1=\sigma_2=0$; $\sigma_3=-k_f$ ezért $\sigma_m/k_f=-1/3$.

A gyakorlati alakítóműveleteknél σ_m/k_f értéke +0,5 (lemezek nyújtó húzása) és -20 közé esik. Az utóbbi érték az ún. hidrosztatikus extrudálásra jellemző, ahol nagy nyomású ($p=15000-20000 \text{ MPa}$) munkafolyadék sajtolja ki az anyagot a szűkülő résen és alumíniumot extrudálva az egy műveletben elérhető keresztmetszetarány ($A_0/A_{\text{kész}}$) a 15000 értéket is elérheti. Ehhez $\varphi = \ln A_0/A_{\text{kész}} = 9,6$ tartozik.

Az alakítási hőmérséklet növelésével – néhány kivételtől eltekintve – nő az alakváltozó képesség. Ez a hatás különösen jelentős a primer karbidokat nem tartalmazó acélokánál, amelyek szobahőmérsékleten $\alpha+Fe_3C$ fázisokból állnak, az A_3 fölött viszont csak ausztenit fázist tartalmaznak.

Az alakítási sebesség acélokánál szobahőmérsékleten nem befolyásolja számottevően az alakíthatóságot. A melegalakítás hőmérséklet-tartományában az alakváltozási sebesség növelése általában növeli az alakíthatóságot. A primer karbidokat tartalmazó erősen ötvözött acélok és titánötvözeteknél fordított hatás érvényesül.

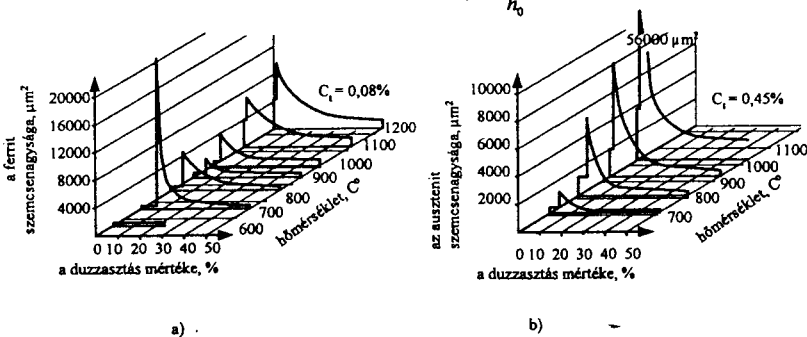
Az előzők alapján belátható, hogy az alakíthatóság nem elidegeníthetetlen tulajdonsága az anyagnak, ezért a különböző alakító műveletekkel a törés bekövetkezése nélkül elérhető alakváltozásokat az ún. technológiai vizsgálatokkal határozzák meg és ezek az adatok a szakirodalomban megtalálhatók. Így például lemezek mélyhúzhatóságát az ún. csészehúzó vizsgálattal, rudak zömíthetőségét zömíthetőségi vizsgálattal, stb. határozzák meg. Ezeket a gyakorlatban mutatjuk be.

Ha az alakítás a melegalakítás hőmérséklet-tartományában (az újrakristályosodási hőmérséklet fölött) történik, az egymást követő alakító műveletek (pl. a rud, szál keresztmetszetét csökkentő hengerlő műveletek, a „szúrások”) általában addig ismételtethők, amíg az anyag le nem hűl.

Az acélok melegalakításának kezdő hőmérséklete $1100-1200^\circ\text{C}$, a befejező hőmérséklete pedig az A_3 -nál nem sokkal nagyobb hőmérséklet. Az acél szemcsenagysága az alakítási hőmérsékletre való felhevítés és az ottani hőtartás során

elurvil. A melegalakítás hatására kialakuló szemcsenagyságot az úgynevezett melegalakítási újrakristályosodási diagramokon ábrázolják. A 1.10. ábrán két ilyen diagramot mutatunk be.

$$a \text{ duzzasztás mértéke, } \varepsilon_{ny} = \frac{\Delta h}{h_0}, \%$$



1.10. ábra

Két acél melegalakítási újrakristályosodási diagramja

Ha nagy hőmérsékleten kis mértékű alakítást végzünk – hasonlóan a hidegalakítás utáni újrakristályosító izzításról tanultakhoz – durva újrakristályosodás megy végbe. Finom szövetszerkezetű melegén alakított terméket akkor kapunk, ha $\varphi > 0,25$ mértékű alakításokat végzünk és az alakítást nem nagy hőmérsékleten, hanem az A_3 közelében fejezzük be.

Mivel a kis keresztmetszetű szálak és a vékony lemezek egyrészt a környezetnek sugárzással átadott, másrészt az alakító szerszámoknak hővezetéssel átadott hőmennyiség miatt gyorsan hűlnek, melegén nem alakíthatók gazdaságosan. A 6 mm-nél kisebb átmérőjű huzalokat ezért hidegen húzzák (1.6. ábra b részlete), a 3 mm-nél vékonyabb lemezeket és szalagokat pedig hidegen hengerlik.

Hidegalakításnál az alakváltozás következményei megmaradnak, így a hidegalakítás törés bekövetkezése nélkül megvalósítható mértéke korlátozott. Ha egészen vékony huzalt kell gyártani, akkor a gyártás során többször is (általában 5-6 húzásonként) újrakristályosító izzítást kell alkalmazni.

A hidegalakítás okozta keményedést, mint szilárdságnövelő hatást, ki is szoktuk használni. Ilyenkor előre megtervezzük, hogy az utolsó lágyítás után milyen mértékű hidegalakítást végzünk, tehát a kész méret és a megkívánt szilárdság ismeretében meghatározzuk, hogy az utolsó lágyítást milyen méretű félkészterméken kell elvégezni. Így ugyanaból az alapanyagból különböző szilárdságú lemezek, rudak, huzalok gyárthatók.

A hidegalakítás okozta keményedést a csavargyártásban is hasznosítani lehet. Ha a csavargyártás kiinduló anyaga a csavar száránál nagyobb, de a fejénél kisebb átmérőjű, tekercsben lágyított és foszfátzott acélrud, a szárat a gyártás során vékonyítjuk, a fejet zömítjük. $C=0,35\%$ karbontartalmú acélból 8.8. szilárdságú ($R_m=800 \text{ MPa}$, $R_{p0,2}=640 \text{ MPa}$) csavart gyárthatunk utólagos hőkezelés nélkül. Ha a csavart melegén alakítjuk, vagy forgácsoljuk, akkor az előző szilárdsági előírás

nemesítéssel érhető el, természetesen nemesíthető és az adott méreten átedződő alapanyagot kell alkalmazni.

A korábbi ökölszabály az volt, hogy a csavarokat és a hasonló alkatrészeket 1" (25,4 mm) nyersanyag átmérőig lehet hidegen alakítani, ugyanis az alakítógépek az ennél nagyobb méretű darabokhoz szükséges alakítóerőt (munkát, teljesítményt) nem voltak képesek biztosítani. Ma ilyen darabokat 2" nyersanyagátmérőig alakítunk hidegen.

Vannak olyan hidegalakítással készülő munkadarabok, amelyeket alakításuk során többször is újrakristályosító izzítással kell hőkezelní. Egy lágyacélból ($C=0,1\%$) készült géppisztoly lövedékhüvely gyártása során 3 újrakristályosító izzítás szükséges. A hüvely falát az utolsó lágyítás után még vékonyítják (falvékonyító mélyhúzás), hogy a löpor nyomását elviselje.

1.1.5 A súrlódás és a kenés

Az alakító szerszám és az alakított anyag között nyomás és relatív elmozdulás, súrlódás alakul ki (lásd az 1.6. ábrán is). A súrlódás hatásai az alábbiak:

- befolyásolja az anyag feszültségi és alakváltozási állapotát,
- növeli az alakítóerőt (1.36), az alakítási munkát és az energiaszükségletet,
- következménye a szerszám kopása, hibás kenésnél a szerszám berágódása,
- befolyásolja a termék felületének minőségét.

A súrlódást a szerszám és a munkadarab közé juttatott kenőanyaggal csökkentjük. Négy féle súrlódási állapotot különböztetünk meg.

- száraz súrlódás,
- határsúrlódás,
- vegyes súrlódás,
- hidrodinamikai súrlódás.

Száraz súrlódásnál a két fémtiszta felület között nincs semmiféle közbülső réteg. A szerszám és a munkadarab érdességcsúcsai állandóan összehegednek majd szétszakadnak. Határsúrlódáskor jelen van néhány molekulányi vastagságú nem-fémes réteg, szubmikroszkópos méretű tartományokban még a száraz súrlódási viszonyok is fennállnak.

Hidrodinamikai súrlódásnál a két fél közötti kenőanyagréteg távol tartja egymástól a kiálló érdességcsúcsokat is. Vegyes súrlódásnál a felületek egy részén határsúrlódás (a csúcsok összeérnek), ezek között pedig hidrodinamikai súrlódási állapot áll fent. A gyakorlati alakítóműveleteknél általában az utóbbi vegyes súrlódási állapot áll fenn.

A Coulomb féle súrlódási törvény szerint az F_n összeszorító, az F_s súrlódó erő és a μ súrlódási tényező közötti az alábbi összefüggés áll fenn:

$$F_s = \mu \cdot F_n. \quad (1.51)$$

Ebből a felületen a súrlódás okozta csúsztató feszültség a

$$\tau_s = \mu \cdot p = \mu \cdot |\sigma_n| \quad (1.52)$$

összefüggéssel írható fel, ahol p a szerszám és a munkadarab között ébredő nyomás.

$$\text{Ha } \mu \cdot p \geq k \quad (1.53)$$

ahol a k a nyírási folyáshatár (1.1. ábra), akkor az anyag nem csúszik a szerszámon, hanem hozzátapad és az elcsúszás az alakított anyagban következik be.

A lehetséges legnagyobb súrlódási tényező, ha $p=k_f$, ekkor

$$\mu_{\max} = \frac{k}{k_f} \quad (1.54)$$

írható fel. A Tresca-St. Venant elmélet szerint $k=0,5k_f$, a HMH elmélet szerint $k=k_f\sqrt{3}$. Ezekből a súrlódási tényezőre $\mu_{\max}=0,5$, illetve $0,577$.

Az alkalmazandó kenőanyag kiválasztásának főbb szempontjai: hőállóság, nyomásállóság, korróziós tulajdonságok, gazdaságosság, környezetvédelmi előírások.

A kenőanyagokat különböző szempontok szerint csoportosíthatjuk., úgymint:

- szilárd kenőanyagok: grafit, MoS_2 , fémszappan porok, méhviasz. Ezek a munkadarabra felvihetők por alakban, és olajos illetve vizes szuszpenziók formájában,
- zsírok, paszták,
- ásványiolaj származékok különféle adalékokkal,
- növényi olajok,
- vizes emulziók (víz+olaj+emulgeátor+adalékok).

Azoknál a hidegalakító eljárásoknál, ahol a szerszám és a munkadarab között igen nagy a felületi nyomás, a kenőanyagnak a szerszám és munkadarab közül való idő előtti kiáramlását ún. kenőanyaghordozó réteg felvitelével lehet meggátolni. Acélhuzalok gyártásánál ilyen réteget ad a mésztejbe mártás, majd megszáritás, de ennél is jobb a foszfátózás. A Fe és Mn tercier foszfátokat tartalmazó porózus réteg kiváló kenőanyaghordozó, réteges kristályszerkezetével ez a réteg mint szilárd kenőanyag is működik. Az acélok hidegfolytatása foszfátózás nélkül – a berágódás miatt – nem végezhető el.

Az alumínium hidegfolytatásánál (tubus- és palackgyártásnál) szilárd fémszappanport használnak (cink-, illetve káliumsztearát) kenőanyagként, amely az alakítás során kialakuló nyomás és melegedés hatására megolvad. Azért, hogy a kenőanyag ne áramoljon ki mindjárt az alakítás megkezdésekor a felületek közül, az előgyártmányokat, a tárcsákat koptatják. A koptatás során ezek egymáshoz verődnek szabadszemmel is jól látható mélyedéseket hoznak létre egymás felületén. A koptatás után ugyancsak dobban a darabok egymáshoz verődése közben hordják fel a por alakú kenőanyagot. A folytatás közben a koptatáskor keletkezett árkok lassan simulnak ki, s az ezekben „tárolt” innen kinyomódó kenőanyag biztosítja a kenést az alakító művelet végéig.

Acélok meleghengerezésénél és kovácsolásánál a nagy hőmérséklet miatt jó kenési feltételek biztosítása nehéz feladat, ezért itt a súrlódási tényező általában $\mu=0,35-0,45$. Hidegalakításnál jó kenésnél $\mu=0,05-0,1$ közötti értékeket mértek. Konkrét értékeket a vonatkozó szakirodalomban lehet találni.

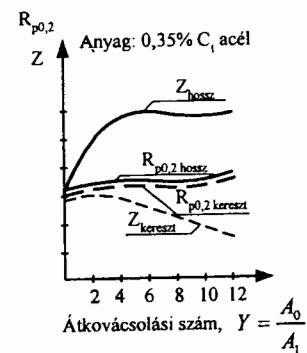
1.2 KOVÁCSOLÁS

A kovácsolás melegalakító eljárás. Az acélokat általában ausztenites állapotban, az A_f -nél nagyobb hőmérsékleten kovácsolják.

A gazdaságos gyártás egyik feltétele a technológiailag helyes gyártmány. A kovácsolás alapvetően kohászati technológia. A kovácsolt gépkatrészeket viszont gépszerkesztők, általában gépészmérnökök tervezik, ezért bizonyos mélységű kovácstechnológiai ismeretekkel kell rendelkezniük.

A kovácsolás célja egyrészt alakadás, másrészt a szilárdsági tulajdonságok javítása. Amikor egy alkatrész anyagát kovácsoljuk, az anyagjellemzők közül elsősorban a kontrakciót, az ütőmunkát és a kifáradási határt befolyásolhatjuk kedvezően. A 1.11. ábrán az átkovácsolási szám függvényében a kontrakció és a folyási határ, nyújtás irányában, illetőleg arra merőlegesen tapasztalható változását tüntettük fel.

Átkovácsolási szám alatt, nyújtásnál a kiinduló és kész keresztmetszet hányadosát



1.11. ábra

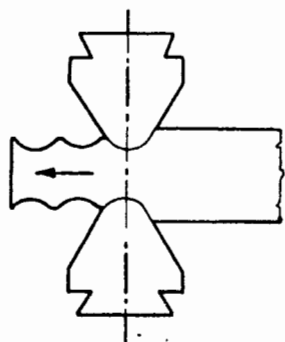
Az átkovácsolási szám és a mechanikai jellemzők kapcsolata nyújtásnál

($Y = A_0/A_1$) értjük, zömítésnél pedig a kész és kiinduló keresztmetszet hányadosát ($Y=e^{\epsilon}$). Értéke tehát mindig nagyobb egynél.

Mint azt a 1.11. ábra is jelzi, a lehető legnagyobb hosszirányú kontrakció érdekében nagy átkovácsolási számra kell törekedni. Az ábrából az is megállapítható, hogy a folyáshatár hossz- és keresztirányban körülbelül azonos értékű és növekedése mérsékelt. A kontrakció keresztirányban csak kb. háromszoros átkovácsolásig növekszik, azon túl pedig csökken. Az előzőkből következik, hogy nagy átkovácsolási számot csak olyan alkatrészek gyártásánál szabad előírni, amelyeknek igénybevétele a nyújtás irányával megegyezik. Ha az igénybevétel a nyújtás irányára merőlegesen is számottevő, az átkovácsolási szám kiválasztásánál a keresztirányú kontrakció változását is figyelembe kell venni. A kontrakcióhoz hasonlóan változik a kovácsolt anyag kifáradási határa is.

1.2.1 A szabadalakító kovácsolás alapműveletei

1.2.1.1 Nyújtás (szélesítés)



1.12. ábra
Nyújtás

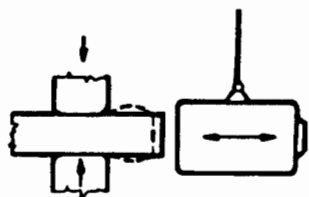
E művelet célja a munkadarab hosszának (szélességének) növelése, a keresztmetszet, illetve magasság egyidejű csökkentésével. Rendszerint nyújtó szerszámok között végzik az 1.12. ábrának megfelelően. Az anyag a kisebb ellenállás irányába áramlik; nyúlása tehát az ábrán feltüntetett nyíl irányban nagyobb lesz, mint a rajz síkjára merőlegesen. A szerszám lekerekítési sugarát növelve, a munkadarab szélesedése is nagyobb. A lekerekítési sugarat $r = 20-70$ mm között választják. A nyújtást, átfedő ütésekkkel kell végezni, ellenkező esetben simításkor rálapolások keletkezhetnek. Nyújtás után a munka-



1.13. ábra
Hengeres rúd nyújtása

darab felületét lapos, simító szerszámmal egyengetik. Hengeres darab nyújtásánál (1.13. ábra) a hengerből előbb négyszöget, aztán nyolcszöget kovácsolnak, majd a simítást hengerverőben végzik. A hengerverő olyan két félből álló kovácsszerszám, amelynek ürege a kész alkatrész sugaránál nagyobb sugarú.

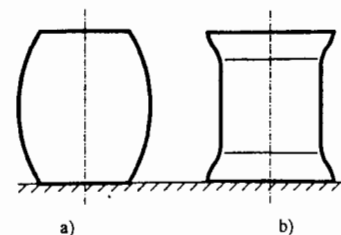
1.2.1.2 Duzzasztás



1.14. ábra
Duzzasztás döngölővel

A párhuzamos nyomólapok között elhelyezett munkadarab keresztirányú mérete az erőhatás növelésével növekszik, a magasság egyidejű csökkenése mellett. Ha a keresztirányú méretnövelés a kiinduló anyagnak csak bizonyos keresztmetszetében szükséges, akkor a duzzasztást helyi felmelegítéssel végzik. Nagy munkadarabok duzzasztását a medve és álló közé fogva, döngölővel végzik, 1.14. ábra.

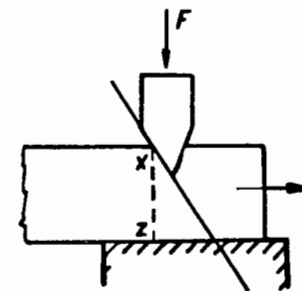
Az eddigiekből látható, hogy szabadalakító kovácsolásnál a munkadarab helyi zömítése igen nehézkes, ezért a fejes, illetve vállas munkadarabokat általában a fej, illetve a váll méretének megfelelő anyagból nyújtással kovácsolják.



1.15. ábra
Az ütés energiájának hatása a zömített darab alakjára

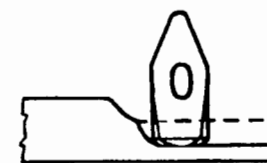
1.2.1.3 Vágás

A vágás célja: leszabás, egyes esetekben a felesleg eltávolításával alakadás. Hidegen és melegen is végezhető. Rideg anyag és nagy keresztmetszet esetén többnyire csak meleg vágást alkalmaznak. A vágott felület nem merőleges a munkadarab tengelyére. Az így adódó szerszám-eltolódásból származó anyagfelesleg csökkentésére a vágást két, illetve három oldalról végzik. (1.16. ábra).



1.16. ábra
Szerszám eltolódása vágásnál

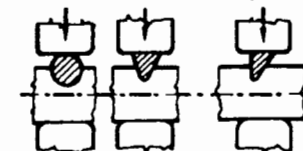
1.2.1.4 Vállazás és áttolás



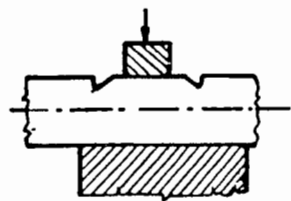
1.17. ábra
Keresztmetszet-átmenet vállazás nélkül

lekerekítési sugárral készülnek, hogy a munkadarabot nyújtsák, de a szálakat ne vágják át. Ha a vállat mélyen kell kialakítani, akkor fokozatosan csökkenő sugarú szerszámmal, majd nyújtó vassal végzik az alakítást (1.18. ábra, 1.19. ábra).

Nyújtással határozott keresztmetszetváltozást nem lehet elérni (1.17. ábra). Annak érdekében, hogy a keresztmetszetváltozás a megkívánt helyen keletkezzék és a kialakított homlokfelület lehetőség szerint merőleges legyen a nyújtás irányára, vállazni kell. A vállazáshoz vállzó vasakat használnak, amelyek olyan

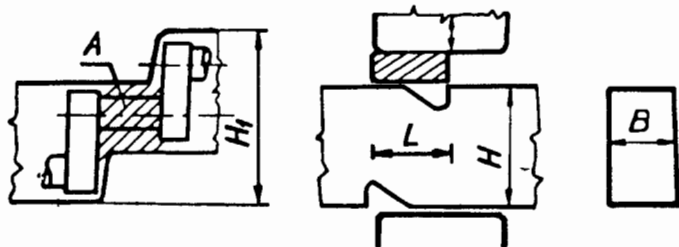


1.18. ábra
Vállazás, vállzó vasakkal



1.19. ábra
Alakítás nyújtó vassal

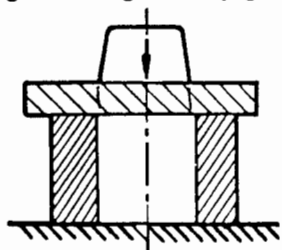
Főleg forgattyústengely gyártásánál szükséges két szomszédos rész tengelyvonalát egymáshoz képest eltolni. Az ilyen műveletet áttolásnak nevezik. A műveletet hidraulikus préseken végzik a 1.20. ábrának megfelelően.



1.20. ábra
Áttolás

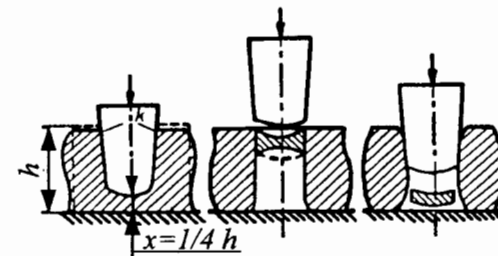
1.2.1.5 Lyukasztás

A lyukasztás egy, vagy két oldalról végezhető. Az első esetben a lyuk teljes térfogatának megfelelő anyagmennyiség hulladékba kerül (1.21. ábra).



1.21. ábra
Lyukasztás egyoldalról, nyírásos vágással

Ha a lyukasztást két oldalról végzik, a lyuk térfogatának megfelelő anyagmennyiség jelentős része a lyukasztó tüske elől oldal irányban kitér, csak bizonyos százaléka nyíródik el és kerül hulladékba (1.22. ábra). A két oldalról végzett lyukasztás után, elején kúpos tágitó tuskét kell a nyíláson átkényszeríteni.



1.22. ábra
Lyukasztás kétoldalról

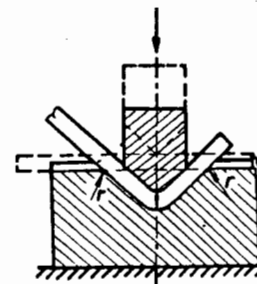
Abban az esetben, ha a furat átmérője 450 mm-nél nagyobb, illetve a hossza meghaladja a másfél métert, a lyukasztást türeges tükével végzik. Előnye az ilyen lyukasztásnak, hogy az öntecs középső, szennyezőkben dús részét eltávolítják.

1.2.1.6 Hajlítás

A hajlítást megfelelő idomdarab, görgő vagy hajlító szerszám felhasználásával végzik. Gépi hajlításkor hajlító szerszám alkalmazása szükséges (1.23. ábra). Nagy munkadarabok hajlítását kalapácsba fogva, daruval végzik.

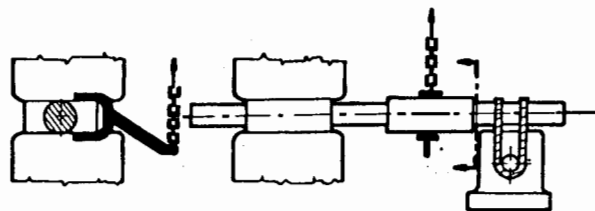
1.2.1.7 Csavarás

Bizonyos munkadarabok egyes részeit egymáshoz képest el kell csavarni. A nyugvócsapok csavarásával gyártják például az 5, 6 és 8 hengeres motorok forgattyústengelyét. A csavarás erősen igénybe veszi az anyagot. Csavarás előtt a felületi repedéseket forgácsolással el kell távolítani.



1.23. ábra
Hajlító szerszám

A kis darabokat satuba fogva kézi szerszámmal csavarják, a nagy munkadarabok csavarását a kalapács üllője és medvéje közé fogva, csavaró villával, daru segítségével végzik, miközben a szabad véget megfelelő tömegekkel leterhelik (1.24. ábra).



1.24. ábra
Forgattyús tengely elcsavarása

1.2.1.8 Kovácshegesztés

A szolidusz közelébe hevített darabokat a felület megtisztítása után összeillesztik és összekovácsolják. Az így előállított kötés jósági foka kedvező esetben 85-90%. A kötés megbízhatósága azonban eléggé változik. A kis karbon tartalmú acélok ($C < 0,2\%$) hegesztése közben nehézség nincs. Ha a karbon tartalom 0,2-0,5% közötti, a hegesztendő felületek közé lágyvas reszeléket szórva lehet a hegesztést elvégezni. Nagyobb C -tartalmú ötvözött acélok, ha felületük dekarbonizálódott, szintén összehegeszthetők. A mangán tartalom 0,8%-ig nem befolyásolja a hegesztés minőségét, ennél nagyobb Mn tartalom azonban a salak viszkozitását növeli és a zárányvesztélyt fokozza. A hegeszthetőséget nem befolyásolja a $Cu < 0,5\%$, a Ni javítja, a Cr és a W rontja.

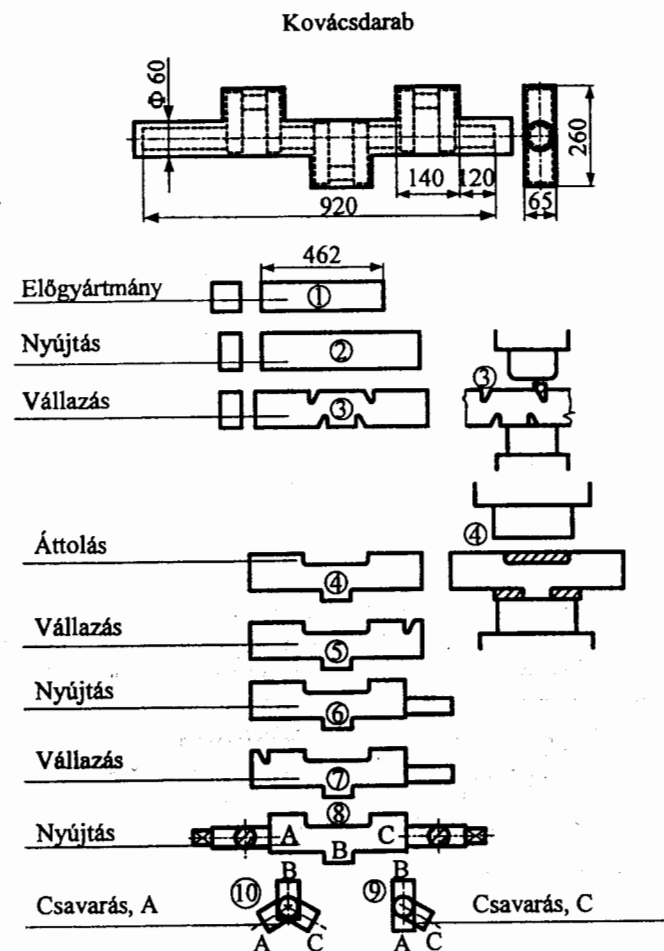
A kovácshegesztés minőségét a hegesztett darabok közé zárt salak mennyisége határozza meg. Javítja tehát a kötést minden olyan művelet, amely a salak mennyiségét a kötésben csökkenti. Jó hatásúak a dezoxidáló és folyósító szerek, mert a salakot híg folyóssá teszik és hegesztés közbeni kifirccsenését elősegítik. Javítja a kötés minőségét a munkadarabok illesztésekor a felületnek a salak kiáramlását elősegítő – például domború kiképzése.

A szabadalakító kovácsolás jellegzetes példaként egy háromhengeres motor főtengelyének kovácsolását az 1.25. ábrán mutatjuk be. A forgattyúkarok közötti anyagrészt forgácsolással távolítják el.

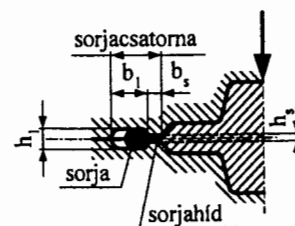
1.2.2 Süllyesztékes kovácsolás

A süllyesztékes kovácsolásnál a munkadarab (az anyag és a szerszám hőtágulásának figyelembevételével meghatározott) negatívját munkálják a szerszám és kovácsolással a kész munkadarabot állítják elő. A szerszám általában kettő, néha három részből áll, kivitelét tekintve nyitott (1.26. ábra), vagy zárt (1.27. ábra) süllyeszték. Nyitottnak az olyan szerszámot nevezzük, amelyből az anyagfelesleg eltávolítható a sorjacsatornába.

Nyitott süllyesztéknél a munkadarabot sorja övezi az osztás mentén, mert a kiinduló darab térfogata nagyobb a késznél. A sorja, fékezve az anyag süllyesztékből történő kiáramlását, elősegíti a jó üregtöltést. A sorjacsatorna típusait és méreteit szabvány tartalmazza.



1.25. ábra
Motor főtengely szabadalakító kovácsolása



1.26. ábra
Nyitott süllyeszték zárt sorjacsatornával

A sorja vastagsága (h_s) a kovácsdarab geometriai méreteiből számítható, a sorjacsatorna többi méretét h_s függvényében táblázatosan tartalmazza a szabvány.

A nyitott süllyesztékek készülhetnek zárt, vagy nyitott sorjacsatornával. A kalapácson és frikciós csavarsajtókon használt süllyesztékek zárt sorjacsatornával készülnek (pl. 1.26. ábra). Itt az alakítás végén a süllyesztékek osztási felülete összeér, „összecseng”, mivel a

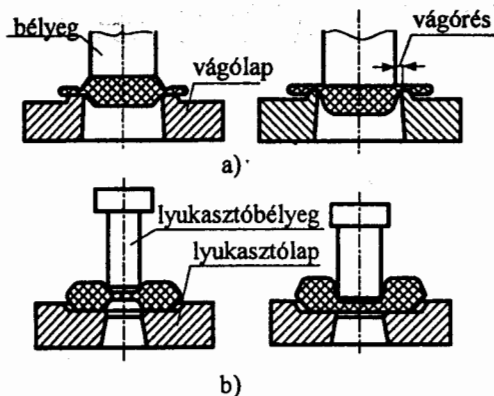
darab magassági méretei így határozhatók meg.

A mechanikus kovácsajtók forgattyús mechanizmusa a szerszám alsó holtponyi helyzetét meghatározza, így itt nincs szükség arra, hogy az osztási síkok összefükdjenek, ezért az ilyen súllyesztékek nyitott sorjacsatornával készülnek; azaz a szerszám zárt állapotában a sorja-hídon kívül a súllyesztékfelek között h , nagyságú rész van.

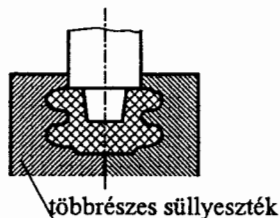
Az üregtöltést a munkadarab konstrukciós kialakítása, valamint az alkalmazott alakító gép illetve az alkalmazott alakító gép is befolyásolja. Az osztásra merőlegesen tagolt munkadarab felső részét a fröccsenő anyag jobban kitölti, ezért ezeket kalapácson célszerű gyártani.

Az üreg kitöltése a nyitott súllyesztékben három fázisra bontható. Az első fázisban az üregben elhelyezett anyag addig zömül, amíg az anyag a súllyeszték oldalfalaival nem érintkezik. Ezt a fázist a sorjaképződés megindulása követi, és végül a harmadik fázisban a sorja elvékonyodásával a teljes üregtöltés befejeződik.

A kész munkadarabról a sorját a kivágó szerszámokhoz hasonló felépítésű, a 1.28. ábrán látható sorjázó szerszámokban nyírják le. A sorjázás történhet közvetlenül a kovácsolás után, melegen, de főleg kis kovácsdaraboknál történhet hidegen is. A súllyesztékes kovácsolással gyártott munkadarabok pontosak, felületük sima, szálfutásuk kedvező.

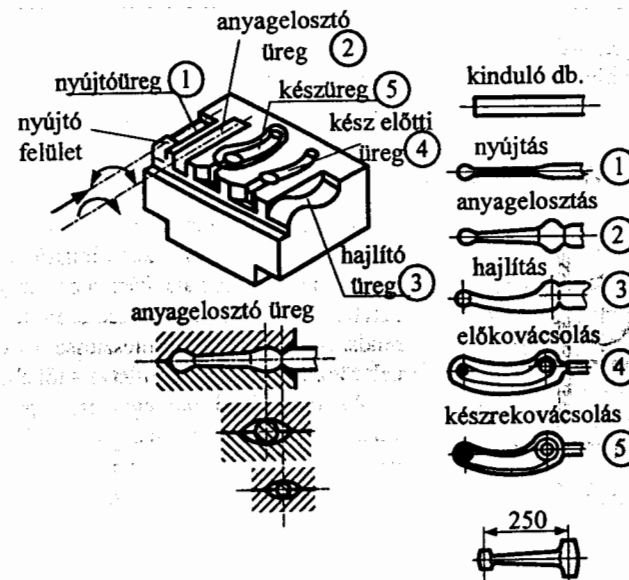


1.28. ábra
Sorjázó szerszámok



1.27. ábra
Zárt súllyeszték

Előalakítás egyszerűbb kialakítású üregekben. A többüreges kovácsolás előalakító és készre alakító üregeit egy pár súllyesztéktömbbe munkálják bele, így az alakítás egy meleggel ugyanazon a gépen történhet. A többüreges kovácsolás egy jellemző példája, a hajlított emelő műveleti rajzai és annak súllyesztéke láthatók az 1.29. ábrán. Az alakítást kalapácson végzik. Az előmelegített rudanyag nyújtását (1) a nyújtó üregben végzik több ütessel; az anyagot az ábrán berajzolt tengelyvonal irányában tartva, az ütések között 90° -kal elfordítva és a nyújtó felület hosszirányú méreténél kisebb értékkel előtolva. A nyújtott rész tehát négyzet szelvényű. Az anyagelosztást (2) a metszeten is látható anyagelosztó üregben végzik, több ütessel, az anyag forgatása közben. Az anyagelosztó üreg nem forgástest alakú, így itt sorja nem keletkezik.



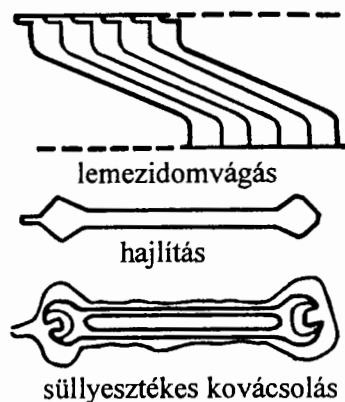
1.29. ábra
Hajlított emelő többüreges kovácsolása

A hajlítást (3) egy ütessel végzik. A kész előtti üregben (4), egy vagy több ütessel a munkadarabot a készalaktól csak kissé eltérő alakúra kovácsolják. A magassági méretek kissé nagyobbak, a szélességi méretek kisebbek a kész darab méreteinél. A ferdeségek is nagyobbak a kész darab ferdeségeinél. A kész előtti üregnek nincs sorjacsatornája.

A kész üregben (5) kis mértékű alakítás (zömítés) következik be, így az üreg kevésbé kopik, a súllyeszték élettartama tehát nagy. A munkadarabot másik gépen, sorjázó szerszámban sorjazzák.

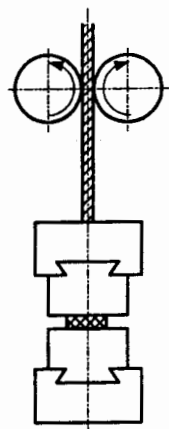
A kovácsolással kapcsolatban néhány általános érvényű megjegyzés:

- Megfelelően végzett darabolás az előalakítás megtakarítását is célozhatja. Ilyenkor azonban a szálfutás nem mindig a legkedvezőbb (1.30. ábra).
- Bizonyos esetekben az öntés és kovácsolás előnyei összegezhetők, öntött előgyártmány süllyesztékes kovácsolásával.
- Az utóbbi időben rohamosan fejlődik a „porkovácsolás”, amely porkohászati úton készített előgyártmányok kovácsolásával, bonyolult alakú és pontos kovácsdarabok előállítását teszi lehetővé.



1.30. ábra
Előalakítás süllyesztékes kovácsoláshoz, szalagból végzett darabolással

1.2.3 Kovácsoló gépek



1.31. ábra
Léces ejtőkalapács

A gépi kalapácsok mozgó szerszámtartóját *medvének*, helyálló szerszámtartóját *tökének* (sabot) nevezik. Az alakítást végző szerszámok a betétek illetve a süllyesztékek cserélhető módon, rendszerint fecskefarok illesztéssel és ékkel vannak rögzítve a medvébe, illetve a tökébe.

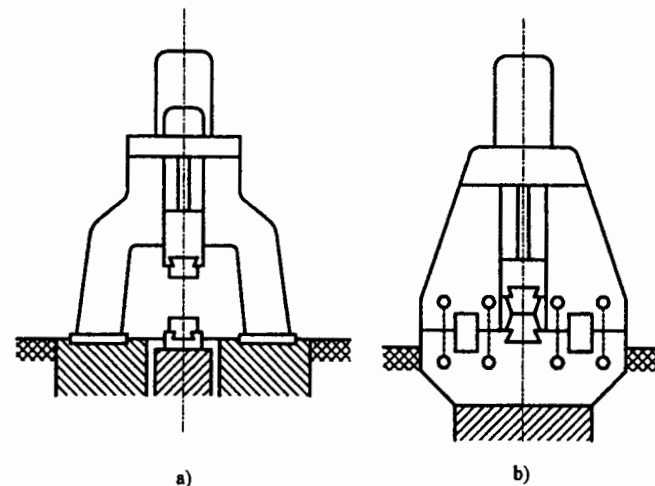
Az *ejtőkalapácsok* egyszerű típusának elvi vázlatát a 1.31. ábra tünteti fel. A lécre erősített medvét az egymással szemben forgó tárcsák emelik fel, ha azokat a vonórúddal összeszorítják. Távolításkor a kalapács leüt és tömegével, valamint esési magasságával arányos munkát végez. Az ilyen ejtőkalapácsokat süllyesztékes kovácsoláshoz, pl. az evőeszköz gyártásban hasznosítják.

A nagyméretű gőzkalapácsok 5-15 t nagyságú medvéjét a gőz nyomása emeli fel. A medvére szerelt rudazat végén lévő dugattyú alsó gőzbevezetés esetében a medvét felemeli, felső gőzbevezetés esetében a gőz nyomása az ütés erejét

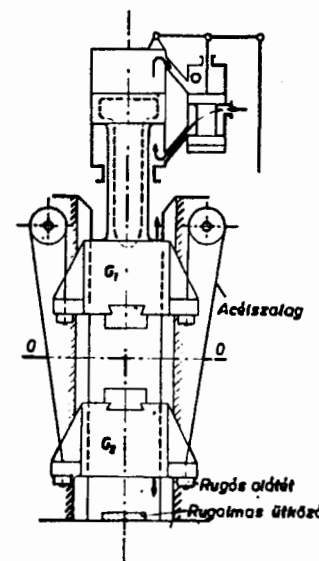
növeli.

A gőzkalapácsok lehetnek nyújtó kalapácsok, illetve süllyesztő kalapácsok. A két alaptípus az 1.32. ábrán látható. A nyújtó gőzkalapácsoknál az álló külön alapozást kap, míg a süllyesztő kalapácsnál a medvevezeték és töke egyetlen masszív és megfelelő vonórudakkal megerősített keretbe van foglalva. Ez utóbbi megoldás-

ra a medve pontosabb vezetése miatt van szükség. E célból a medvevezetékek ékekkel, vagy csavarokkal utánállíthatók.



1.32. ábra
Gőzkalapácsok; a) nyújtó gőzkalapács; b) süllyesztő kalapács

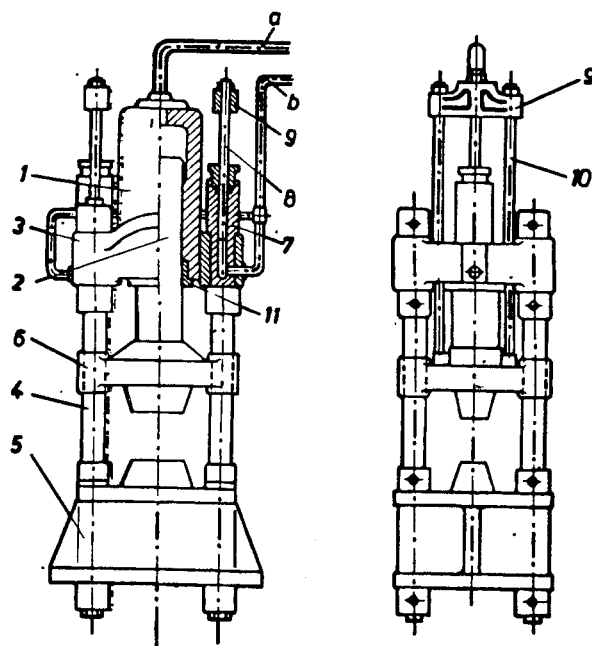


1.33. ábra
Ellenütős kalapács

Süllyesztékes kovácsolásra legalkalmasabb típus az *ellenütős*, vagy *kétmedvés* kalapács (1.33. ábra).

A felső medve a dugattyúrúddal és dugattyúval jó minőségű ötvözött acélból kovácsolással, vagy öntéssel készül. Az alsó medve a felső medvével görgőkön átvetett acélszalagokkal van összekötve; ezáltal a felső medvével ellentétes mozgást végez. Az alsó medve kissé nagyobb súlyú a felsőnél, hogy a medvék ütés után gőzbevezetés nélkül is szétnyljanak. A felül bevezetett gőz, vagy sűrített levegő nyomása adja az ütesi energiát. A kétmedvés kalapács előnye, hogy az ütések közvetlenül nem terhelik az állványzatokat, így nem szükséges nagy alapozás. A mozgási energia ebben a kalapácsban alakul át a legjobb hatásfokkal alakítás

munkává, mert nincs a rugalmas visszahatás és a talajmozgás következtében határfok romlás. Hátrányuk, hogy a két medve lökete és így azok végsebessége is viszonylag kicsi, (3-4 m/s). Csak súllyesztékes kovácsoláshoz alkalmazható.



1.34. ábra
Hidraulikus kovácssajtó

A hidraulikus kovácssajtó vázlata az 1.34. ábrán látható. Fő alkatrészei a keret, amely 4 acéloszlopból (4), valamint acélöntvényből készült felső-, (3) és alsó (5) sűveggerendából áll. A felső sűveggerendába van beépítve a nyomóhenger (1). Az „a” csövön bevezetett nagynyomású víz a búvárdugattyú (2) közvetítésével lefelé mozgatja a nyomólapot (6), amelyet az oszlopok vezetnek. A kis vízterű emelőhengerek (7) a „b” csövön kapják a nagynyomású vizet és a dugattyúk (8), keresztfejek (9), valamint a vonórúdak (10) közvetítésével a felső nyomólapot felfelé emelik és így a szerszámot nyitják.

A hidraulikus sajtóknál használt leggazdaságosabb víznyomás 30 MPa (300 bar). Nagyobb nyomásnál tömítési problémák adódnak, kisebb nyomásnál a gép méretei megnőnek. A mai legnagyobb hidraulikus kovácssajtó 700 GN erő kifejtésére képes és vele 250 t tömegű tuskók alakíthatók.

A kovácsolás és sajtolás összehasonlítása képet ad a felhasználási területük és a megmunkált anyag tulajdonságaira gyakorolt hatásokról.

Az alakítás hatásözvelete a kovácsolásnál jóval kisebb, mint sajtolásnál. Kovácsolásnál ugyanis a gyorsan ütő kalapács alakító hatása az anyagnak csak egy, a kalapács és tárgy méretétől függő vastagságú rétegének alakítására terjed ki. Minél kisebb a kalapács a tárgyhöz képest, annál vékonyabb rétegre terjed ki annak ala-

kító hatása. Az ütés sebességének növelése következtében megnövekedett alakítási szilárdság is csökkenti az alakítás mélyrehatolását.

Sajtolásnál ezzel szemben az alakítás lassú, de állandóan ható, egyenletes erővel történik, és így gyakorlatilag az alakítás átterjed a keresztmetszet legbelső részeire is. Sajtolásnál tehát nagy keresztmetszetű tuskók is teljes keresztmetszetükben alakíthatók. Ezért a legnagyobb méretű tuskókat előbb mindig hidraulikus kovácssajtókon alakítják. Sajtolással készülnek az egy darabból kinyújtott hajógépjármotor forgattyús tengelyek, a nagy áramfejlesztő forgórészek, az ágyúcsövek stb. Így lehet biztosítani a nyers tuskók egyenlőtlen, belsejükben nagymértékben eldurvult szemcséjű acélanyagának szemcsefinomító, a gázzárványokat bezáró (összehegesztő) és salakot elnyújtó képlékeny alakítását.

Közepes méretű darabok súllyesztékes kovácsolására fix lökethosszúságú forgattyús sajtókat (Maxima) is alkalmaznak.

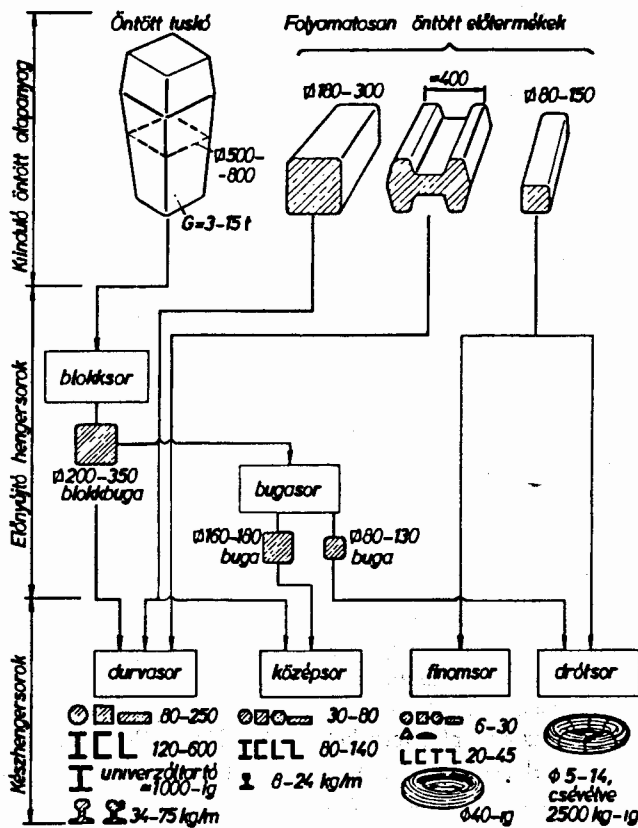
1.3 HENGERLÉS

1.3.1 A hengerlés elvi alapjai

A hengerlést, mint technológiai folyamatot úgy lehet jellemezni, mint a forgó hengerekkel folyamatossá tett nyújtó kovácsolást. Az acélgártás végterméke az öntött tuskó, illetve a folyamatosan öntött termék (szál), amelynek további feldolgozása a kovácsoláson és a sajtolásán kívül történhet hengerléssel is. Hengerléssel nyerjük az ún. félkész árut, pl. lemezeket, rudakat, idomacélokat, stb. (1.35. ábra). A hengerlésnek is célja – mint a kovácsolásnál láttuk – az alakadáson kívül a minőség javítása. A hengerlés az acélban levő salakzáródmányokat elnyújtja, illetve összetöri, az ellapuló gázüregeket összehegeszti. Ezzel a tömörséget, a szemcsefinomítás révén pedig a szívósságot növeli. A legnagyobb szívósságot a melehengerelés akkor biztosítja, ha az alakítás befejezésének véghőmérséklete az A_3 -nál valamivel nagyobb. Amennyiben a hengerlés véghőmérséklete A_3 -nál jóval nagyobb, úgy a hengerlés során finomra rekristallizált szemcsék megnövekednek, eldurvulnak.

A hengerlés művelete abból áll, hogy az 1.36. ábrán vázlatosan feltüntetett alakítandó anyagot két egymással szemben forgatott henger közé vezetjük, azaz *beszűrjük*. A darab és a hengerpalást között keletkező súrlódás a darabot a hengerek közé húzza, majd a hengerrés vastagságának megfelelő méretűre nyújtva a darabot a hengerek kitolják. A hengerlés alakító hatása tehát az 1.36. ábrán bejelölt *AC* és *BD* palástívek között érvényesül.

Ahhoz, hogy a hengerek a darabot maguk közé behúzzák, a hengerátmérő (D), a darab eredeti (h_1) és csökkent (h_2) vastagsága között meghatározott összefüggésnek kell fennállnia. Az 1.36. ábra szerint a sugárirányú N nyomóerő, $N \cos \alpha$ függőleges és $N \sin \alpha$ vízszintes összetevőre bontható. A súrlódóerő a felületre merőleges N erő és a súrlódási tényező (μ) szorzata.



1.35. ábra

Rúdacélt, idomacélt és hengerhuzalt gyártó hengerek kapcsolata a kiinduló és késztermékekkel

Ennek vízszintes komponense $\mu N \cos \alpha$. A hengerek akkor húzzák be a darabot, ha

$$\mu \cdot N \cdot \cos \alpha \geq N \cdot \sin \alpha. \quad (1.55)$$

Ebből a

$$\mu \geq \operatorname{tg} \alpha \quad (1.56)$$

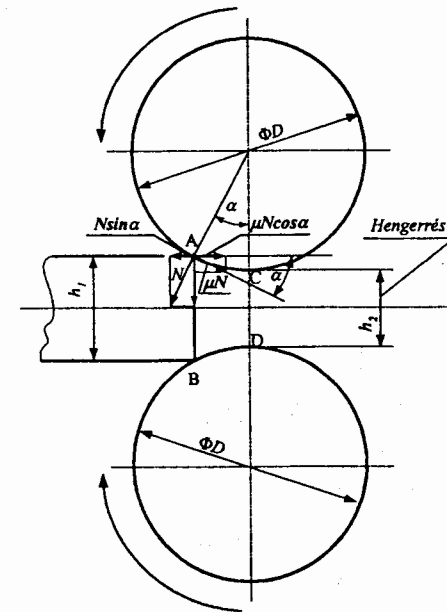
következik. A súrlódási kúp félnyílásszöge ρ és a μ között a

$$\operatorname{tg} \rho = \mu \quad (1.57)$$

kapcsolat állfenn, így a behúzás feltételére a

$$\operatorname{tg} \rho \geq \operatorname{tg} \alpha \text{ azaz } \rho \geq \alpha \quad (1.58)$$

összefüggés származtatható.



1.36. ábra

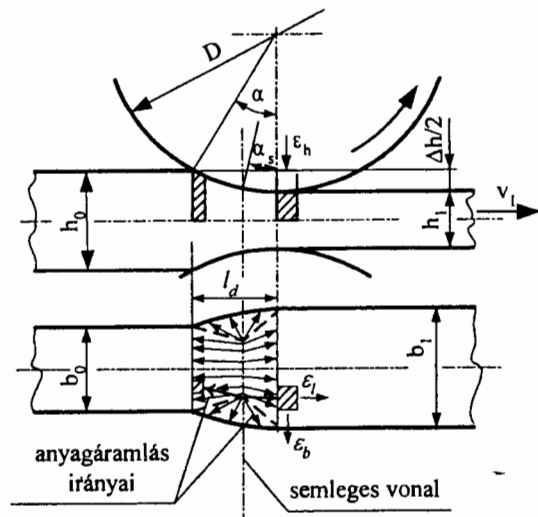
Vázlat a behúzás feltételének meghatározásához

A behúzás feltétele tehát az, hogy a D, h_1, h_2 által meghatározott α szög kisebb legyen a súrlódás félkúpszögénél. A gyakorlat szerint a behúzás határa érdes hengervegület esetében: $\alpha=25^\circ$, sima hengereknél $\alpha=20^\circ$.

A hengerek által az anyagra kifejtett alakító erőt *nyomásnak* nevezik. A nyomás folytán a hengerelt áru magassága jelentősen csökken, szélessége kissé nő (1.37. ábra), keresztmetszete csökken. A bemenő és kifutó keresztmetszetek különbségének a bemenő keresztmetszethez viszonyított hányadosát *fogyásnak* nevezik.

A hengerlés kezdetekor a nagyobb hőmérsékletnek megfelelő kisebb alakítási szilárdság miatt a gazdaságosság fokozására nagyobb (50%), a végén a hűlésben levő anyagnál már kisebb fogyást alkalmazunk. Az átlagos fogyás 20-30%.

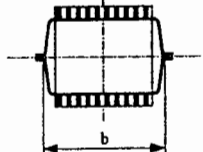
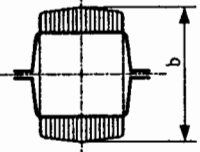
Az 1.37. ábrán bejelöltük a „semleges vonalat”. Ebben a hengerpalást és az anyag nem csúszik egymáson. Az ettől jobbra eső anyagrésszel előre siet, a balra levő anyagrésszel lemarad. Ennek, valamint a nagy súrlódási tényezőnek következménye a hengerek kopása.



1.37. ábra
A szélesedés hengerléskor

1.3.2 Rúd- és idomacélok hengerlése

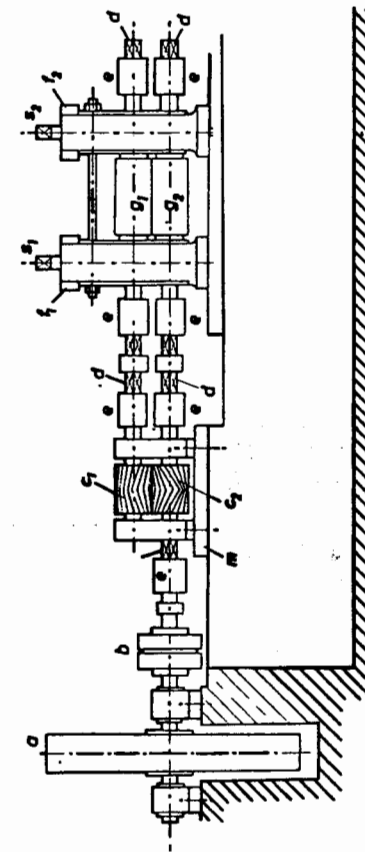
Megkülönböztetünk nyílt üregű és zárt üregű hengerlést. Általában nyílt üreget alkalmaznak. Az 1.38. ábrán a szekrény-szekrény üregezés elvét mutatjuk be.

Üregrendszer	szekrény-szekrény	
	lapos szekrény	négyzetes szekrény
Üregalak	lapos szekrény	négyzetes szekrény
Beszúrt szelvényalak	négyzet	téglalap
A szűrés vázlat		

1.38. ábra
Szekrény-szekrény üregezés

Az első üreg négyzet szelvényből téglalapot hengerel, majd ebből a következő üreg – 90°-kal elfordítva beszűrve – négyzet szelvényt hengerel. Ez ismétlődő, így nagy keresztmetszet-csökkenés érhető el. Az üregek túltöltése az egymást követő üregek helyes megtervezésével, az „üregezással” kerülhető el. Csak megemlítjük, hogy a nyújtás más üregezelvényekkel négyzet-ovál-négyzet, kör-ovál-kör és így tovább is végezhető.

A hengerlés gépi berendezését *hengernak* nevezik (1.39. ábra). A sorvonógép forgatja a lendkereket (a). A tengelykapcsoló (kuplung) (b) után kapcsolóhüvely (e), majd a pörgőállvány a nyílásfogazású fogaskerekekkel (c₁, c₂) látható. Jobb oldalt található a hengerállvány (f₁, f₂), mely a hengerek (g₁, g₂) állítható csapágyait tartalmazza. A laza illesztésű kapcsoló hüvelyek (e) a felső henger állítását teszik lehetővé.



1.39. ábra
Hengernak

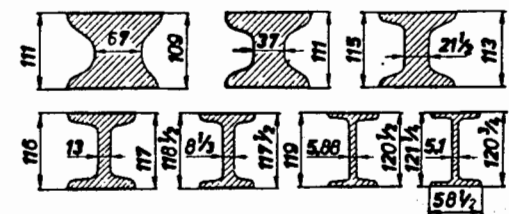
A legegyszerűbb hengerállvány két hengert tartalmaz és ezt duó-járatnak hívjuk (lásd 1.36. ábra). Állandó forgásirány mellett a hengerelt darabot mindig át kellene vinni a beszűrési oldalára. A duó-járat holtidejét a forgásirány változtathatóvá tételével, reverzáló duó hengerállvánnyal lehet csökkenteni.

A hármas, vagy *trio-járat* állványában az 1.40. ábra szerinti 3 henger van egymás fölé helyezve, amelyek páronként egymással szembe forognak. Előnye, hogy üresjárat nincs, a darab nem hűl le olyan hamar, mint a duó-járatnál.

Hátránya, hogy üreges hengerlésnél a felső hengerpár üregezését az alsó hengerpár üregezésével egybe kell hangolni, és a középső henger kopása kétszerese a szélső hengerek kopásának.

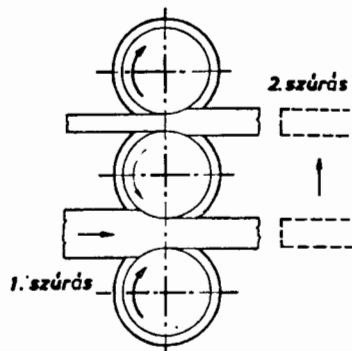
A 1.41. ábra I-idomacél triójáraton végzett hengerlésénél a hengerelt keresztmetszeteket tünteti fel. Az ábrán jól megfigyelhető a triójárat miatt, az egyes hengerelt keresztmetszetek szimmetria hiánya.

Az idomacélgyártás legnehezebb feladata a hengerek üregezésének a megszerkesztése. Az üregek tervezésénél el kell érni, hogy a hengerelt



1.41. ábra

Az I idomacél üregezése



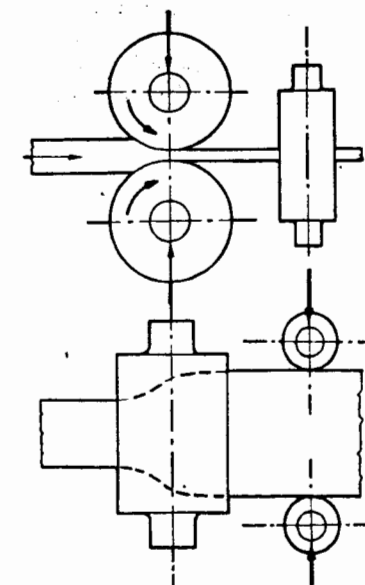
1.40. ábra

A triójárat hengerei

idom keresztmetszetének különböző helyein a fajlagos magasságcsökkenés ne legyen nagyon eltérő. Idomacélok (pl. I-tartó) hengerlésénél az első szűrásokban, ahol az anyag hőmérséklete nagy, így képlékenyebb, nagyobb eltéréseket engednek meg. A fogyás mértéke a hengerlés befejeztéig állandóan csökken. Mivel a hengerelt anyag hossznövekedése arányos a fogyással, az egyes idomkeresztmetszeten belüli fogyás különbségek a hossznövekedés különbségéből adódó feszültségek miatt esetleg az anyag elszakadásához vezetnek. Ezért rosszul tervezett üregezésnél előfordul, hogy az I-szelvény gerince és öve elszakadva fut ki a hengerek közül.

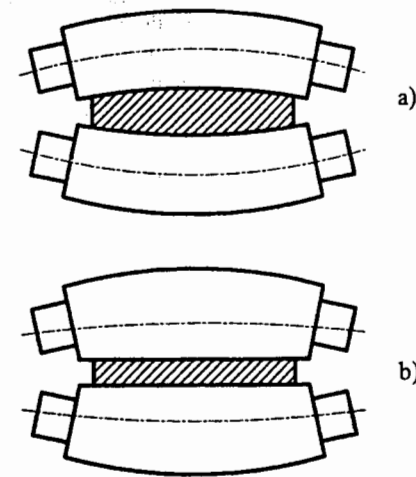
Nagy termelékenyséjük az ún. folytatólagos hengersorok. Itt a hengerállványok egymás mögött (pl. horizontális, vertikális, horizontális, stb. tengelyekkel vagy x elrendezésben) vannak. Az anyagszálat egyszerre több hengerpár alakítja. A hengerállványok közötti hurokképződést, illetve az anyag elszakadását precíz üregezéssel, az anyagnak az állványok közötti 1-2%-os nyúlását betervezve kerülnek el. Ezt főleg kis átmérőjű hengeres anyagok, a „hengerhuzalok” gyártásánál alkalmazzák.

Laposacél, illetve keskeny szalag hengerlésnél az alakítás nem csak a lemez hosszát, hanem kisebb mértékben a szélességét is növeli. A szélesség meghatározott méreten tartható az *universal hengersorral* (1.42. ábra).



1.42. ábra

Universal hengersor



1.43. ábra

Lemez hengerlés; a) Lemez vastagodás a hengerek elhajlása miatt b) Bombirozott hengerek

Ennél a berendezésnél a nyújtó hengerpár hatása alól kikerülő szélesedett szalag szabálytalan széleit a függőleges tengelyű hengerpár hengerli szabályos sima felületűvé.

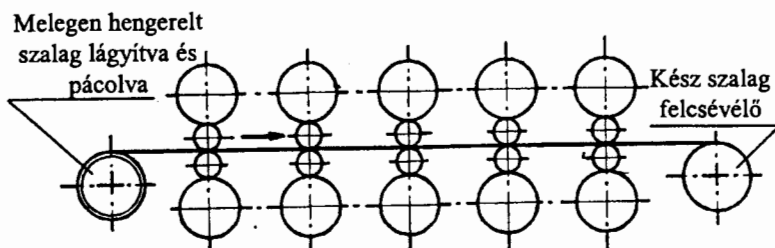
1.3.3 Lemezhengerlés

Lemez hengerlésénél, ha a hengerátmérő nagy és a lemezvastagság kicsi, úgy alakításkor a nyomó vizsgálatnál megismert kötöttség lép fel. A fellépő kötöttség az anyag nyújthatóságát gátolja és a nyomóerőt növeli. A nagy nyomóerő a hengerek elhajlását okozza, aminek következtében a hengerelt lemez közepén vastagabb lesz, mint a széleken. A jelenséget a méretek eltűzésével az 1.43. ábra tünteti fel. A hengerelt lemezek egyenlőtlen vastagsága megleghengerléskor elkerülhető a hengerek *bombirozásával* (1.43. ábra b részlete). A bombirozott henger a hengerléskor fellépő nyomás hatására olyan mértékben hajlik el, hogy a hengerpalást alakítást végző mindenkori alkotója kiegyenesedik. Ezzel a lemezvastagság állandó marad.

1.3.4 Szalagok hideghengerlése

2 mm-nél vékonyabb lemezek, szalagok melegen nem hengerelhetők, mert az anyag a hengerek között gyorsan elhűl. A vékony szalagokat hidegen hengerlik.

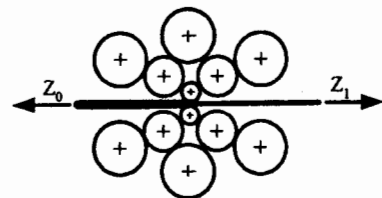
Ma már a táblalemezeket is úgy gyártják, hogy széles-szalagot hengerelnek hidegen és ebből a táblákat ollókkal végzett darabolással állítják elő. A lemezekben keletkező kötöttség elkerülésére a hengerátmérőt a lemezvastagságnak megfelelően csökkenteni kell. Mivel a hideg-hengerlésnél az alakítási szilárdság nagyságrenddel nagyobb, így a hengerre ható erő is nagyobb, mint melegalakításnál. A kis átmérőjű henger e nagy erő hatására elhajlana, ennek elkerülésére nagyobb átmérőjű hengerekkel megtámasztják. Meghajtást csak a dolgozó hengerpár kap, a támasztó hengerek szabadon forognak. A felületi simaság érdekében a hengereket tükörfényesre polírozzák. A hengerek anyaga edzett Cr-acél.



1.44. ábra

Fényes szalag folyamatos hideg hengerlése

Fényes szalag modern gyártását, folyamatos hideg hengerlését az 1.44. ábrán követhetjük. A kiindulásul szolgáló szalag hosszúsága olyan nagy, hogy dobra felcsévélt állapotban helyezik a folyamatosan hengerlő támasztóhengeres *quatró-sorra*. Az egymás után következő hengerek fordulatszáma a lemez hossz-növekedésének megfelelően növekedik.



1.45. ábra

Lemzhengerlés hidegen, 5-5 támasztó hengerrel

a hideg hengerlés fokozatai közé iktatott újrakristályosító izzítással csökkentik. Ezeket a hőkezeléseket revementességet biztosító, védőgázzal ellátott újrakristályosító kemencékben végzik.

A mai szélesszalag hengeroszlokon a lecsévéltő dobót fékezik (z_0) a felcsévéltő dobót meghajtják (z_1), a szalagot ezzel hosszirányban meghúzzák, aminek hatására

Hideg hengerlés közben – mint láttuk – a vékonyodó lemez hideg keményedést szenved. Az emiatt megnövekedett alakítási ellenállás a támasztó-hengerek számának növelését igényli a 0,5 mm-nél vékonyabb lemezek hideg hengerlésénél (1.45. ábra). A borotva penge szalagja 9 pár támasztó-hengerrel hengerelhető 0,1 mm vastagságúra.

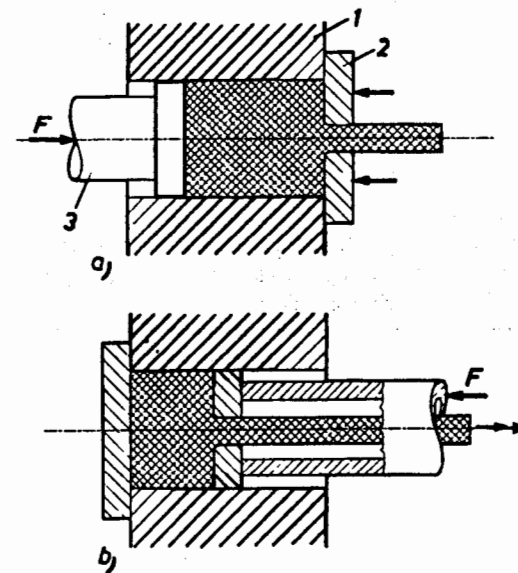
Az alakítási szilárdságot egészen vékony szalagok (fóliák) hengerlésekor

a hengereken jelentkező nyomás csökken és a szalag síkkifekvése javul. (1.45. ábra).

1.4 KISAJTOLÁS

A kisajtolást kiterjedten alkalmazzák a jól alakítható lágy fémek (*Al, Pb, Sn*) rúdárúvá, csövekké és alakos árúvá való feldolgozására. A kisajtolás lehet ún. *direkt kisajtolás*, amikor a kisajtoló termék a bélyeggel azonos irányban mozog (1.46. ábra *a* része) és *indirekt* (1.46. ábra *b* része), amikor az anyag áramlása a bélyeg mozgásával ellentétes. Az eljárás menetét a 1.46. ábra szemlélteti.

Az alakítandó anyagból készült, előmelegített nyers hengeres darabot egy elő-



1.46. ábra

Melegfolytatás (extrudálás)

a) Direkt folytatás, b) Indirekt folytatás

melegített acélhüvelybe (1), az ún. *recipiensbe* helyezzzük. Direkt kisajtoláskor a recipiens egyik nyílását a sajtolószerszám (2) (*matrica*), a másik nyílását pedig a *bélyeg* (3) zárja le. A bélyeg betolása közben a tuskó anyaga a szerszám résén keresztül halad és a rés körvonalát követő keresztmetszetű rúdárúként hagyja el a szerszámot. Direkt kisajtoláskor az alakítandó fém folytatás közben végig súrlódik a recipiens falán. Ez a súrlódó erő növeli a melegfolytatás erő- és munkaszükségletét. Az indirekt folytatás munkaszüksége kisebb. A nyomás a bélyeg homlokfelületén 8-10 MPa, a nyomóerő 500-100 000 kN.

Melegfolyatással lehet csőszerű terméket is előállítani, ilyenkor a szerszám nyílásába a cső belső átmérőjének megfelelő tűske nyúlik be. A sajtoló anyag melegfolytatás közben a szerszám és tűske közötti résen keresztül áramlik ki. Ezzel az eljárással olyan csőszerű termékeket lehet előállítani, amelyek tetszőleges külső körvonalrajzúak és belső nyílásúak. Földkábelek ólom burkolatát ezzel az eljárással viszik fel. Ilyenkor a tűskét a folyamatosan haladó kábel helyettesíti.

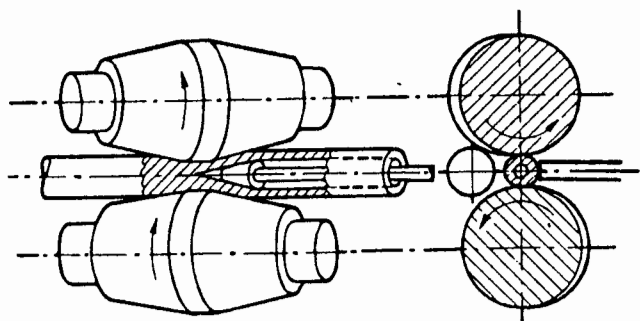
Melegfolyatással olyan vékony és vastag keresztmetszeteket egyaránt tartalmazó szelvényű alumínium rudak és csövek készíthetők, amelyeket más technológiával készíteni nem lehet.

1.5 CSŐGYÁRTÓ ELJÁRÁSOK

A fémcsövek egy része ún. varratmentes cső. Ezeket tömör anyagból, hengerléssel, sajtolással, vagy kisajtolással gyártják. Másik részük ún. hegesztett (varratos) cső, amelyeket szalagból készítenek hidegalakítást, majd hegesztést alkalmazva.

1.5.1 Csőgyártás hengerléssel

A csőhengerlés kiinduló anyaga a kör keresztmetszetű öntött tuskó vagy kör-szelvényre előhengerelt *csőbuga*. A tömör tuskóból, vagy bugából lyukasztó hengerléssel állítják elő a nyers, vastagfalú csövet. A *Mannesmann-féle* csőgyártás lyukasztó hengerpárját a 1.47. ábra szemlélteti.

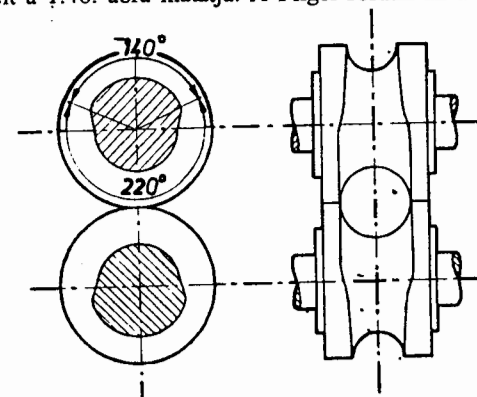


1.47. ábra
Mannesmann csőgyártás lyukasztó hengerpárja

A kúpos lyukasztó hengerek tengelyei kitérők, így a kerületi erő a buga tengelyével szöveget zár be. Ez az erő felbontható két komponensre, a bugára merőleges, és a buga tengelyével párhuzamos komponensre. Előző erőpár a bugát forgó mozgásban tartja, utóbbi kettő a bugát a hengerek közé behúzza, illetve a csőbe beve-

zetett dugónak nekinyomja. A lyukképződés már a munkahengerek kúpos része között megindul, a dugó a keletkező lyukat felbővíti, felületét lesimítja. A kapott nyers cső rövid és vastagfalú. A nyers cső falvastagságának csökkentését és hosszának növelését a melegalakítás hőmérsékletén végzett nyújtóhengerléssel érik el (*Pilgerezés*).

A Pilger-féle nyújtóhengerlés olyan duó-soron történik, melynek munkahengereit a 1.48. ábra mutatja. A Pilger-sornak az ürege a henger kerületének 40%-át



1.48. ábra
Csőnyújtó hengerpár (Pilger)

beadja a hengerpár nagyobb üregébe. Az etetés irányával szemben forgó hengerpár dolgozó üregrésze beszűr, a tűskén kinyújtja a „*beharapot*” csőszakaszt, miközben egy pneumatikus henger ellenében visszatolja a csövet és a tűskét. Amikor a beharapott nyers csődarab lenyújtása befejeződött, a henger üresen futó üregrésze kerül a cső oldalára, a pneumatikus henger előre tolja a csövet és a tűskét, és a 90°-kal elforgatja azt, majd az előző folyamat megismétlődik. Az etető folyamatos előre haladása közben az egész csőszakasz falvastagsága lecsökken.

Az 50 mm-nél kisebb átmérőjű csövek nyújtása a szükséges mértékig *redukáló hengersoron* történik. Ez tulajdonképpen több egymás után következő duó-hengerpár, amelyeknek ürege fokozatosan csökken a cső kész átmérőjéig. A csövet dugó nélkül etetik a redukáló hengersorba. A külső átmérő csökkenése mellett a falvastagság nő. Az egymást követő hengerpárok tengelye egymáshoz képest 90°-os (függőleges és vízszintes).

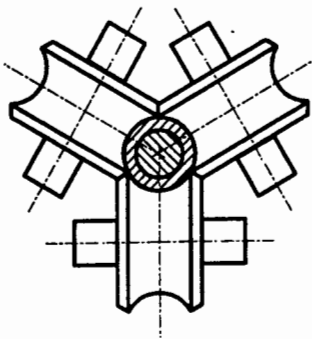
1.5.2 Csőgyártás sajtolással

Varrat nélküli cső készülhet sajtolással az Erhardt eljárás szerint. Kiindulási anyaga négyzetes buga, amelyet a sajtolás hőmérsékletén a 1.49. ábrán látható hengeres sajtoló formába alakítják (lyukasztják) a besajtoló tuskával fenekes persely alakúra. A négyzet szelvényű előgyártmány a lyukasztó túske besajtolásakor tölti ki a lyukasztó henger (matrica) üregét. A lyukasztóerő így sokkal kisebb, mint hogyha a matrica átmérőjéhez illeszkedő hengeres bugát lyukasztanánk.

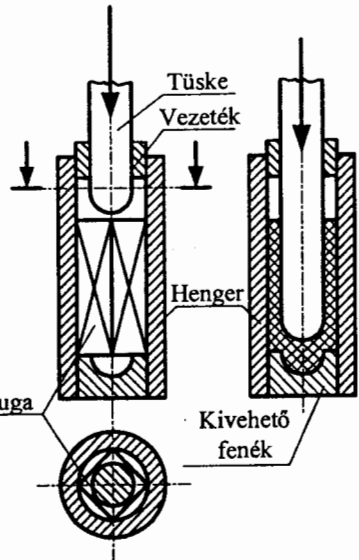
Az így kapott vastagfalú nyers csövet, a benne lévő tuskával együtt körüregre képező hármassá sajtolják keresztül (1.50. ábra), amelyek a cső falát vékonyítják. Az egymás után elhelyezett 8-20 db hármassá sajtoló a cső falvastagságát készre vékonyítja. Ezzel az eljárással egy menetben, rövid idő alatt szép sima felületű kész cső gyártható. A csövek hosszát a túske kihajlása

korlátozza.

Az eredeti Erhardt-féle csőgyártásnál a hármassá helyett kúpos üregeket alkalmaztak. A hármassá hengereket a Csepeli Csőgyárban dolgozták ki.



1.50. ábra
Csőnyújtó körüregesű görgőhármass



1.49. ábra

Csőgyártás sajtolással (Erhardt eljárás)

1.5.3 Hegesztett csövek gyártása

A hengerléssel és sajtolással előállított varrat nélküli csövek nagy belső nyomásra és nagy szilárdsági igénybevételre készülnek. Kis belső nyomású vékonyfalú csövek (pl. gázcsövek) gazdaságosabban gyárthatók hegesztett kivitelben.

A hegesztett csövek gyártásának kiinduló anyaga a szalagacél, amelynek vastagsága megegyezik a készítenő cső falvastagságával. A hegesztett csövek hosszvarratosak (a varrat egy alkotó mentén van), vagy spirálvarratosak (a varrat egy csavarvonalra esik). A szalag szélessége a hosszvarratos csöveknél, a cső falközepén mért kerületével azonos. A hegesztett csövek gyártása két folyamatból áll: a szalag hajlítása hegesztendő csövé, majd ezt követően a rés hegesztése.

A szalag hajlítása történhet hengerítő gépen vagy hajlító hengerpárokkal. Egy 3 hengerpárral végzett hajlítás vázlata az 1.51. ábrán látható. A rés összehegesztésére több hegesztő eljárás alkalmas. Ezek: a görgőelektrodás ellenállás hegesztés, a W-elektrodás hidrogén védőgáz hegesztés, a fedőpor alatti hegesztés, a CO_2 védőgáz hegesztés és az indukciós hegesztés. Legnagyobb termelékenységgel ezek közül az indukciós hegesztés.

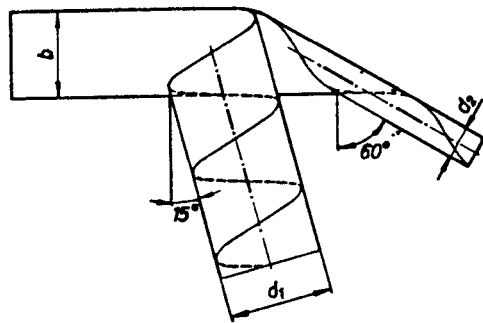
A rés köré helyezett nagyfrekvenciás induktor (egymenetű tekercs) nagy áramsűrűséget indukál a csőfalban, amely a rés környezetét gyorsan megolvasztja, majd a rés egy görgőpár zárja; a megolvadt rész a résből kiszorul és a két szél összeheged. Ezzel az eljárással 8 m/perc gyártás sebesség érhető el.

A hosszvarratos hegesztett csövek hátránya, hogy a varratban adódó esetleges belső hibák varratszakadást okozhatnak, így ezeket nagyobb belső nyomású vezetékekhez megbízhatóan nem lehet felhasználni. Lényegesen megnöveli a hegesztett csövek szilárdságát a spirálcsőhegesztés. Ennek az a lényege, hogy a behegesztendő rés nem egy alkotó mentén, hanem spirálisan helyezkedik el.

1.51. ábra
A szalag csövé hajlítása hengerpárokcal (Harmata csőgyártás)

A jól hegeszthető acéllemezéből készült szabatos szélességű szalagot alakító készülékkel spirálcsővé göngyölítik. A szalag szélesség legfeljebb a csőátmérő kétszerese lehet. A spirális rést kívül és belül fedettívű automatikus hegesztéssel hegesztik. Gyártás közben a kötés hibátlanságát ultrahangos eljárással folyamatosan ellenőrzik. A gyártás és ellenőrzés teljesen automatikus. A spirálhegesztett csövek nagy belső nyomással üzemeltethetők. A gyártás sebesség 3-5 m/perc. A legnagyobb gyártható csőátmérő 2000 mm, a maximális falvastagság kb. 15 mm.

A földgáz és kőolaj vezetékek spirálhegesztett csövek helyszíni összehesztésével készülnek. A hazai kőolajvezetékek felszakadások mind hosszvarratos acélcövek varratának felszakadása miatt következtek be. A hazai gyártású spirálvarratos csövekből épült szakaszokon még nem történt felszakadás.



1.52. ábra

A szalag hajlítása spirálvarratos cső gyártásához

1.6 HUZALGYÁRTÁS

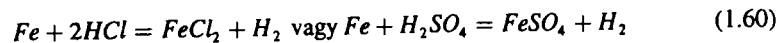
Az acél huzalgyártás kiindulási anyaga az 5-15 mm átmérőjű melegen hengerelt anyag, amit hengerhuzalnak neveznek és tekercsekben szállítanak a hengerműből a húzóműbe. A hengerhuzal felületére tapadó reve igen kemény, káros a további feldolgozásnál, így azt pácolással eltávolítják. A hengerelt huzal átmérőjének csökkentése kúpos üregeken való áthúzással történik. A húzás hidegen történik, így az alakváltozás felkeményedéssel jár. A felkeményedés megszüntetésére, illetve kedvező szövetszerkezet kialakítására hőkezelést alkalmazunk. Végül sok esetben az üzemi körülmények megkövetelik a huzal korrózió-védelmét.

1.6.1 Revétlenítés

A pácolás, vagyis a savban való maratás, a revétlenítés általánosan alkalmazott eljárása. A reveréteg igen kemény, a húzószerszám idő előtti kopását okozza és lehetetlenné válik a sima, szabályos huzalfelület elérése. A hengerhuzal felületén három oxidréteg található (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 és FeO). A vasra tapadó FeO savban könnyen oldható:



A sav a vasat is megtámadja,



az így előálló vasvesztés nem haladhatja meg a 2%-ot. A vas és sav reakciójánál felszabaduló hidrogén a meglazult revét ledobja. Másrészt káros a hidrogén, mert bediffundál az acélba és az α fázisban interstíciósan oldódva ennek kristályrácsát eltorzítva ún. páccidegséget okoz. Az elridegedett acél a húzásnál szakad. A hidrogén eltávolítható hetekig tartó pihentetéssel, vagy 1-2 órán át 200°C -on történő hevítéssel. A nagy hidrogén felvétel és a vas-vesztés miatt a túlpácolást kerülni

kell. Ma már olyan – ún. inhibitorokat tartalmazó – páccfürdőket használnak, amelyek a vas oldódását összetételüknek fogva, minimálisra csökkentik.

A sósavas pácolás hidegen, a kénsavas pácolás melegen történik. A sósavas pácolás átütőbb sikerű. A pácolás után a huzalt vízzel alaposan leöblítik, majd forró mésztejbe mártják, hogy a savmaradványokat közömbösítsék. A huzal felületére tapadó és rászárado mész a húzásnál, mint kenőanyaghordozó réteg előnyös.

A revétlenítés környezetkímélő eljárása a mechanikus revétlenítés. Az anyag eltolt tengelyű hengerek közötti hajtogatása közben a rideg reve nagy része leválik. A felületen maradó apró revesztruktúrákat, sörétfúvással, drótkorongozással és sűrített levegős fúvással igyekeznek eltávolítani.

1.6.2 Húzás

A hengerhuzalt, illetve a kisajtott terméket kúpos üregű szerszámon áthúzva, átmérőjének csökkentésére és hosszának növelésére kényszerítjük. A húzás során az anyagban ébredő feszültségeket az 1.6. ábrán vázoltuk ellenhúzás nélküli húzás esetére.

A huzalnak a húzókúp utáni részében ébred az áthúzást végző feszültség, amely a

$$\sigma_{zki} = k_{\beta} \cdot \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} \right) + \frac{2}{3} k_{\beta} \cdot \alpha \quad (1.61)$$

összefüggéssel számítható.

Ha $\sigma_{zki} \geq k_{\beta}$, akkor az áthúzott huzalrész kontrahál és elszakad. Az (1.61) összefüggés alapján ebből az következik, hogy az egy húzással megvalósítható alakváltozás (φ) nagysága korlátozott.

Optimális az a félkúpszög, amely esetén a húzóerő, illetve a kilépő oldalon ébredő feszültség (σ_{zki}) minimum. Ebből a feltételből az optimális félkúpszög

$$\alpha_{opt} = \sqrt{\frac{3 \cdot \mu \cdot \varphi}{2}} \quad (1.62)$$

adódik. A súrlódási tényező a szokásos kenéseknél $\mu=0,05-0,07$ körüli, a fokozatonként megvalósítható $\varphi=0,2-0,25$ alakváltozás esetén a húzógyűrű optimális félkúpszöge $\alpha = 0,12\text{rad} - 0,16\text{rad} = 7^\circ \div 9^\circ$.

A huzal és szerszám közötti súrlódás csökkentésére kenőanyagot használnak, valamint a húzókúpot tükörfényesre polírozzák. A húzókúp egyenlőtlen kopása, vagy felülethibája lehetetlenné teszi a sima, szabályos hengeres huzalfelület elérését. Ezért húzás előtt a húzószerszámokat gondosan ellenőrzik. A húzógyűrű anyaga keményfém, hajszálvékony huzaloknál gyakran gyémánt. Legnagyobb kopásállósága a gyémánt szerszámnak van.

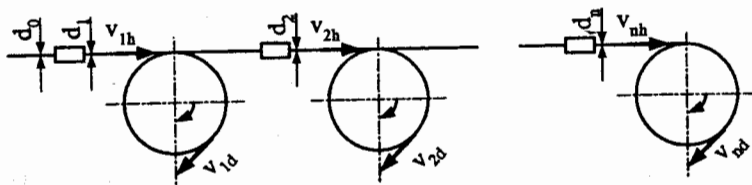
Húzás közben használatos kenőanyagok: zsírok, olajok, kalciumsztearát, szappanpehely, újabban zsíralkoholszulfát. A kenőanyag felvételére a huzal közvetlen a húzóké elé szerelt kenőanyagtartályon fut át. Az alkalmazott kenőanyagok szerint megkülönböztetünk: zsírban, vagy olajban való húzást, szappannal vagy

kálciumsztearáttal végzett szárazhúzást, rézgálicos kénsavoldatban végzett nedves fényes húzást.

A huzalt a húzógyűrűbe be kell tudni fűzni, ezért annak végét a befűzés előtt ki kell hegyezni. A hegyezés általában a Pilger-hengerhez hasonló üregezésű, de több üregű hegyező hengeren történik. A huzal végét egyre kisebb dolgozó sugarú üregekbe tolják be, majd ezt a hengerpár az átmérő csökkentése közben visszatolja. Üreget váltva a huzalt 90°-kal elfordítják.

A húzógyűrűn áthaladó huzal a húzógép forgó dobjára csavarodik fel (1.54. ábra). A húzóerőt a meghajtott dob és a huzal között ébredő kötélslúrlódás biztosítja. Befűzésnél a kihagyott huzalvéget egy a húzódobhoz lánccal rögzített és levehető, önzáró pofapárral ellátott segédlet a „béka” fogja meg és húzza be. Megfelelő mennyiségnek a dobra csévézése után a „békát” leveszik.

Az egyfokozatú huzalhúzógép a huzaltekercset a tekercstartóból lecsévélve a húzógyűrűn áthúzza és húzódobjára csévéli.



1.53. ábra
Többfokozatú húzógép elvi rajza

A huzal két hőkezelése között általában 6 húzás végezhető a szakadás veszélye nélkül. A huzalhúzó gépeket gyártók olyan húzógépeket gyártanak, amelyeken ezt a 6 húzást egy gépegységen lehet elvégezni.

Az 1.53. ábrán egy többfokozatú húzógépen végzett húzás vázlatja látható. A huzal átmérője d_0, d_1, \dots, d_n , a huzalsebesség az egyes húzógyűrűk után $v_{1h}, v_{2h}, \dots, v_{nh}$, a húzódobok kerületi sebessége pedig $v_{1d}, v_{2d}, \dots, v_{nd}$.

A többfokozatú húzógépek lehetnek csúszva-húzó gépek, gyűjtve-húzó gépek, vagy elektronikus vezérlésű egyenes húzógépek.

A csúszva-húzó gépeknél csak az utolsó dobban van sok huzalmenet az előtte lévőknél csak 3-5 menet van. A huzal kontinuitását a

$$\frac{d_1^2 \pi}{4} \cdot v_{1h} = \frac{d_2^2 \pi}{4} \cdot v_{2h} = \dots = \frac{d_n^2 \pi}{4} \cdot v_{nh} \quad (1.63)$$

összefüggés fejezi ki. A csúszásmentes húzás feltétele az lenne, hogy teljesüljenek a

$$v_{1h} = v_{1d}; \quad v_{2h} = v_{2d} \dots \quad (1.64)$$

feltételi egyenletek. Mechanikus (fogaskerékes) hajtású gépeknél ez a feltétel a húzógyűrűk és a húzódobok kopása miatt gyakorlatilag betarthatatlan.

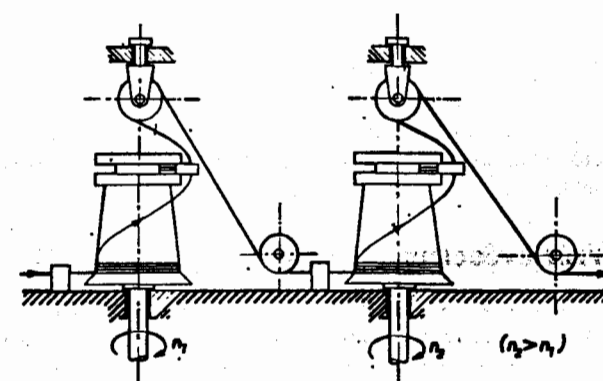
A csúszvahúzó gépeknél az utolsó dobánál $v_{nh} = v_{nd}$ (ezen a dobban sok menet van) az összes többi húzódob 5-10%-kal nagyobb kerületi sebességű, mint ami a kontinuitási feltételből következik, tehát $v_{1d} = (1,05 + 1,1) v_{1h}$, stb.

A beépítendő húzógyűrűk átmérőjét a gép adataként megadott „beépített fogyasztás”, azaz a

$$\left(\frac{v_{(n-1)d}}{v_{nd}} \right)_{gfp} = \text{állandó} \quad (1.65)$$

ismeretében kell kiszámolni. A beépített fogyasztás nagysága a 3 mm-nél nagyobb átmérőjű huzalok húzására alkalmas gépeknél 0,8 körüli, ami $q=20\%$ húzásonkénti fajlagos keresztmetszet-csökkenést illetve $\varphi=0,22$ fokozatonkénti valódi nyúlást jelent.

A csúszvahúzó gépeket vékony huzalok húzására használják. Itt mind a húzógyűrűk, mind a dobok folyadékba merítve üzemelnek.



1.54. ábra
Gyűjtvehúzó húzógép

A gyűjtve húzó húzógép elvi vázlatát az 1.54. ábra tünteti fel. A húzógyűrűn áthúzott huzal több menetben felcsavarodik az enyhén kúpos dobba. A dob kúposágára azért van szükség, hogy üzem közben a dobban levő menetek aránylag könnyen feljebb csúszhassanak. A huzal a dob tetején látható szemén van átfűzve, majd két csigán átjutva jut a következő húzódobba. A szem a dobhoz rugók által szorított fékkel van illesztve, így azzal együtt forog. A szemre ható bizonyos nagyságú kerületi erő a súrlódást legyőzi, így a szem a tengely körül elforoghat. Amennyiben a következő dob a szükségesnél gyorsabban forog, nem következik be huzalszakadás, mert ekkor az ébredő erő hatására a szem forgáse sebessége a dobénál kisebb lesz, miáltal huzalt vesz le a dobról. Egy menet leemelésekor a huzal darab 360°-ot elcsavarodik. Ennek a gépnek ez a hátránya.

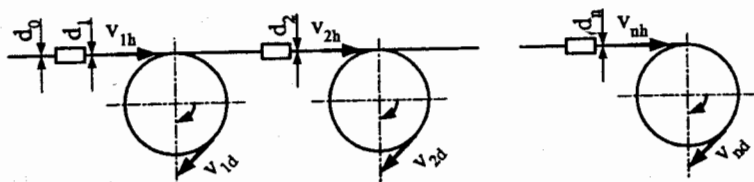
Ennél a gépnél a befűzéskor minden dobba huzalt gyűjtnek. Ha valamelyik dobban már sok a tartalék, az előtte lévő dobokat leállítják. A legkorszerűbb csúszásmentes húzógépeknél elektronikus vezérléssel állítják be a doboknak a huzalval azonos sebességét.

kalciumsztaróval végzett szárazhúzást, rézgálicos kénsavoldatban végzett nedves fényes húzást.

A húzalt a húzógyűrűbe be kell tudni fűzni, ezért annak végét a befűzés előtt ki kell hegyezni. A hegyezés általában a Pilger-hengerhez hasonló üregezésű, de több üregű hegyező hengeren történik. A húzal végét egyre kisebb dolgozó sugarú üregekbe tolják be, majd ezt a hengerpár az átmérő csökkentése közben visszatalja. Üreget váltva a húzalt 90°-kal elfordítják.

A húzógyűrűn áthaladó húzal a húzó gép forgó dobjára csavarodik fel (1.54. ábra). A húzóerőt a meghajtott dob és a húzal között ébredő kötélúrlódás biztosítja. Befűzésnél a kihagyezett húzalvéget egy a húzódobhoz láncsal rögzített és levehető, önzáró pofapárral ellátott segédlet a „béka” fogja meg és húzza be. Megfelelő mennyiségnek a dobra csévézése után a „békát” leveszik.

Az egyfokozatú húzalhúzó gép a húzaltekercset a tekercstartóból lecsévéelve a húzógyűrűn áthúzza és húzódobjára csévéli.



1.53. ábra
Többfokozatú húzó gép elvi rajza

A húzal két hőkezelése között általában 6 húzás végezhető a szakadás veszélye nélkül. A húzalhúzó gépeket gyártók olyan húzó gépeket gyártanak, amelyeken ezt a 6 húzást egy gépegységen lehet elvégezni.

Az 1.53. ábrán egy többfokozatú húzó gépen végzett húzás vázlatja látható. A húzal átmérője d_0, d_1, \dots, d_n , a húzalsebesség az egyes húzógyűrűk után $v_{1h}, v_{2h}, \dots, v_{nh}$, a húzódobok kerületi sebessége pedig $v_{1d}, v_{2d}, \dots, v_{nd}$.

A többfokozatú húzó gépek lehetnek csúszva-húzó gépek, gyűjtve-húzó gépek, vagy elektronikus vezérlésű egyenes húzó gépek.

A csúszva-húzó gépeknél csak az utolsó dobon van sok húzalmenet az előtte lévőknél csak 3-5 menet van. A húzal kontinuitását a

$$\frac{d_1^2 \pi}{4} \cdot v_{1h} = \frac{d_2^2 \pi}{4} \cdot v_{2h} = \dots = \frac{d_n^2 \pi}{4} \cdot v_{nh} \quad (1.63)$$

összefüggés fejezi ki. A csúszásmentes húzás feltétele az lenne, hogy teljesüljenek a

$$v_{1h} = v_{1d}; \quad v_{2h} = v_{2d} \dots \quad (1.64)$$

feltételi egyenletek. Mechanikus (fogaskerekes) hajtású gépeknél ez a feltétel a húzógyűrűk és a húzódobok kopása miatt gyakorlatilag betarthatatlan.

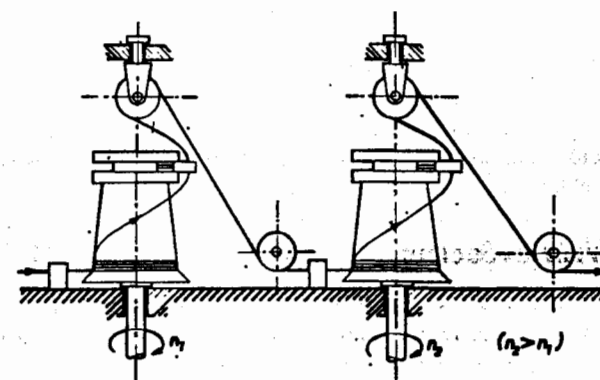
A csúszvahúzó gépeknél az utolsó dobnál $v_{nh} = v_{nd}$ (ezen a dobon sok menet van) az összes többi húzódob 5-10%-kal nagyobb kerületi sebességű, mint ami a kontinuitási feltételből következik, tehát $v_{1d} = (1,05 + 1,1) v_{1h}$, stb.

A beépítendő húzógyűrűk átmérőjét a gép adataként megadott „beépített fogyasztás”, azaz a

$$\left(\frac{v_{(n-1)d}}{v_{nd}} \right)_{gép} = \text{állandó} \quad (1.65)$$

ismeretében kell kiszámolni. A beépített fogyasztás nagysága a 3 mm-nél nagyobb átmérőjű húzalok húzására alkalmas gépeknél 0,8 körüli, ami $q=20\%$ húzásonkénti fajlagos keresztmetszet-csökkenést illetve $\varphi=0,22$ fokozatonkénti valódi nyúlást jelent.

A csúszvahúzó gépeket vékony húzalok húzására használják. Itt mind a húzógyűrűk, mind a dobok folyadékba merítve üzemelnek.



1.54. ábra
Gyűjtvehúzó húzó gép

A gyűjtve húzó húzó gép elvi vázlatát az 1.54. ábra tünteti fel. A húzógyűrűn áthúzott húzal több menetben felcsavarodik az enyhén kúpos dobra. A dob kúposágára azért van szükség, hogy üzem közben a dobon levő menetek aránylag könnyen feljebb csúszhassanak. A húzal a dob tetején látható szemén van átfűzve, majd két csigán átjutva jut a következő húzódobba. A szem a dobozhoz rugók által szorított fékkel van illesztve, így azzal együtt forog. A szemre ható bizonyos nagyságú kerületi erő a súrlódást legyőzi, így a szem a tengely körül elforoghat. Amennyiben a következő dob a szükségesnél gyorsabban forog, nem következik be húzalszakadás, mert ekkor az ébredő erő hatására a szem forgáse sebessége a dobénál kisebb lesz, miáltal húzal vesz le a dobról. Egy menet leemelése után a húzal darab 360°-ot elcsavarodik. Ennek a gépnek ez a hátránya.

Ennél a gépnél a befűzéskor minden dobra húzal gyűjtene. Ha valamelyik dobon már sok a tartalék, az előtte lévő dobokat leállítják. A legkorszerűbb csúszásmentes húzó gépeknél elektronikus vezérléssel állítják be a doboknak a húzalval azonos sebességét.

1.6.3 Hőkezelés

A huzalgyártás húzási fokozatai a huzal anyagát fokozatosan keményítik. Egy bizonyos keményedés és nyúláscsökkenés után a huzalokat hőkezelésnek kell alávetni. A hőkezelés fajtája a gyártott huzal minőségétől függ. Lágyacél huzalok lágyítására az újrakristályosító hőkezelést, a 0,4-1% C-tartalmú keményacél huzalok húzási fokozatai között való hőkezelésre pedig a patentírozást alkalmazzák.

A lágyacél, alumínium, réz, sárgaréz, bronz huzalok gyártásának a hőkezelés utáni befejező művelete rendszeren még egy, vagy több olyan hideg húzási fokozat, amely ezeket a huzalokat megfelelő hideg felkeményedési állapotra hozza. A hideg keménységi állapotot szokásos lágy, félkemény, háromnegyed kemény és kemény megjelöléssel megkülönböztetni.

A keményacél huzalok legnagyobb hányadát drótkötélnak dolgozzák fel. A huzal anyaga 0,5-0,7% C-tartalmú, nagy szilárdságú, ötvöztelen karbonacél. A szilárdság növelése érdekében a patentírozás után még 5-6 húzást végeznek. Felvonókötelek huzaljainak a nagy szilárdság mellett biztosítani kell a nagy kifáradási határt is. Ezért lényeges a huzal nagy felületi simasága, valamint a jól végzett patentírozás eredményeként a ferritmentes tisztán finomlemez perlit szövet biztosítása. (A ferrit lágy volta miatt a kifáradási határt nagyon lecsökkenti.)

A kemény acélhuzalok mennyiségének kisebb része különféle edzett tömegek (csapok, fúrók, tűk) előállítására szolgál. Ezeket a huzalokat ugyancsak patentírozott állapotban húzzák és végleges keménységre a készáru gyártás során alkalmazott edzéssel hozzák.

1.6.4 Korrózióvédelem

A méretre húzott huzalt rozsdásodás ellen védőbevonattal látják el. Drótkötelek huzaljai rendszerint horgany bevonatot kapnak. A huzalnak szebb külsőt ad a ritkábban használatos, korrózió ellen kevésbé jó védelmet adó ónbevonat. A huzalok horganyzására tűzi horganyzás, illetve galvanikus horganyzás használatos:

A tűzben horganyzó berendezésbe érkező huzal előzőleg pácfürdőn, majd öblítőfürdő után egy forrasztóvizet ($ZnCl_2$ oldat) tartalmazó edényen halad keresztül. Ezután merül bele a folyékony horganyfürdőbe, amelynek kilépő végén a kaparószerkezet a felesleges horganyt eltávolítja. Végül a huzalt karikába csévélik. A horganyfürdő hőmérséklete $435-470^\circ C$ között van. A fürdő hőmérséklete a patentírozott huzal tulajdonságait kedvezőtlenül befolyásolja. Csökken a szakítószilárdság, valamint csökken a csavarási, és hajtogatási szám. A szakítószilárdság számottevő csökkenése az erősen alakított huzal és a nagyobb karbon tartalom esetében jelentkezik. A nyúlás minden esetben növekszik. A horganyzás a kifáradási határ értékét is csökkenti.

Amíg tűzi horganyzásnál a védőréteg tapadását a huzal felületén képződő ötvözet keletkezése biztosítja, addig a galvanikus horganyzásnál a tapadás tisztán mechanikus. A horganyréteg jó tapadásának előfeltétele a huzal fémtiszta, zsírtalanított felülete. A revétlenítést és zsírtalanítást elektrolitikus pácolással végzik. A horganyzás savas kémhatású galvánfürdőben történik. A fürdőből kilépő huzal forró vizes öblítést kap a savmaradványok eltávolítására.

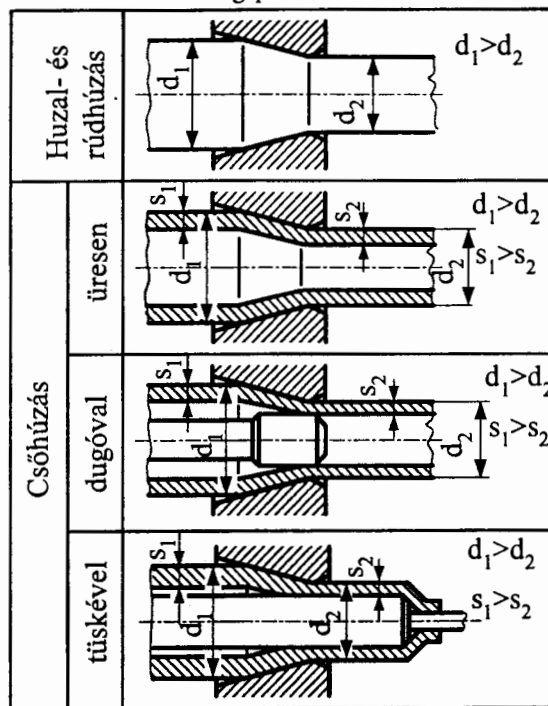
1.6.5 Rúd és csőhúzás

A rúd és csőhúzás szerszámainak vázlatát az 1.55. ábra szemlélteti.

A rúd és csőhúzó gépek rendszerint nem húzódobbal húzzák a terméket, hanem egyenes vezetőken elő-hátra mozgó húzóokcsira szerelt önszorító pofákkal fogják meg a befűzött rúd, illetve cső végét és így egyenes vonalú mozgást végezve végzik a húzást. Ebből következik, hogy a rudakat a csöveket néhány méteres szaklakban húzzák.

A rudak húzásának célja a felületminőség és a méretpontosság (h_9-h_{11}) javítása, valamint a szilárdság és a folyási határ növelése. Ezért ezeket a melegen gerlés után csak 1-2 fokozatban húzzák.

Az olyan kis átmérőjű és kis falvastagságú csöveket, amelyeket a megismert csőgyártó eljárásokkal nem lehet gazdaságosan gyártani, nagyobb átmérőre illetve falvastagságúra gyártják és ezt követően hidegen húzzák. Nevük: hidegen vont csövek. Ezeket általában a hidegen végzett húzás után kilágyítják.



1.55. ábra

A rúd- és csőhúzás szerszámjai

gyobb átmérőre illetve falvastagságúra gyártják és ezt követően hidegen húzzák. Nevük: hidegen vont csövek. Ezeket általában a hidegen végzett húzás után kilágyítják.

1.7 HIDEG TÉRFOGATALAKÍTÓ ELJÁRÁSOK

A képlékeny alakítással végzett alkatrészyártást lemezalakító és térfogat-alakító eljárásokra szokás felosztani. A lemezalakítások csoportjába tartoznak azok az eljárások, amelyek kiinduló anyaga lemez, vagy szalag és az alakítás során a lemez vastagságát szándékosan nem csökkentik. A térfogat-alakító eljárások alapanyaga rendszerint rúddarab, amelyek keresztmetszetét szándékosan változtatjuk. Térfogat-alakító eljárás pl. a már megismert kovácsolás. Ebben a fejezetben a hidegzőmítés és a hidegfolytatás eljárásával ismerkedünk meg.

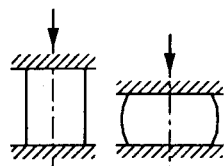
1.7.1 Hidegzömítés

Zömítéssel olyan alkatrészek állíthatók elő, amelyeken fejek, vállak vannak kiképezve (pl. szegek, szegecses, csavarok), illetve amelyek a keresztmetszet, egész hossz mentén történő növelésével állíthatók elő (pl. hatlapú anya előgyártmánya). A zömítés és a melegzömítés az iparban egyaránt elterjedt eljárás.

1.7.1.1 A zömítés alapesetei

a) Zömítés párhuzamos sík lapok között (1.56. ábra).

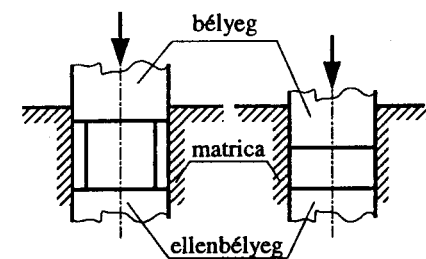
Ilyen szerszámfelek között a darab teljes térfogata alakváltozik. A zömített darab alakját nem lehet a célnak megfelelően lehatárolni, ezért ezt az eljárást csak a szabadalakító kovácsolásban alkalmazzák.



1.56. ábra
Zömítés párhuzamos lapok között

b) A teljes térfogat zömítése üreges szerszámban

Az alakváltozás zárt szerszámüregben (1.57. ábra), a matricában a bélyeg és az ellenbélyeg között történik. Megfelelően alakítható anyag és megfelelően nagy zömítőnyomás alkalmazásakor, a darab felveszi az üreg alakját (pl. nyírásos darabolással előállított rúddarabok kalibrálása).

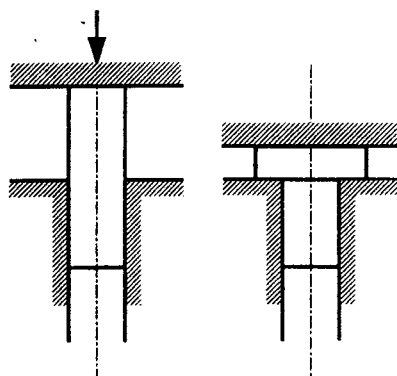


1.57. ábra

A munkadarab teljes térfogatának zömítése matricában

c) Matricába fogott darab matricán kívül levő részének zömítése (fejezése) a fejet határoló szerszámüreg nélkül (1.58. ábra).

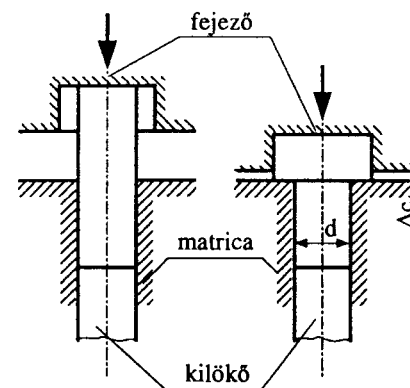
Csak a matricából kiálló rész zömül. A matricába fogott szárrész alakváltozása elhanyagolható, mert a matricafurat és a nyersanyag játéka legfeljebb 0,1 mm nagyságrendű. Olyan esetekben alkalmazható, ahol a fej pontos, szabályos kialakítása másodlagos (pl. szegek fejezése).



1.58. ábra
Matricába fogott darab fejezése, a fejet határoló üreg nélkül

d) Matricába fogott darab fejezése a fejet határoló szerszámüregben

Az alakítás módja azonos az előző esettel de, a keresztirányú alakváltozást a matricában, vagy a fejezőben, vagy mindkettőben kialakított szerszámüreg határolja (1.59. ábra). Ez a leggyakrabban alkalmazott eljárás (pl. sülyesztett-, félgömb-, lencse- és hatlapfejú csavar stb.).



1.59. ábra

Matricába fogott darab fejezése, a fejet határoló üreggel

A b) és d) változatnál biztosítani kell az alakításban részt vevő anyagrészt szerszámüreggel azonos, vagy annál kisebb térfogatát, mert mechanikus működésű (forgattyús, excenter) gépnél a túltöltés különösen a b) esetben szerszám, gép, illetve biztosítóelem törést okozhat. Az 1.59. ábrán Δc -vel jelölt rés az ilyen hiba elhárítását is szolgálja.

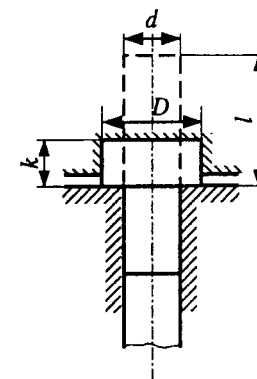
A zömítés akkor nevezhető hidegzömítésnek, ha arra az anyag újrakristályosodási hőmérséklete alatt kerül sor. A gyakorlatban az anyag előmelegítése nélkül végzett zömítést nevezik hidegzömítésnek. A felhasznált anyagminőségek általában olyanok, hogy e két meghatározás nem mond ellent egymásnak. A hidegzömítéssel feldolgozott nyersanyagok átmérője általában nem haladja meg a 25 mm-t.

1.7.1.2 A hidegzömítés alaki jellemzői

A technológusnak úgy kell megtervezni a hidegzömítést, hogy az alábbi három feltétel minden esetben teljesüljön:

- A zömítendő anyagrészt a zömítés közben ne hajoljon ki.
- A zömítendő anyag törés, illetve repedés nélkül viselje el a kívánt mértékű képlékeny alakváltozást.
- A fejező homloksíkjánál átlagos nyomás ne haladjon meg egy megengedett értékkel, mert ha az túl nagy, a szerszámok gyors kopását, esetleg törését és az üreg nem megfelelő kitöltését idézi elő.

Az alaki jellemzők e három feltétel betartását teszik lehetővé, s ezek a zömítendő és a zömített anyagrészt méreteiből számíthatók az 1.60. ábra felhasználásával.



1.60. ábra

Az alaki jellemzők számításához használt méretek

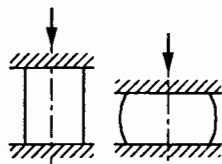
1.7.1 Hidegzömítés

Zömítéssel olyan alkatrészek állíthatók elő, amelyeken fejek, vállak vannak kiképezve (pl. szegek, szegecsek, csavarok), illetve amelyek a keresztmetszet, egész hossz mentén történő növelésével állíthatók elő (pl. hatlapú anya előgyártmánya). A zömítés és a melegzömítés az iparban egyaránt elterjedt eljárás.

1.7.1.1 A zömítés alapesetei

a) Zömítés párhuzamos sík lapok között (1.56. ábra).

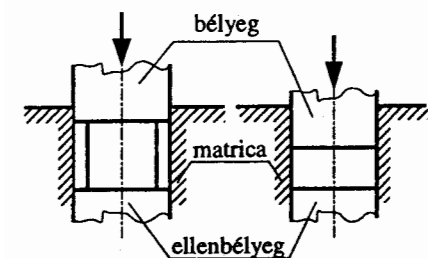
Ilyen szerszámfelek között a darab teljes térfogata alakváltozik. A zömített darab alakját nem lehet a célnak megfelelően lehatárolni, ezért ezt az eljárást csak a szabadalakító kovácsolásban alkalmazzák.



1.56. ábra
Zömítés párhuzamos lapok között

b) A teljes térfogat zömítése üreges szerszámban

Az alakváltozás zárt szerszámüregben (1.57. ábra), a matricában a bélyeg és az ellenbélyeg között történik. Megfelelően alakítható anyag és megfelelően nagy zömítőnyomás alkalmazásakor, a darab felveszi az üreg alakját (pl. nyírással előállított rúddarabok kalibrálása).

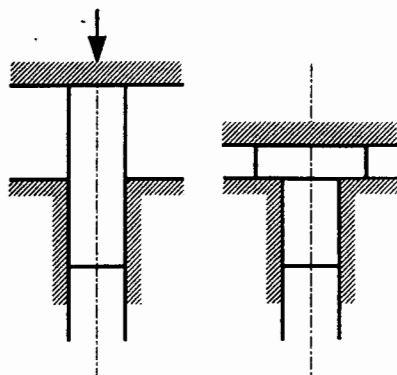


1.57. ábra

A munkadarab teljes térfogatának zömítése matricában

c) Matricába fogott darab matricán kívül levő részének zömítése (fejezése) a fejet határoló szerszámüreg nélkül (1.58. ábra).

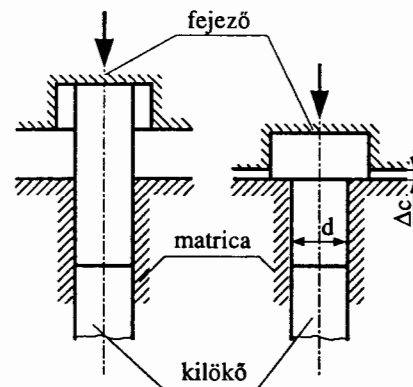
Csak a matricából kiálló rész zömül. A matricába fogott szárrész alakváltozása elhanyagolható, mert a matricafurat és a nyersanyag játéka legfeljebb 0,1 mm nagyságrendű. Olyan esetekben alkalmazható, ahol a fej pontos, szabályos kialakítása másodlagos (pl. szegek fejezése).



1.58. ábra
Matricába fogott darab fejezése, a fejet határoló üreg nélkül

d) Matricába fogott darab fejezése a fejet határoló szerszámüregben

Az alakítás módja azonos az előző esettel de, a keresztirányú alakváltozást a matricában, vagy a fejezőben, vagy mindkettőben kialakított szerszámüreg határolja (1.59. ábra). Ez a leggyakrabban alkalmazott eljárás (pl. süllyesztett-, félgömb-, lencse- és hatlapfejú csavar stb.).



1.59. ábra

Matricába fogott darab fejezése, a fejet határoló üreggel

A b) és d) változatnál biztosítani kell az alakításban részt vevő anyagrészt szerszámüreggel azonos, vagy annál kisebb térfogatát, mert mechanikus működésű (forgattyús, excenter) gépnél a túltöltés különösen a b) esetben szerszám, gép, illetve biztosítóelem törést okozhat. Az 1.59. ábrán Δc -vel jelölt rés az ilyen hiba elhárítását is szolgálja.

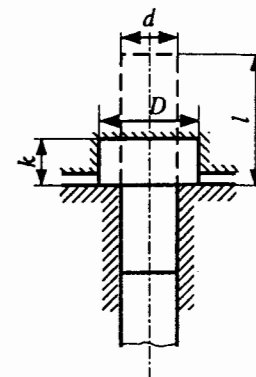
A zömítés akkor nevezhető hidegzömítésnek, ha arra az anyag újrakristályosodási hőmérséklete alatt kerül sor. A gyakorlatban az anyag előmelegítése nélkül végzett zömítést nevezik hidegzömítésnek. A felhasznált anyagminőségek általában olyanok, hogy e két meghatározás nem mond ellent egymásnak. A hidegzömítéssel feldolgozott nyersanyagok átmérője általában nem haladja meg a 25 mm-t.

1.7.1.2 A hidegzömítés alaki jellemzői

A technológusnak úgy kell megtervezni a hidegzömítést, hogy az alábbi három feltétel minden esetben teljesüljön:

- A zömítendő anyagrészt a zömítés közben ne hajoljon ki.
- A zömítendő anyag törés, illetve repedés nélkül viselje el a kívánt mértékű képlékeny alakváltozást.
- A fejező homlokfelületén ébredő átlagos nyomás ne haladjon meg egy megengedett értékkel, mert ha az túl nagy, a szerszámok gyors kopását, esetleg törését és az üreg nem megfelelő kitöltését idézi elő.

Az alaki jellemzők e három feltétel betartását teszik lehetővé, s ezek a zömítendő és a zömített anyagrészt méreteiből számíthatók az 1.60. ábra felhasználásával.



1.60. ábra

Az alaki jellemzők számításához használt méretek

Az alak jellemzők a következők:

$$\text{Zömítési viszony: } \frac{l}{d} \quad (1.66)$$

$$\text{Átmérőviszony: } \frac{D}{d} \quad (1.67)$$

$$\text{Alakviszony: } \frac{D}{k} \quad (1.68)$$

Zömítési viszony	Vázlat
$\left(\frac{l}{d}\right)_{\text{meg}} = 2$	
$\left(\frac{l}{d}\right)_{\text{meg}} = 2,3$	
$\left(\frac{b}{d}\right)_{\text{meg}} = 2,6$	

1.61. ábra

A zömítési viszony megengedett értékei

Előzömítéskor a zömítési viszony:

$$\frac{b}{d} \leq 2,6 \quad (1.69)$$

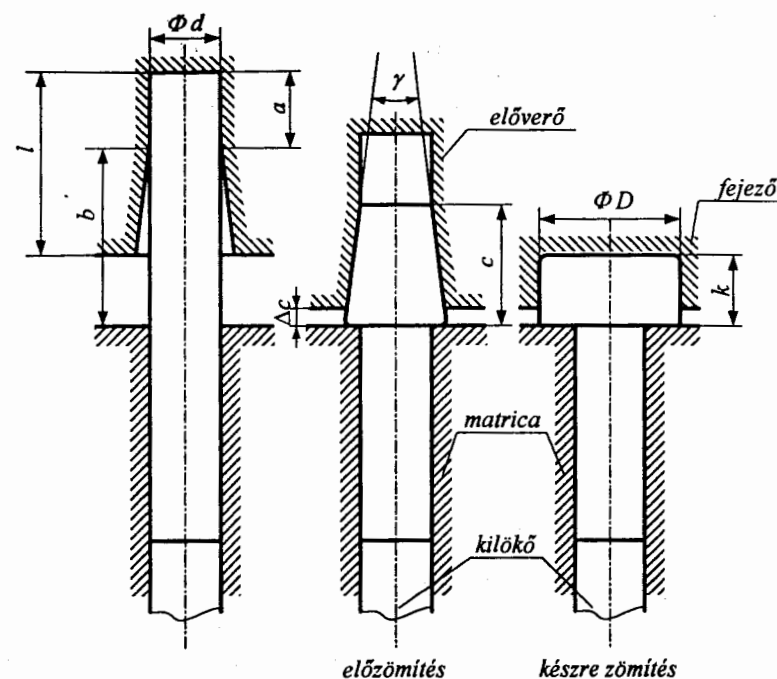
A b hosszúságú anyagrész $\gamma=15-25^\circ$ -os csonka kúppá zömíti az előverő, az $a=l-b$ méretet az előverő befogja, s az csak a következő ütéskor, a fejezőben alakváltozik ($a \geq 0,6 d$).

Két ütéssel kell végezni a zömítést, ha

$$2,3 < \frac{l}{d} < 4,5$$

A zömítési viszony (l/d) a kihajlás veszélyéről tájékoztat. Tapasztalat alapján megállapított megengedhető értékeit az 1.61. ábra tartalmazza. A közölt tapasztalati értékek a zömítendő anyag minőségétől és állapotától függetlenek.

Az 1.56. ábra és az 1.57. ábra szerint végzett zömítésnél mind az l , mind a d méretet a technológus választja meg. Száras darabok zömítései (1.58. ábra és 1.59. ábra) d adott, l pedig a zömítendő fej térfogatából számítható. Ha az így kiadódó l/d viszony nagyobb mint az 1.61. ábrán szereplő érték, a darabot csak több ütéssel lehet elkészíteni. Ilyenkor előzömítést kell alkalmazni (1.62. ábra).



1.62. ábra
Zömítés két ütéssel

Az átmérőviszony (D/d) ismeretében dönthető el, hogy a zömítendő anyag képes-e elviselni a kívánt alakváltozást repedés nélkül. Hidegzömítésnél tehát a (D/d) átmérőviszonyt is használják az alakváltozás mérőszámaként. Ha a zömített rész hengeres, a valódi összehasonlító alakváltozás φ és a D/d viszonyszám az (1.70) egyenlet szerinti egyértelmű kapcsolatban áll:

$$\varphi = \ln \frac{l}{k} = 2 \ln \frac{D}{d} \quad (1.70)$$

Az alakváltozóképeség túllépése a zömített darab palástján ferde (nem tengelyirányú) repedéseket okoz. Tengelyirányú, vagy hosszrepedést az anyag felületi hibája, pl. ráhengerlés okoz. A különböző anyagcsoportokra megengedhető átmérőviszonyokat, a $(D/d)_{\text{meg}}$ értékeket az 1.1. táblázat tartalmazza.

Ha a kiinduló és a kész méretekből számítható átmérőviszony (D/d) nagyobb a megengedettnél, akkor a zömítés csak több műveletre bontva, a zömítő műveletek között lágyítást végezve, oldható meg.

Az alakviszony (D/k) megengedhető értékét a szerszám terhelhetősége és az anyag feszültségállapottól függő üregtöltő képessége korlátozza.

Azonos szerszámterhelést megengedve, lágyabb anyagnál nagyobb, keményebb anyagnál kisebb alakviszony valósítható meg. A gyakorlatban megengedhető $(D/k)_{\text{meg}}$ értékeket anyagcsoportonként az 1.1. táblázatból vehetjük.

Ha az alakviszony túllépi a megengedett értéket, a darab hidegen nem zömíthető. Ilyenkor meg kell vizsgálni, hogy melegzömítés alkalmazható-e.

1.1. táblázat

Az átmérőviszony és az alakviszony megengedhető értékei hidegzömítésnél

Anyagminőség	$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{meg}}$	φ_{meg}	$\left(\frac{D}{k}\right)_{\text{meg}}$
Acél $C > 0,2\%$	1,5-2,2	0,8-1,5	5
$C < 0,2\%$	2-2,7	1,4-2	7
Alakítható Sr	2-2,7	1,4-2	7
Alakítható Al ötvözet	2-2,7	1,4-2	7
Al Cu	2,5-3	1,8-2,2	9

1.7.1.3 A redukálás alkalmazása az alkatrészgyártásban

A redukálást igen gyakran a zömítéssel egy műveletben végzik, például úgy, mint azt a 1.63. ábra mutatja. Ezen az ábrán a redukálás és zömítés műveletét elemekre bontva ábrázoltuk.

A fejező szerszám előre mozgása közben tolja be a huzaldarabot a matricába. Amikor a huzal vége eléri a matrica redukáló kúpját, elkezdődik a redukálás (1.63. ábra a része), s a fejező további előre haladása közben az mindaddig folytatódik, amíg a redukált huzalrész vége el nem éri a kilökört (1.63. ábra b része). Ha a redukálással megvalósított alakváltozás

$$\varphi_r = 2 \ln \frac{d}{d_r} \quad (1.71)$$

elég kicsi, (pl. félkemény acéloknaál $\varphi_r < 0,3$) a d átmérőjű szár a redukálás közben nem kerül képlékeny állapotba, azaz nem zömül meg.

Amikor a redukált szárrész vége eléri a kilökört, elkezdődik az anyag matricán kívüli részének zömítése, s az a fejező előre haladása közben be is fejeződik (1.63. ábra c része). A munkadarabot a kilökő távolítja el a matricából.

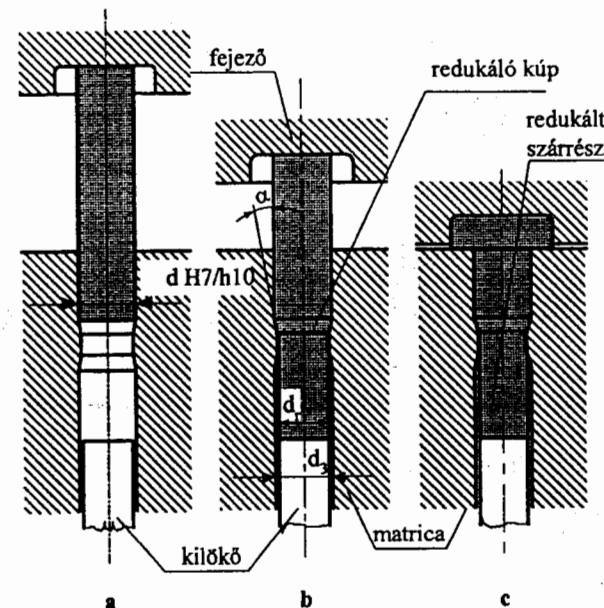
A csavargyártásban a redukálást és a zömítést igen gyakran összevonják. A d szárátmérőjű csavar száranak azt a részét, amelyre mángorlással vagy hengerléssel készítik el a menetet, a menet középtátmérőjével közel azonos méretűre redukálják.

Az 1.63. ábrán feltüntetett d_1 átmérő névleges mérete a d_r „húzófal” átmérő, kopás során kialakuló legnagyobb megengedett méretével azonos és $H8$, $H9$ tűrésű. E két átmérő legnagyobb különbsége $M3$ -as csavarnál 0,1 mm, $M20$ -asnál pedig 0,23 mm. E kis átmérőkülönbség a redukált szárrész elhajlásának és megzömülésének korlátozása miatt szükséges.

A redukált rész további redukálása sem jelent nehézséget, így lépcsős tengelyek (kisebb villanymotorok tengelyei, kerékpár pedál-tengelyek) állíthatók elő több egymást követő redukálással, húzott rúdból darabolt előgyártmányból.

1.7.1.4 Hidegzömítő sajtók fajtái és működésük

A hidegzömítés igen termelékeny eljárás. Szerszámgepei, a hidegzömítő sajtók automatikus, igen nagy percnkénti ütésszámmal működnek. A darab méreteitől függően 20-400 db-ot készítenek percnként. Nagyon kis anyagvesztéssel, rendszerint sorjamentesen dolgoznak. Egy-egy munkadarabra való beállításuk a munkadarab méreteinek megfelelő szerszámokat (matrica, előverő, fejező, esetleg ki-



1.63. ábra

Redukálás és zömítés egy műveletben
a) a redukálás kezdete, b) a redukálás vége,
c) a zömítés vége

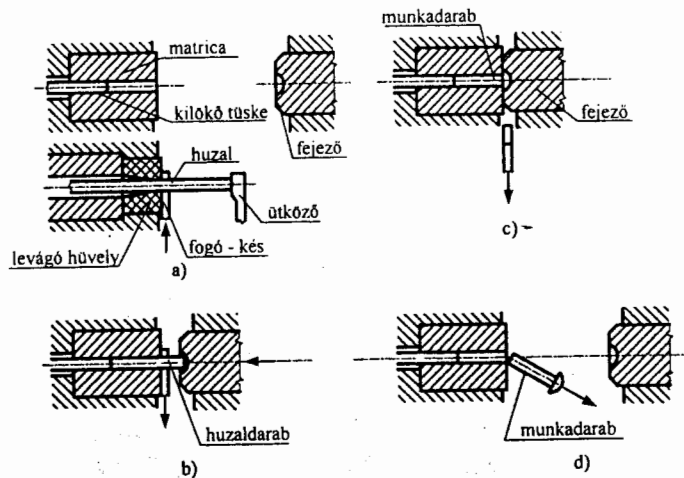
lökő) és hosszú beállítási időt igényel, ezért csak nagy sorozatban gyártott munkadaraboknál használhatók gazdaságosan. Leginkább szabványos kötőelemeket gyártanak e gépeken, de más hidegzömíthető alkatrészekből is jelentkezik a gazdaságos sorozatnagyságnak megfelelő igény.

A különféle hidegzömítő sajtók működés szempontjából abban megegyeznek, hogy a huzaltekercs, illetve rúd alakú nyersanyagot önműködően adagolják a gépbe, ott beállítható hosszra vágják, majd egy, vagy több ütéssel alakítják, aztán kilökök onnan.

A hidegzömítő sajtók fekvő elrendezésű forgattyús sajtók. A hidegzömítő sajtó álló szerszámfele lehet zárt vagy osztott kivitelű. Eszerint tehát van:

- Zárt matricás sajtó (a gyakorlatban matricás sajtónak nevezik) és
- Osztott matricás sajtó (a gyakorlatban pofás sajtónak nevezik).

A rajtuk gyártható munkadarabok l/d viszonya szerint megkülönböztetünk egy-nyomású, kétnyomású és háromnyomású sajtót. A sajtón annyi mozgó szerszámfele van, ahány nyomású. Ezek egymás után, két ütés között kerülnek a darab, illetőleg a matrica tengelyvonalába.



1.64. ábra

Egynyomású zártmatricás sajtó szerszámhelyezetei

Példaként az 1.64. ábrán az egynyomású zártmatricás sajtó jellegzetes szerszámhelyezetei láthatók. Ezt vizsgálva a gép működése a következő. A huzalélutoló szerkezet a darab térfogatával egyező térfogatú huzalt tol be a levágóhüvelybe. A huzal hosszát állítható ütőköző határolja (1.64. ábra a része). Ez után a levágó-kés (fogókés) elindul előre és elnyírja a huzalt. A kés rugós fogó segítségével megfogja a huzaldarabot, tovább viszi a zárt matrica tengelyvonalába, s ott megáll. A nyomásán közben előre mozgatja a fejezőt. A fejező a huzal végén felütöközve (1.64. ábra b része) azt kezdi betolni a matricába. Miután a huzal elég mélyen becsúszott a matricába, a fogókés tartó funkciójára már nincs szükség, annak távozni kell a matrica elől, hogy helyet adjon a fejezőnek. Mikor a huzalvég a kilökőtúske homlokklapján felütöközik, elkezdődik a zömítés, s ez a medve matricaoldali holt-pontjában be is fejeződik (1.64. ábra c része). Ezután a nyomásán elindul hátra, majd a kilökőtúske kitolja a zömített darabot a matricából (1.64. ábra d része). Ebben az időben a levágókés már megy előre az új huzaldarabbal, tehát elkezdődik a következő munkaciklus. Ezeket a gépeket száraz munkadarabok gyártására használják.

Hasonló módon működnek az anyagdarab teljes térfogatát zömítő zártmatricás sajtók is. A teljes térfogat zömítésekor, rövid anyagdarabot vág le a gép, s annak a zömítőbélélyeggel való betolása nem oldható meg gazdaságosan. Rövidre vágott

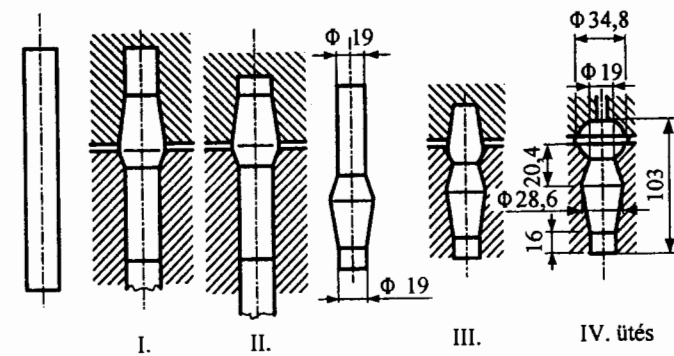
daraboknál (pl. anya, stb.) az anyagütököző együtt mozog a levágókéssel, s a matrica elé érve belöki oda a levágott darabot. Így a levágókés időben – kényszerpályával vezérelhetően – távozik a zömítőtúske útjából.

Az osztott matricás (pofás) sajtók matricája két részből készül. Az osztás a matrica furatának szimmetriasiskjába esik. Az egyik matricafél rögzített a másik nyit és zár a munka közben. Az alakítás közben zárt, a kilökéskor nyitott a matrica. Így hosszú szárú ($l_{szár}/d > 10$) darabok zömítésekor, vagy nem húzott, hanem hengerelt alapanyag feldolgozásakor sem okoz nehézséget a munkadarab kilökése.

A két, vagy háromnyomású sajtóknál két megoldás ismeretes. Az egyik esetben egy matrica van és az ebben lévő munkadarabra üt rá egymás után kettő, vagy három ellenszerszám. A másik megoldás az, hogy annyi szerszám-pár van a gépen ahány nyomású a gép. Itt az első szerszám matricájából kilökött darabot szállító fogó (üzemi nevén „madár”) viszi a következő matrica elé, ahol további alakítása történik.

1.7.1.5 Kormány-gömbcsapszeg hidegzömítése

A hidegzömítést leggyakrabban a szegecsek és a csavarok gyártásában alkalmazzák. A gépkocsi gyártásban vannak olyan alkatrészek, amelyek hidegzömítéssel gazdaságosan gyárthatók. Hidegen zömített alkatrészek előállítására igen gyakran alkalmaznak összetett műveleti sorrendet. Említésre méltó példa az 1.65. ábrán feltüntetett kormány-gömbcsapszeg gyártása. Az ábrán követhető a darab alakváltozása.



1.65. ábra

Kormány-gömbcsapszeg hideg zömítése

Az anyag darabolását és az első két ütést kétnyomású zártmatricás hidegzömítő sajtó végzi. Az így nyert darabot darabrendezővel és adagolóval ellátott kétnyomású osztott matricás (pofás) sajtó újabb két ütéssel alakítja készre.

A darab gömb alakú része csak az üreg túltöltésével, azaz sorjaképződéssel alakítható ki hiánytalanul. A golyóscsapágyak golyóit is sorjával, ún. „szaturnuszgyűrűvel” zömítik.

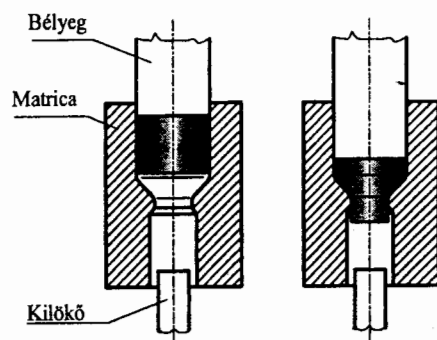
1.7.2 Hidegfolytatás

Folytatásnak nevezzük az olyan képlékeny alakító műveleteket, amelyek során az előgyártmányt egy bélyeg benyomásával szorítjuk ki, az alakot adó nyílás kivételével minden oldalról zárt üregből, a matricából. A darab keresztmetszete az alakítás közben mindig csökken.

1.7.2.1 Folyató eljárások

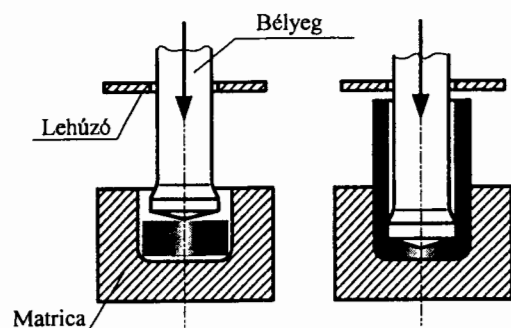
A szerszámképzés, az erő-és teljesítményszükséglet és a technológia számos egyéb jellemzője döntően különböző aszerint, hogy az anyag a bélyeghez képest milyen irányban folyik. Ezért a folytatás eljárásait a következő csoportokra osztjuk:

- *Előre folytatás:* Az anyag a bélyeg mozgásával azonos irányba folyik. (1.66. ábra)



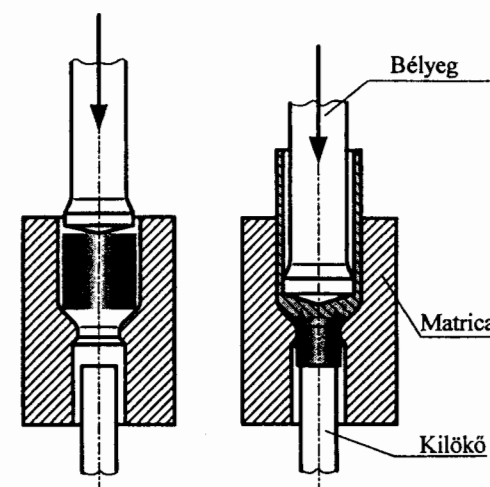
1.66. ábra
Tömör test előre folytatása

- *Hátra folytatás:* Az anyag a bélyeg mozgásával ellentétes irányba folyik. (1.67. ábra)



1.67. ábra
Üreges test hátra folytatása

- *Kétirányú folytatás:* Az anyag egy része a bélyeg irányába, másik része az ellentétes irányban folyik. (1.68. ábra)



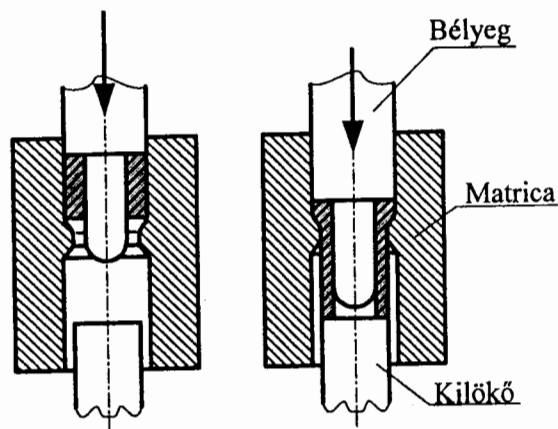
1.68. ábra
Kétirányú vegyes folytatás

Az eddig megismert vázlatok alapján kézenfekvő a darab alakja szerinti további csoportosítás:

- *Tömör testek folytatása:* Ezt az eljárást csapszegfolyatásnak, illetve rúdfolytatásnak is nevezik (1.66. ábra).
- *Üreges testek folytatása:* Fenéssel készülő daraboknál csésze-folytatásnak, fenék nélküli daraboknál csőfolytatásnak is nevezik (1.67. ábra, 1.69. ábra).
- *Vegyes folytatásnak* nevezik az eljárást, ha a darabnak tömör és üreges része is van (1.68. ábra).

Az előző két csoportosítás szerint 9 féle eljárás ismert. Ezek közül a leggyakrabban a következőket alkalmazzák:

- Tömör testek előre folytatása, (1.66. ábra, pl. csavarok gyártása).
- Üreges testek előre folytatása lyukas, vagy csésze alakú félgyártmányból (1.69. ábra, pl. vékony falú hüvelyek gyártása).
- Üreges testek előre folytatása tömör félgyártmányból ellenbélyeggel (1.70. ábra). Ritkábban alkalmazzák, pl. autó kerékanya.
- Üreges testek hátra folytatása (1.67. ábra pl. galvánelem Zn köpenye, kondenzátor burák Al 99,5-ből).
- Üreges test kétirányú folytatása ellenbélyeggel (1.71. ábra a része) és anélkül (1.71. ábra b része).
- Kétirányú vegyes folytatás (pl. motorkerékpár teleszkóp csövének első művelete, lásd 1.79. ábrán).



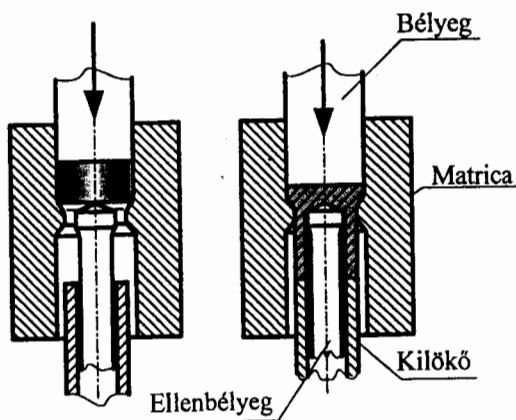
1.69. ábra
Üreges test előre folytatása

Ha az előző vázlatokat megvizsgáljuk, azt látjuk, hogy a folytatás valamennyi eljárásánál az alakváltozás olyan feszültségállapot hatására jön létre, amelyet három nyomó főfeszültséggel jellemezhetünk. Ilyen esetben az anyag alakváltozó képessége igen nagy. Ezzel magyarázható az, hogy az

rehozható alakváltozás értékét nem az anyag alakíthatósága, hanem a szerszámok szilárdsága határozza meg.

Aszerint, hogy a folytatást a lágyulás hőmérséklete alatt, vagy felett végezzük, hidegfolytatás, illetve melegfolytatás az eljárás neve. A gyakorlatban mindkét eljárás ismert, de még egyik sem terjedt el olyan mértékben, mint ahogy azt előnyei indokolják.

A hidegfolytatás elnevezés nem régi. Korábban hidegkiszajtolás, hidegfröccsentés, hidegfröccs-sajtolás névvel illették. A hidegfolytatás korszerű eljárás. Ha alkalmazásának műszaki feltételei és a megfelelő sorozatnagyság adott, rendkívül gazdaságos. Bevezetésére, illetve elterjesztésére világszerte törekednek.



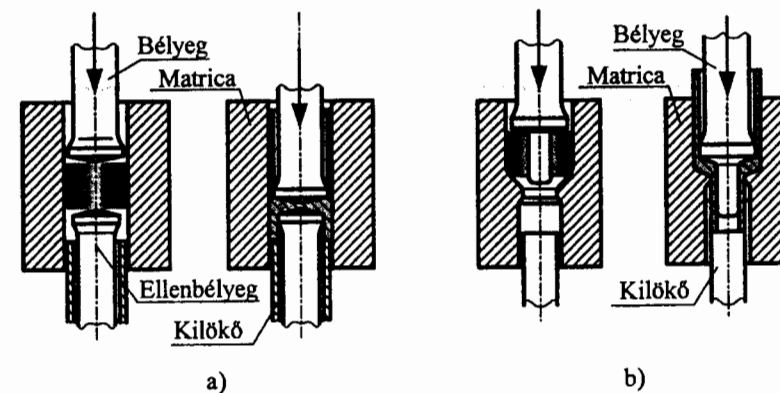
1.70. ábra
Üreges test előre folytatása tömör félgyártmányból, ellenbélyeggel

Kezdetben csak lágy fémek (őn, horgany, alumínium, réz, sárgaréz) alakítását végezték hidegfolytatással. Acél munkadarabokat a szerszám és munkadarab berágódása miatt, 1939-ig nem sikerült gazdaságosan hidegfolytatni. Singer dolgozott ki olyan eljárást, amely szerint az acél munkadarab felületén porózus foszfátréteget képezve, az folytatás közben kenő-, illetve kenőanyag-hordozó réteg szerepét tölti be és meggátolja a berágódást.

Magyarországon az alumínium hidegfolytatásának több évtizedes múltja van. Több üzemben célt is hidegfolytatnak. Az így előállított acél alkatrészek mennyisége és választéka még igen szerény. E tekintetben rohamos fejlődés várható.

A hidegfolytatásnak a megalakító és forgácsoló eljárásokkal szemben az alábbi lényeges előnyei vannak:

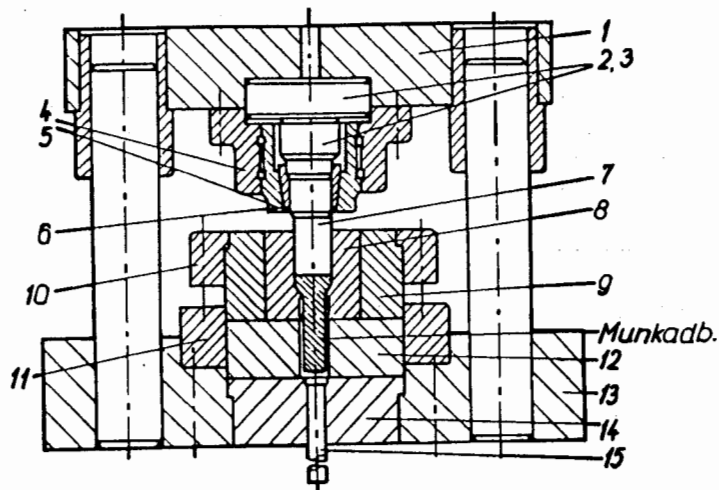
- Az anyag keményedik, így szilárdsága, kopásállósága és kifáradási határa nő. (A folyáshatár pl. 2-3-szorosára nő.)
- A darab szálelrendeződése jó.
- Pontos eljárás, az átmérő méreteknél az IT9-IT11 tűrésminőség gazdaságosan tartható.
- A felületminőség igen jó: $R_a = 0,3 - 3,5 \mu m$
- Igen termelékeny eljárás: 15-200 db/min.
- Kevés a hulladék.



1.71. ábra
Üreges test kétirányú folytatása, ellenbélyeggel és anélkül

1.7.2.2 Tömör testek előrefolytatásának szerszámelemei

Az 1.72. ábrán egy tömör testek előre folytatására alkalmas vezetőoszlopos szerszám összeállítási rajza látható.



1.72. ábra

Szerszám, tömör testek előre folytatásához

A szerszám 8. jelű folyató gyűrűjét, a nagy belső nyomás elviselésére, a fedéssel illesztett 9. jelű előfeszítő gyűrűvel („pántgyűrűvel”) szerelték. A 12. jelű közbelső gyűrű azonkívül, hogy a folytatott szárrész számára hosszirányban helyet biztosít, annak elgörbülését is gátolja. A 14. jelű alsó nyomólap az alakítóerőt az alakító gép szerszámartójának adja át, és vezeti a gép által működtetett 15. jelű kilökött. Előrefolytatásnál – a zömítéssel ellentétben – a kilökött és a munkadarab között, csak a szerszám nyílását követő kilökés közben ébredhet erő.

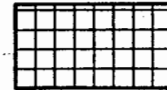
A 7. jelű folyató bélyeget az 5. jelű menetes hüvely meghúzásával rögzítik a szerszám fejlapjához, illetve szorítják hozzá a 2. és 3. jelű nyomólapokhoz. A 4. és 5. jelű elemek egytengelyűségét – mivel a menet nem központosit – két hengeres felület illesztésével biztosították.

A 6. jelű bélyegbefogó betét azért szükséges, mert ezt a szerszámházat – amely rendszerint az alakító gép tartozéka – különböző munkadarabok folytatására használják, így más munkadarab folytatása előtt a szerszám felső részéből csak a bélyeget (7) és annak befogó betétjét (6) kell cserélni. Az alsó részben ekkor a 8., 9., 12., 14. és 15. jelű szerszámelemek cseréje szükséges. Ha a 14. jelű alsó nyomólapba cserélhető, peremes perselyt illesztenek, a nyomólap cseréje megtakarítható.

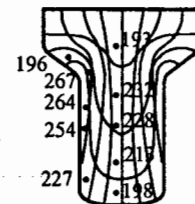
A bélyeg és matrica egytengelyűségének biztosításában a már említett elemeken kívül a 11. jelű központosító gyűrű és a 2. jelű nyomólap is szerepet játszik.

A folytatott anyag helyi alakváltozása a keresztmetszet mentén nem állandó. Az anyag elmozdulása folyatás közben a folytatókúp felületének környezetében jóval kisebb, mint a darab tengelyében. Ezt a jelenséget, szimmetriasíkján osztott és négyzetráccsal ellátott darab folytatás előtti és utáni képeinek összehasonlításakor jól megfigyelhetjük (1.73. ábra). Ezen az ábrán a számok a Vickers keménységet jelentik. A keménységek eltérése a helyi alakváltozások eltérő voltát bizonyítja.

HV = 90 ... 110



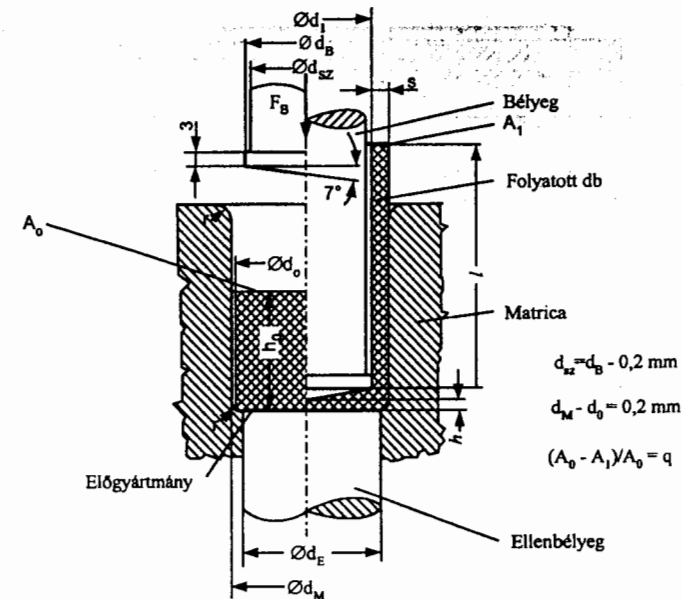
HV



1.7.2.3 Üreges testek hátrafolytatása

Az 1.74. ábrán az üreges test hátrafolytatásának vázlata és az alkalmazott jelölések láthatók. Ennél az alakító eljárásnál az anyag áramlása igen bonyolult, s a vizsgálatok szerint erősen változik aszerint, hogy mekkora az s/d_M viszony, a h/d_M viszony, a folytatóbélyeg homlokszöge, illetve a súrlódási tényező.

Az anyag folyását az előgyártmány szimmetriasíkján elhelyezett négyzetrács torzulása alapján az 1.75. ábra szemlélteti. A számok az anyag Vickers keménységét jelentik. Üreges test hátrafolytatására alkalmas szerszámot látunk az 1.76. ábrán. Ez a szerszám sok tekintetben azonos az 1.72. ábrán bemutatott szerszámmal, ezért itt csak a jellegzetes eltéréseket említjük meg.



1.74. ábra

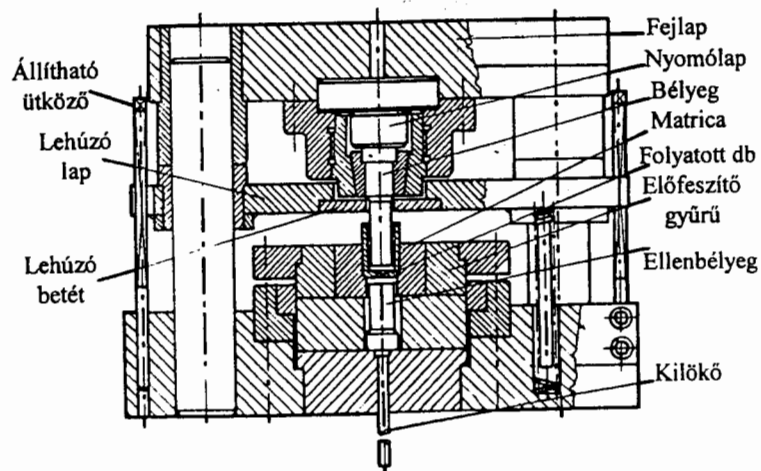
Üreges testek hátrafolytatásának szerszámelemei

A matricáureget az alsó nyomólapon felfekvő ellenbélyeg zárja. A kész munkadarab kilökését is az ellenbélyeg végzi, az alakító gép által mozgatott kilökő segítségével.

A lehúzó lap és a fejlap vezető perselyeit a szerszám alsó rész és a lehúzó lap közé beépített rugó szorítja össze. Ezek mindaddig együtt mozognak, amíg az állítható ütköző feje a lehúzó lapon fel nem ütközik. Amikor a szerszám nyitása közben a lehúzó lap eléri az ütköző fejét, megáll, s a tovább mozgó bélyegről a lehúzó-betét lehúzza a kész munkadarabot.

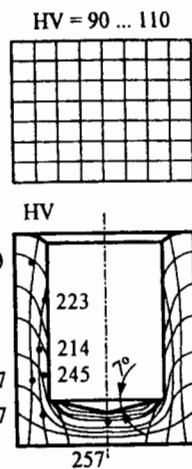
Üreges testek hátrafolytatásánál a lehúzó igen gyakran készül az előbb bemutatott elmozduló kivitelben, mert ezzel a bélyeghossz és a kihajlás veszélye csökkenthető.

Vékony falú és vékony fenekű üreges testeknél a bélyeg kihúzza a munkadarabot a matricából, ezért ellenbélyegre nincs szükség. Ilyenkor a matrica, a gyártás megkönnyítése és a feszültségállapot javítása céljából 1.77. ábra szerint gyűrűből (a), tőkéből (b) és a gyűrűt előfeszítő, valamint a tőkét központozító (c) részből áll.



1.76. ábra

Üreges testek hátrafolytatására alkalmas szerszám



1.75. ábra

Az előgyártmány szimmetriasíkjára felvitt négyzetrács torzulása, hátra folytatáskor

1.7.3 Példák a hideg térfogat-alakítás alkalmazására

Az 1.78. ábrán $M10 \times 50$ méretű hatlapfejű csavar hidegalakítását követhetjük. Az alakítást többmunkahelyzetes (többlépcsős) folyató-zömítő sajton végzik. E gépekre több matrica, illetve ezekkel szemben a gép nyomószánjára egy-egy ellen-szerszám szerelhető fel. A munkadarabot egyik matrica elöl, a másik elé alternáló mozgást végző rugós fogók szállítják. A fogók rugós pófái közé az ábrán látható kilökök tolják be a darabot. A gép minden löket alatt elkészít egy munkadarabot.

Az ábra „a” részén a rúddarab levágását, „b” részén a szárrész előre folytatását, „c” részén a fej előzömítését, „d” részén a fej készre zömítését, „e” részén a hengeresre zömített fej hatszög alakúra vágását látjuk.

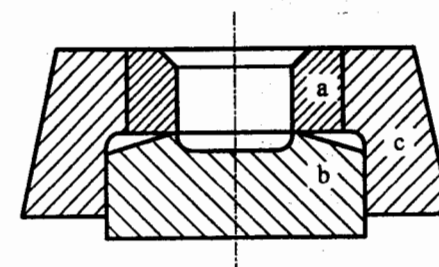
A kiinduló anyagátmérőt abból a feltételből határozhatjuk meg, hogy a szár és a fej azonos szilárdságú legyen, azaz azonos mértékben keményedjen. Ennek feltétele

$$\varphi_{szár} = \varphi_{fej}, \quad (1.72)$$

$$2 \ln \frac{d_{ki}}{d_{szár}} = 2 \ln \frac{d_{fej}}{d_{ki}} \quad (1.73)$$

ebből

$$d_{ki} = \sqrt{d_{fej} \cdot d_{szár}} \quad (1.74)$$

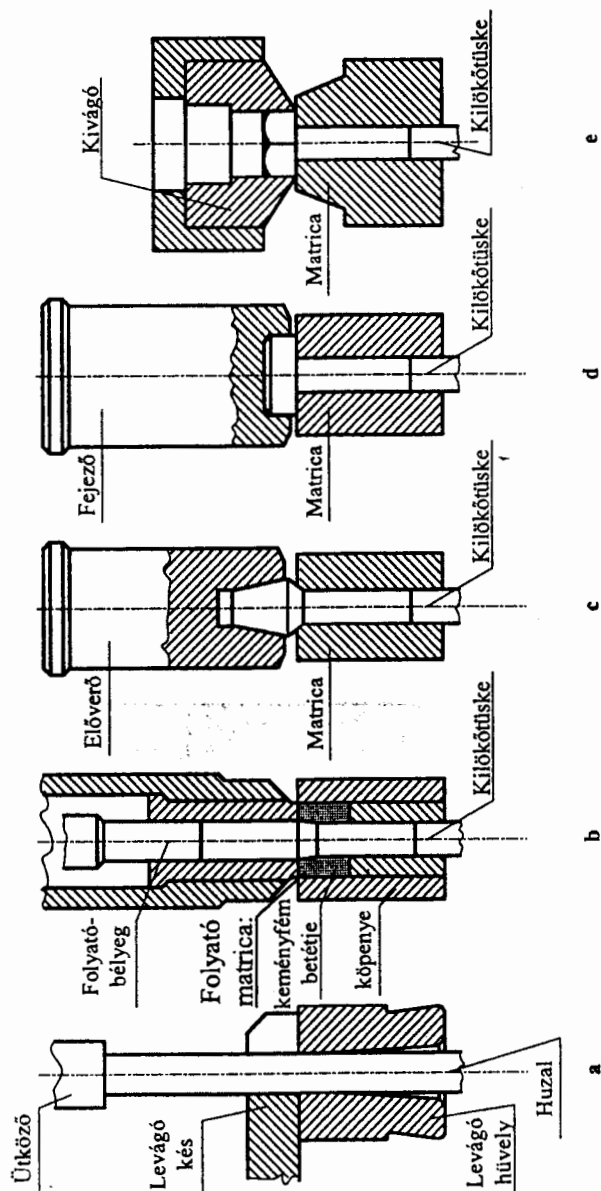


1.77. ábra

Több részes hátrafolyató matrica

Jelentős előnye az eljárásnak, hogy kis szilárdságú anyagból is viszonylag nagy szilárdságú csavarok gyárthatók. A felhasznált anyag lágyított C35 ($C=0,35\%$) jelű acél. Szilárdsága és folyási határa az alakítás során a nemesítéssel elérhető értékre nő (8.8).

Az 1.79. ábra motorkerékpár első teleszkóp villacső hidegalakítását szemlélteti. Az ábra „a” részén a leszabott és sorjázott nyersdarab látható (fűrészelés, esztergálás). Ezt lágyítás és felületkezelés után kétirányú vegyes folytatással a „b” fölé látható formára alakítják. Ilyen méretek mellett a hátrafolyatás erőszükséglete nagyobb, mint az előrefolyatásé, így az $\varnothing 42$ bélyeg nyomásának hatására az előrefolyatás is végbe megy. Lágyítás és felületkezelés után egy másik alakító gépen elvégzik az üreges test előre folytatását (c ábrarészlet). Az így nyert darabról

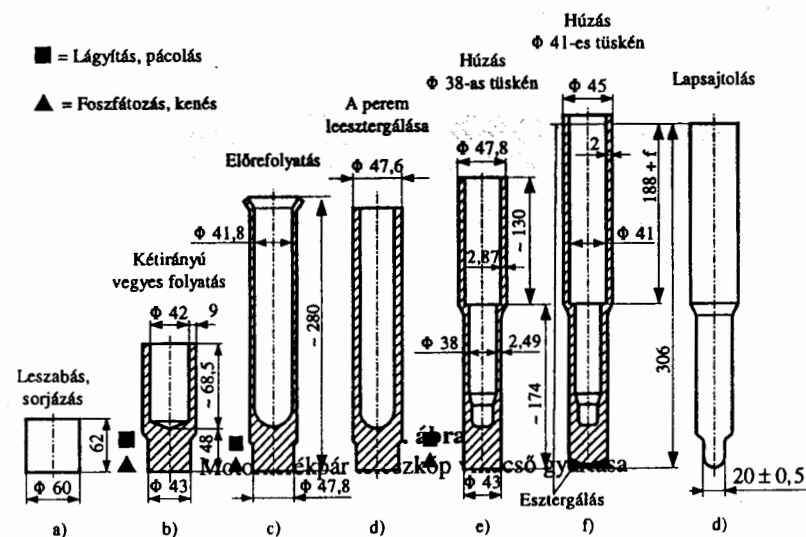


1.78. ábra
Hatlapfejű csavar gyártása

leesztergálják a folytatásnál maradt peremet (d ábrarészlet), majd lágyítják és felületkezelik. Ez után tuskén $\varnothing 43$ mm, majd $\varnothing 45$ mm átmérőjű húzógyűrűbe tolva falvékonyító húzással alakítják tovább (e , és f ábrarészlet). Az alsó és felső rész méretre esztergálása után az alsó részt laposra sajtolják (g ábrarészlet).

A gyártmány anyaga $C 10 K$ ($C=0,1\%$) hengerelt kereskedelmi acélrúd. A hidegfolyatást itt kimondottan alakadásra használják. Szilárdságnövelő hatását ugyanis az utánuk következő lágyítással megszüntették. A szilárdság megmaradását a műveletek nem célgépen, hanem egytetemes rendeltetésű, egy-egy műveletre felszerszámozott sajtókon végzik.

Az itt tanult térfogat-alakító műveletek erő-, munka- és teljesítményszükségletének és a szerzálemek terhelésének számításával, valamint a szerzálemek szilárdsági méretezésével a technológus hallgatók a 8. félévben a „Képlékeny alakítás” tárgy keretében ismerkednek meg.



1.8 LEMEZALAKÍTÓ ELJÁRÁSOK

A lemezalakító eljárások alapanyaga lehet táblalemez (pl. 2000 mm hosszirányú, 1000 mm szélességű, 1 mm vastagságú), illetve tekercsben szállított termék (szalag), amelynek a vastagsága és a szélessége, valamint a tekercs tömege a jellemzője.

A tekercsben szállított szalag a tekercselésnél maradó alakváltozást szenved, így a tekercsről lecsévélve görbe marad, ezért a lecsévélés közben görgős egyengetőegységen átvezetve egyengetik.

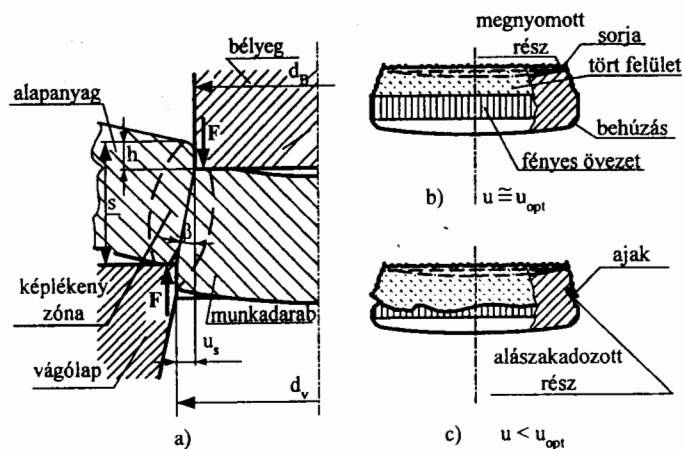
A lemezek és a szalagok anyagminőségét, mechanikai jellemzőit, technológiai tulajdonságait (pl. sajtolható, hajlítható, mélyhúzható) méreteit és a méretek tűrését a vonatkozó szabványok tartalmazzák. Acél finomlemezekre ($s=0,2-2,8\text{mm}$) az MSZ 23, acél szalagokra ($s=0,15-2,5\text{mm}$) az MSZ 4213 szabvány vonatkozik.

Lemezalakításnak nevezzük a lemezek és a szalagok képlékeny hidegalakítással végzett olyan feldolgozását, amelynek során a lemezvastagság nem, vagy csak kis mértékben változik meg.

A lemezalakító műveleteket szokás anyagszétválasztással végzett műveletekre, azaz vágó műveletekre és anyagszétválasztás nélkül végzett, alakadó műveletekre (hajlítás, mélyhúzás, stb.) osztani.

1.8.1 Lemezvágó eljárások

A lemezvágó eljárások általában nyírásos vágások, ahol két egymás mellett elmozduló szerszámelem – ahogy az az 1.80. ábrán is látható – az ezek élet összekötő egyenes környezetében az ún. képlékeny zónában (lásd az ábrán) maradó alakváltozás, majd egy bizonyos mértékű (az ábrán „ h ”-val jelöltük) behatolás után repedés és törés következik be.



1.80. ábra

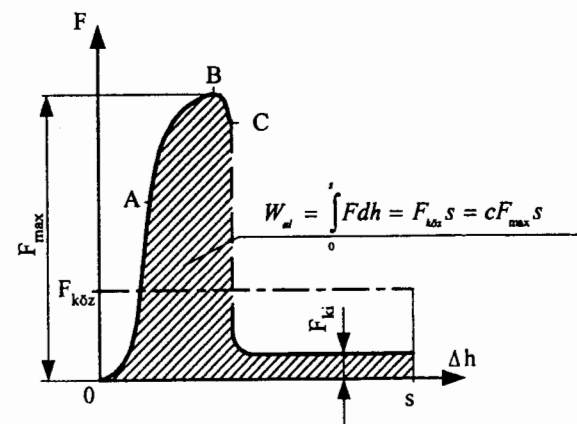
Vágás: a) a vágás elve, b) vágott felület az optimális vágórésnél, c) vágott felület az optimálisnál kisebb vágórésnél

Az 1.80. ábrán az egyik szerszámelem a d_v átmérőjű vágólap a másik szerszámelem a d_B átmérőjű bélyeg. A köztük lévő $u_s = (d_v - d_B)/2$ rés a vágórés (indexét a német *schneiden* = vágás szóból kapta). Ez az ábra azt az állapotot mutatja, amikor a képlékeny alakváltozás közbeni bélyegbehatolás befejeződött, és a vágólap élénél keletkezett repedés innen elindulva elérte a bélyeg élet, tehát az

anyagszétválasztás, a nyírásos vágási folyamat befejeződött. Ezt követően a munkadarab és a vágólap, valamint a bélyeg és az alapanyag közötti súrlódóerőket legyőzve a bélyeg áttolja a vágólapon a kivágott darabot.

Az 1.81. ábrán egy lágyacéllemez vágása során mért erő-bélyegelmozdulás diagram látható. Ennek ismeretében írjuk le a vágási folyamat lefolyását.

Amikor a vágólapon fekvő lemezt eléri a bélyeg, akkor a lemez rugalmasan deformálódik, így a két szerszám éle terheli azt. Az erő növekedése közben a szerszámok élének környezetében helyi maradó alakváltozást okozva, belenyomódnak a lemezbe. Ez a jelenség az 1.81. ábra O és A pontja között játszódik le. Az A pontbelinél nagyobb erő hatására már a két él közötti egész vastagság a képlékeny alakváltozás állapotába kerül, így megindul a két lemezrésznek a bélyeg mozgása irányában való relatív elmozdulása. Ennek az elmozdulásnak az elején a lemeznek a szerszámok oldalfelülete melletti része rádiuszosra deformálódik (ezt a részt *behúzási tartomány*nak nevezik), majd a bélyeg további behatolása közben az anyag a két szerszám oldalfelületéhez szorulva mozdul el, így ott egy fényes övezet hoz létre. Amíg az utóbbi két jelenség lezajlik, a vágóerő az 1.81. ábrán jelölt A ponttól a C pontig változik, tehát közben a vágóerő elérte az F_{max} -ot és csökkenni kezdett. A vágóerő növekedése közben a szerszámok homloklfelületének a lemezzel érintkező szélessége nő, ami jól látszik az így vágott darabokon és ezt *megnyomott résznek*, vagy *ütésnyom*nak nevezzük.



1.81. ábra

Vágóerő-út diagram és a vágás munkája

A C pontbeli erőnél jelenik meg a vágólap élénél a repedés, ami igen gyorsan nő és átterjed a két szerszámél közötti anyagrészen. Ezt követően már csak a szerszámok oldalfelületén ébredő súrlódóerőket kell legyőzni (lásd az 1.81. ábrán az F_{ki} kitolóerőt) és a bélyeg alatti anyagrészt átesik a vágólap nyílásán („áttörésén”). A vágólap

élénél elinduló repedés az 1.80. ábrán bejelölt szögben terjed. Ha a vágórés helyes, a repedés a bélyeg élénél fejeződik be, ha túl nagy, akkor a bélyeg éle mellett elhaladva a bélyeg oldalfelületénél a felső anyagrészt fényes övezetben fejeződik be, így ott egy kiálló éles rész a sorja keletkezik. (Itt jegyezzük meg, hogy a már kopott, a használat során lekerekedett elű szerszámok is sorjás vágott felületet okoznak). Ha a vágórés túl kicsi a repedés a bélyeg homloklfelületéhez tart, de egy bizonyos elő-

rehaladás után leáll, majd a másik vágóéltől elinduló repedés terjedésével fejlődik be a vágás (lásd a 1.80. ábra c részletét).

A nyírásos vágással vágott darabokon tehát az alábbi jellegzetes részek vannak: (lásd az 1.80. ábrát): behúzási tartomány (lekerékített „él”), fényes övezet (kopott szerszámmal a vágás irányába eső csikokkal), tört felület (matt, mint a törési felületek), megnyomott rész, sorja. Eddig nem említettük, hogy a munkadarab nem sík kissé domború.

A vágóerő maximumát tekintjük vágóerőnek és ezt az

$$F = k_v \cdot A_{nyírt} \cdot \tau_m = k_v \cdot L \cdot s \cdot \tau_m [N] \quad (1.75)$$

összefüggéssel számítjuk, ahol

$A_{nyírt} = L \cdot s [\text{mm}^2]$: a nyírt keresztmetszet,
 L [mm]: a vágási vonal hossza,
 s [mm]: a lemezvastagság,
 τ_m [MPa]: a vágott anyag nyírósszilárdsága
 $k_v = 1,1-1,3$: korrekciós tényező.

Tekintettel arra, hogy az anyagszabványokban általában a különböző lemezek szakítósszilárdsága (R_m) van megadva, a nyírósszilárdságot

$$\tau_m = 0,8 R_m \quad (1.76)$$

összefüggéssel számítjuk ki.

A vágás munkaszükséglete, ahogy az 1.81. ábrán levezettük, a

$$W = \frac{c \cdot F \cdot s}{1000} [J] \quad (1.77)$$

összefüggéssel számítható, ahol

$$c = 0,3 - 0,7$$

tényező az anyagminőségtől és a vágóréstől függő állandó.

Kemény lemezeknél, ahol a bélyegnek a repedés megindulása előtti behatolása kicsi és nagyobb vágóréseknél az alsó határ érvényes.

A vágórés nagyságát 3 mm lemezvastagságig az

$$u_s = c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_m} [mm] \quad (1.78)$$

összefüggéssel számolhatjuk, ahol c az ún. vágórés tényező 0,0016-0,011 értékű, tapasztalati tényező.

Ha a cél a szép vágási felület, a széles fényes öv, akkor a $c=0,0016$, ha a legkisebb vágási munkára törekszünk $c=0,011$ értékkel számolhatunk. A vágóerő nagysága nem függ jelentősen a vágóréstől, a munka viszont igen.

Az (1.78) összefüggés lágyacél lemez esetére ($R_m=400 \text{ MPa}$, $\tau_m=0,8 R_m=320 \text{ MPa}$) a c tényező megadott két szélső értékével számolva $u_s=(0,03+0,2) \cdot s$ összefüggést eredményez. Ez azt jelenti, hogy ennél az anyagnál a vágórés a lemezvastagság 3+20 százaléka közé eshet a céltól függően.

1.8.1.1 Lemezvágó ollók

A lemezvágó ollók leggyakrabban alkalmazott gépe a *táblaolló*, amely táblalemezek egyenes vonal mentén való szétvágására, darabolására alkalmas. A darabolás fogalma alatt a lemezalakításban az anyag nem zárt vonal mentén történő teljes szétválasztását értjük.

Az 1.82. ábra egy táblaolló elvi vázlatát mutatja. Ez az olló kettő, B hosszúságú egyenes élű késsel vág. Az egyik kést a gép állványához, a másikat az alternáló mozgásra képes késgerendára csavarozzák.

A késgerenda egyenes csúszóvezetékben mozog le-fel, vagy egy tengely körül billenő mozgást

végez. Az itteni vázlaton az utóbbi megoldás látszik. Itt a késgerenda forgótengelyének excentrikus kialakítása teszi lehetővé a vágórés változtatását. Egy ilyen ollón különböző vastagságú lemezeket vágunk, így a vágórés átállítása szükséges. Az állítható ütköző a levágandó lemezsáv szélességének beállítására való. A leszorító a vágott lemeznek a két késen ébredő vágóerő nyomatóka által létrehozott nyomatóka ellensúlyozására, tehát a vágott lemez billenésének (az asztalról való felemelkedésének) megakadályozására való.

A két kés éle lehet egymással párhuzamos (ahogy az 1.83. ábrán látszik), vagy szöveget bezáró (lásd az 1.83. ábrán), így van párhuzamos élű és ferde élű táblaolló.

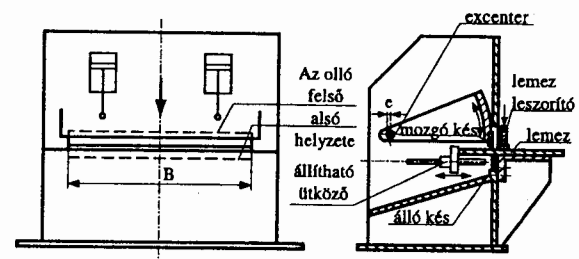
A ferde élű olló

előnye az, hogy az adott pillanatban vágott keresztmetszet és így a vágóerő kicsi. Hátránya az, hogy a levágott sávot meghajlítja és elcsavarja.

Ha egy s vastagságú lemezt L hosszra kell elvágni, akkor párhuzamos élű ollónál a nyírt keresztmetszet

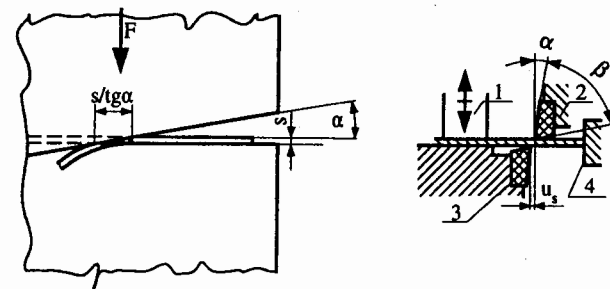
$A_{nyírt} = L \cdot s$ így a vágóerő:

$$F = k_v \cdot L \cdot s \cdot \tau_m.$$



1.82. ábra

Darabolás egyenes élű, lengő mozgású, excenterrel állítható vágórésű táblaollón



1.83. ábr

Vágás ferde élű ollóval: 1. leszorító elem, 2. mozgó kés, 3. álló kés, 4. állítható ütköző

Ferdeélű ollónál az adott pillanatban nyírt keresztmetszet (lásd az 1.83. ábra vonalkázott háromszögét).

$$A_{nyírt} = \frac{1}{2} s \cdot \frac{s}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{s^2}{2\alpha} \quad (1.79)$$

így a vágóerő

$$F_{ferde} = (1 + 0,05\alpha) \frac{s^2}{2\alpha} \cdot \tau_m \quad (1.80)$$

Ebben az összefüggésben a $0,05 \cdot \alpha$ a lemezsáv elgörbítéséhez és elcsavarásához szükséges erőnövekedés figyelembevételére szolgál.

A mai modern táblaollókon nemcsak a vágórés hanem az α késszög is állítható.

A lemezvágás másik jellegzetes ollója a *hasító köröllő*, ahol két meghajtott késtengelyre körkések vannak rögzítve (lásd az 1.84. ábrán), amelyek az eljük vezetett lemezt, vagy szalagot behúzzák (lásd a hengerlésnél a behúzás feltételét) és egyenes vonal mentén szétvágják. A behúzás akkor valósul meg, ha a kések átmérője elég nagy a lemezvastagsághoz képest, azaz

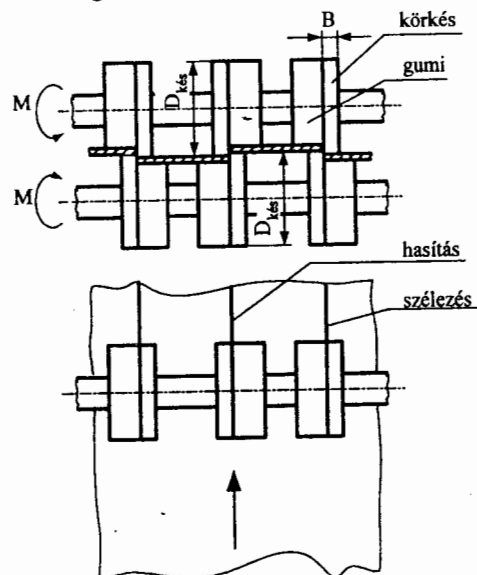
$$D_{kés} = (30 \div 70) s.$$

A rajzon a körkések mellett lévő gumik, ma inkább poliuretán gyűrűk, a vágás közbeni görbülés megakadályozását szolgálják.

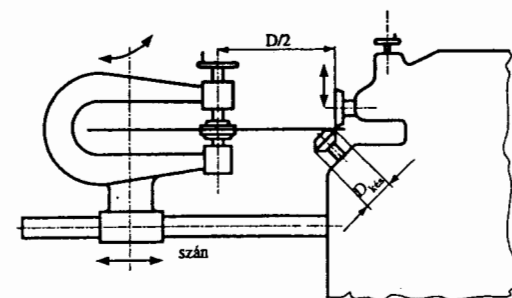
A hasító köröllők táblalemezeknek sávokra való szétvágására (pl. konzervgyárakban) és széles szalagok több keskenyebb szalagá váló szétválasztására alkalmasak. Utóbbi esetben természetesen a keskenyebb szalagok felcsévéléséről gondoskodni kell.

A *tárcsavágó köröllő* táblaollón négyzet alakúra levágott lemezdarabból kör alakú tárcsa előállítására, „körülvágásra” való. A gép leegyszerűsített vázlatos rajza az 1.85. ábra.

A gép két körkésének éle azonos átmérőjű a két késtengely azonos fordulatszámúval van meghajtva. A felső késtengely vízszintes az alsó ferde (rendszerint 45° -os). Az alsó körkés élét két köszörült kúp felület adja, a felső körkés palástja kissé kúpos ($1,5-3^\circ$), homlokfelülete sík. Az előgyártmányt egy csapágyazott (forogni képes) központfogó szorítja. A vágandó tárcsa átmérője a szán elmozdításával állítható be.



1.84. ábra
Hasítás köröllőn



1.85. ábra
Tárcsavágó köröllő

Az alsó körkés élének a vízszintes síkra eső vetülete ellipszis. Ha az ellipszis vetületének a vágás helyére eső sugara kisebb, mint a vágandó körtárcsa sugara ($D/2$), akkor a felső és lesüllyesztesekor (a két él átfedésekor) végbemenő nyírásos vágás során keletkező $D/2$ sugarú hulladék nem feszül hozzá.

A tárcsavágó köröllőn lyukas tárcsák is előállíthatók, ilyenkor természetesen

előbb a külső átmérő, majd a szán elállításával a belső átmérő, a felső és fokozatos bemélyítésével vágható. A szánon skála van a beállításához.

Ilyen tárcsavágó köröllőn vágják a 11 kg-os *PB* háztartási gázipalack, később mélyhúzással alakított előgyártmányát (a terítéket).

A szerkezetépítésben használatos *rezgőolló*nak két rövid, egymáshoz képest nagy, $\alpha=20-30^\circ$ -os szöget bezáró éle van. Ezek lökethossza 2 mm, másodpercenkénti löketségük pedig eléri a 20-at is. Vágás közben a két kés élének egy része mindig átfedi egymást.

Ezen a gépen a dolgozó a lemezt, amelyen a vágási vonal elő van rajzolva, kézzel tolja be a kések közé és vezeti úgy, hogy a vágás az előrajzolt vonalon történjen. Ezekon a gépeken központfogó (rendszerint két hegyes edzett csúc) is van így körtárcsák is körülvágathatók. Az alsó kés tartója egy külön motorral lassan süllyeszthető és emelhető, így központfogóval lyukas tárcsák, kézi mozgatásnál pedig alakos lyukak is készíthetők a lemezen. Az így vágott munkadarab vágási felülete nem szép, nem pontosak a méretek. Egyedi gyártásban, vagy kis sorozatokhoz használják. Előnye, hogy 5 mm lemezvastagságig minden olyan vágási vonalon elvégezhető a vágás, amelyen a legkisebb sugár legalább 15 mm.

1.8.1.2 Kivágás-lyukasztás

A *kivágás* zárt körvonal mentén végzett nyírásos vágás, külső felület előállítására céljából. A lyukasztás annyiban különbözik a kivágástól, hogy a cél belső felület előállítására. Mindkét művelet méretes aktív szerszámelemekkel, vágólappal és bélyeggel végzik. Ezek az aktív szerszámelemek az 1.80. ábra vázlatán láthatók. Egy tényleges lyukasztó-kivágó szerszám – ahogy az 1.86. ábrán és az 1.88. ábrán látható – sokkal több elemből áll. Ezek a szerszámok az 1.86. ábra bal alsó részén megrajzolt munkadarabot – egy nyers alátétet – gyártják, egy táblalemezből darabolt B szélességű sávból, vagy egy ilyen széles szalagból.

Ismerkedjünk meg először az 1.86. ábrán lévő szerszámmal és működésével.

Ezeket a szerszámokat alakító gép (pl. körhagyósajtó) működteti, zárja és nyitja. A szerszám befogócsapját az alakító gép nyomószánjába fogják, az alaplapot pedig a gép asztalára rögzítik csavarokkal és szorítóvasakkal.

lemezvastagsággal azonos, vékony lemezeknél és hosszú hidaknál pedig ennél nagyobb.

Ha a $B = D + 2v$ szélességű sávot betoljuk a sávvezető lécek által biztosított részbe, a kézzel benyomott előütőközög és ha zárjuk a szerszámot, elkészül a d átmérőjű lyuk. Az előütőközőt elengedve, azt rugója visszahúzza, így a sáv az ettől $e = D + u$ távolságra levő merev ütközőig tolható előre. A szerszám zárásakor elkészül egy újabb lyuk és egy az előző löketben készült lyukkal koncentrikus D átmérőjű kivágás. A kivágó bélyeg helyrehozó csapja (amely a lyukhoz lazán illeszkedik) korrigálja a sávvezetés és az előtolás hibáit. A vezetőlap egyik funkciója az, hogy a bélyegeket úgy vezesse, hogy a vágórés körben azonos legyen, másik funkciója az, hogy a felfelé mozgó bélyegekről a sávot lehúzza.

Az a merev ütközős szerszámoknál a sávot akkor kell előre tolni, amikor a bélyegek felfelé mennek. A sáv ekkor megemelkedik így a hid áttolható a merev ütköző fölé. Az ilyen merev ütköző csak kézi sávelőtőlésnél használható ezért ma már ritkán alkalmazzák. A szerszám működésekor a lyukasztási hulladék és a munkadarab a vágólapon áthull.

A sávelőtőlés-határolás gyakoribb módja az oldalvágó-bélyeges megoldás. Nyers alátét sávtervének oldalvágó-bélyeges változata az 1.87. ábrán látható. Itt az oldalvágó-bélyeg minden munkalöket során kicsíp egy $e \times w$ méretű részt a szalag

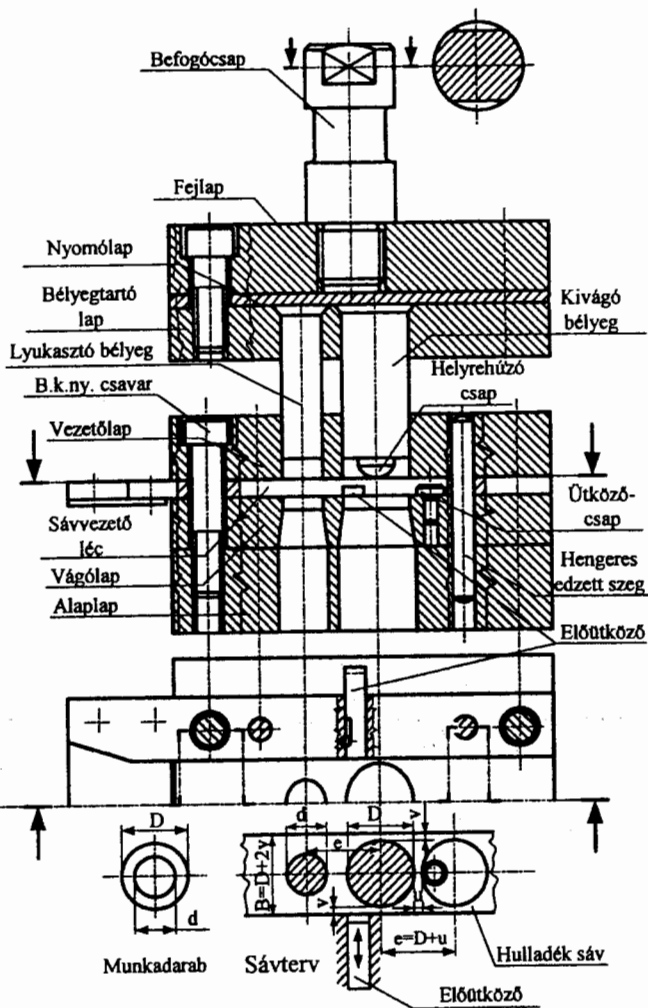
oldalából, így a sávnak a kicsipés miatt kialakuló új válla a sávvezető léccbe beillesztett és a vágólaphoz hengeres edzett szeggel rögzített ütközőig tolható előre.

Az ilyen szerszám előállítására költségesebb, a sáv szélesebb, az automatikus sávelőtőlő alkalmazását lehetővé teszi: ez a legpontosabb sávelőtőlés-határolási módszer.

Az 1.88. ábra szerszámánál az alsó aktív szerszámalelem a lyukasztás vágólapja és egyben a kivágás bélyege. Így ez a szerszám ugyanabban a munkalökletben végzi el egy adott munkadarab kivágását és lyukasztását. Az ilyen szerszámot egyesített szerszámnak nevezzük (régi neve blokkzserszám).

A munkadarab a vágó művelet során a felső szerszámrészebe csúszik be, ahonnan rugós kilövő löki ki. A lyukasztási hulladék a szerszámon átesik. A sávot az alsó aktív szerszámlelemről a rugós sávlevezető tolja le.

Ennél a szerszámnál az alsó és felső aktív szerszámlelemek vezetését oszlopos vezetésű szerszámház biztosítja. A szerszámházak (mind a vezetőlaposak, mind az oszlopos vezetésűek) szabványosak, különböző méretekben rendelhetők.

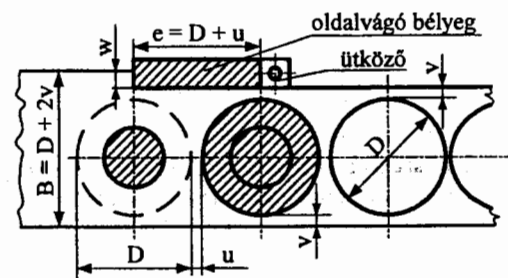


1.86. ábra

Merev ütközős, helyrehozó csappal és előütőközővel ellátott vezetőlapos, sorozat lyukasztó-kivágó szerszám rajza

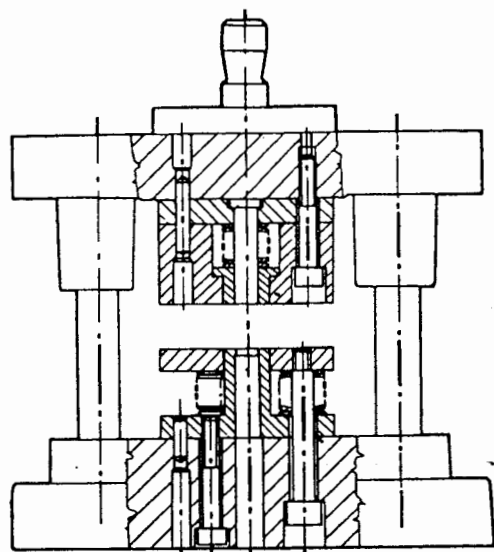
Ha az alakító gép nyomószánja elindul lefelé, a bélyegek beejárnak a vágólapp furataiba és elvégzik a vágást.

Az 1.86. ábra jobb alsó részén ábrázoltuk a sávtervet. A sávterv a szerszámban végzendő műveletek grafikus műveleti sorrendterve. A sávterven a bélyegek keresztmetszetét vonalkázzuk. A sávterven feltüntetett v méret a szélhulladék az u pedig a hídszélesség mérete. Ezekre azért van szükség, hogy a szerszámok nyírássos vágást és ne forgácsolást végezhesenek. Méretüket a szakirodalom táblázatai tartalmazzák. Itt csak azt említjük meg, hogy ezek mérete általában a



1.87. ábra

Előtőlés-határolás oldalvágó bélyeg alkalmazásával és oldalütközővel



1.88. ábra

Kivágás-lyukasztás egyesített vezetősípos szerszámban

Az egyesített szerszámoknál – ha az alapanyag szalag – külön előtolás határolásra nincs szükség. Az alakítógépre felszerelt szalagelőtoló pontossága elegendő.

Az előző ismeretek birtokában a kivágó-lyukasztó szerszámok osztályozása megérthető. Az osztályozást különböző szempontok szerint végezhetjük, nevezetesen:

A szerszámok működésük szerint lehetnek:

- egyszeres működésűek, illetve
- többszörös működésűek, ezen belül
 - * sorozatvágó, vagy
 - * egyesített szerszám.

A szerszámfelek egymáshoz képest történő vezetése szerint:

- vezeték nélküli (itt az alakítógép nyomószánvezetéke vezet, ezért szoktuk az ilyen szerszámot medvevezetésűnek is nevezni),
- vezetőlapos (1.86. ábra) és
- oszlopos vezetésű (1.88. ábra).

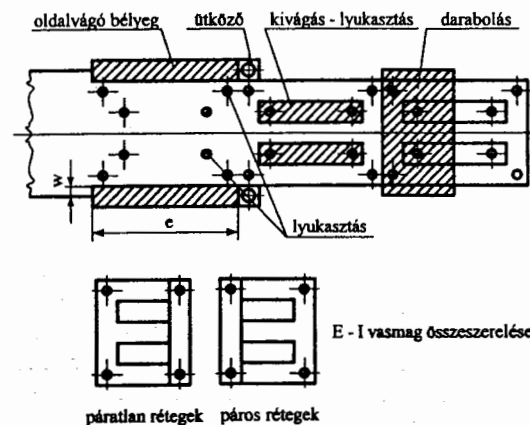
A lyukasztással-kivágással gyártott munkadarabok gyártási költségének több mint felét az alapanyag költsége teszi ki, ezért törekedni kell a minél jobb anyagkihozatalra. Az anyagkihozatali tényezőt a

$$\xi = \frac{V_h}{V_d} \cdot 100 = \frac{A_h}{A_d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.81)$$

összefüggéssel számíthatjuk, ahol

V_d :	a gyártáshoz felhasznált (összes) lemez térfogata,
$A_d = V_d/s$:	a gyártáshoz felhasznált lemez felülete,
V_h :	a V_d térfogatú lemezből készült alkatrészek térfogata (hasznos térfogat)
$A_h = V_h/s$:	az A_d felületű lemezből készült alkatrészek összes (hasznos) felülete

Az 1.89. ábrán az E és I alakú lemezekből összerakható transzformátor vasmag gyártásának sávtervét mutatjuk be. Itt a jó anyagkihozattal a tervező és a szerszám-szerkesztő ügyessége eredményezte. Amint az ábrán is látszik az I elem két összefordított E elem lyukasztásakor jön létre. Itt minden szerszámzárás során 2 db I és 2 db E elem készül el. Vegyük sorra a műveleteket.



1.89. ábra

Sávterv transzformátor E-I típusú vasmag lemezének gyártására sorozatvágással

oldali élek pedig szétválasztják a két E elemet. A baloldali E-elem átesik a vágólapon a jobboldali E-elem pedig azért billen el és csúszik ki jobbra a szerszámból, mert a vágólap itteni homlokfelületét ferdére lemunkálják.

A fentiekben leírtunk két fogalmat, amit korábban még nem definiáltunk. A „kicsípés” a darab körvonalának részleges megváltoztatása az anyag teljes szétválasztásával, de nem egyenes vágási vonallal. A két oldalvágó kicsípést végezz. A „darabolás” az anyag teljes szétválasztása nem zárt vonal mentén. Darabolás történik az 1.89. ábrán a 3. lépésben és ez hulladékmentes darabolás.

Ezen az ábrán hulladék az oldalvágók által levágott $2 \times e \times w$ felületű darab és a 8 db lyukból (az összefogó csavarok lyuka) kieső hulladék.

Itt jegyezzük meg, hogy a hallgatók gyakran keverik a hulladék és a selejt fogalmát. A selejt az az előírásoknak (méretelőírásoknak, szilárdsági előírásoknak, stb.) nem megfelelő, tehát hibásra sikerült munkadarab. A hulladék, a gyártással vele járó, betervezett anyagvesztés, amit ötletes tervezéssel csökkenteni igyek-

A sáv az ütközőig tolható be. A szerszám első zárásakor vág a két oldalvágó (kicsípés) és a 8 db lyukasztó bélyeg (1. lépés). A szerszám nyitása után a sáv „e” értékkel tolható előre. Itt a 2. lépésben megtörténik a 2 db I elem kivágása (ezek átesnek a vágólapon), ami a két összefordított E elem tekintetében lyukasztásnak minősül. A 3. lépésben egy darabolás történik. Itt a bal oldali daraboló vágóélek levágja a bal oldali E-elemet a sávról, a jobb-

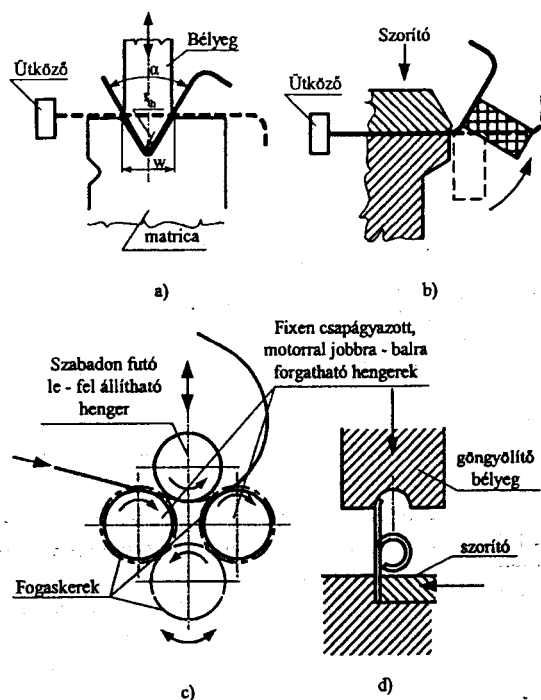
E - I vasmag összeszerelése

páratlan rétegek páros rétegek

szünk és amit az 1.89. ábrán bemutatott sávterv kidolgozójának sikerült jelentősen csökkenteni.

1.8.2 Hajlítás

A lemezhajlítás négy jellegzetes módját az 1.90. ábrán vázoltuk.



1.90. ábra

A lemezhajlítás négy jellegzetes módja

- a) élhajlítás, b) lengő hajlítás, c) hengerítés,
d) göngyöltítés

helyzetmeghatározás után a nyomószánt indítva (pl. nyomógombbal) a beállított mélységig lejár és megtörténik a hajlítás. Több – természetesen előre megtervezett – hajlítással bonyolult alakok, akár zárt profilok is hajlíthatók. Ennek szemléltetésére van a rajzon olyan munkadarab, amelyet előzőleg már – más részén – hajlítottak.

A matrica w -vel jelölt nyílásának méretét a hajlítás r_h belső sugarával arányosra, lágycéllemezeknél $w=6r_h$ értékűre célszerű választani.

Az 1.90. ábra b) részén látható *lengő hajlítógép* a beállított lemezt megszorítja, majd egy tengely körül elforduló gerendájába fogott szerszámelem végzi a hajlítást. Ezt vékonyabb lemezek (pl. személygépkocsi küszöb) hajlítására alkalmaz-

Az a) ábrarészen látható *élhajlítást* a 2-6 m hosszú élhajlítógépeken végzik. Az alsó szerszámelem, a matrica, a gép asztalára van felfogva. Ebbe több szerszámelem van bemunkálva (kisebb, nagyobb w méret, különböző α szög) mindig a megfelelőt kell a bélyeggel szembe állítani. A felső szerszámelem a bélyeg a gép nyomószánjára van felfogva és cserélhető. A nyomószán felső helyzetében áll, amikor behelyezik a hajlítandó lemezt, vagy már hajlított félgyártmányt. A

helyzetmeghatározás egyedi gyártásnál előrajzolás alapján, sorozatgyártásnál beállított ütközőig való betolással történik. A

zák. A hajlítás szöge itt is beállítható. Itt is lehet előrajzolás alapján, illetve beállított ütköző segítségével dolgozni.

Az 1.90. ábra c) részén vázolt *hengerítőgép* (szimmetrikus hengerítőgép) hengeres tartálpalástok sík lemezekből való gyártására való. Itt a két alsó henger a gépállványban van csapágyazva és közös hajtást kap. A hajtást 2 nyomógombbal működtetik (jobbra forog, balra forog).

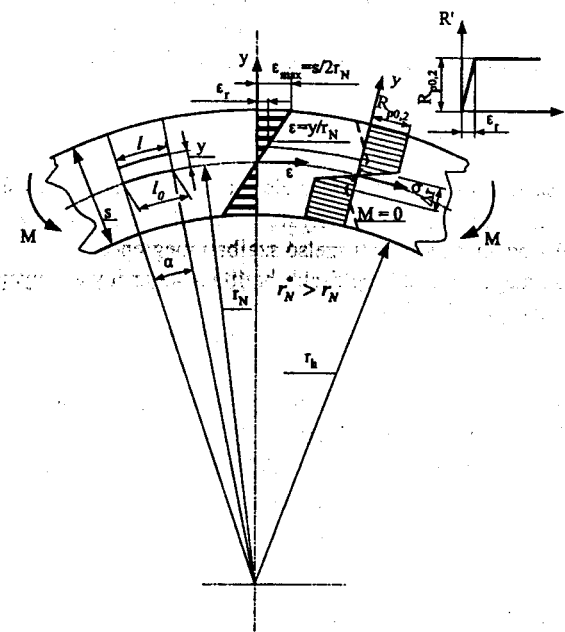
A felső hengernek nincs hajtása, szabadon foroghat, ahogy az anyag viszi. Ez a henger függőleges irányban egy külön villanymotor segítségével mozgatható, adott helyzetbe beállítható. A hengerítés előtt az előgyártmányt ráteszik a két alsó hengerre, a felső hengert elmozdítva bizonyos mértékig meghajlítják a lemezt (az olyan, mint egy élhajlítás), majd az alsó hengereket előbb egyik majd a másik irányban hajtva történik a hengerítés. Ezt ismétlik addig, amíg az összehegesztendő élek elérik egymást. Észre kell venni, hogy itt olyan a lemez nyomatéki ábrája, mint egy kéttámaszú tartóé, ezért a hengerített lemeznek a hegesztendő élek melletti része sík marad. Ezt a hibát úgy lehet kiküszöbölni, hogy a hengerítés előtt a két lemezszélt élhajlítógépen hajlítják meg.

A göngyöltítés 1.90.

ábra d) része az ajtó sarok pánt (diópánt) jellegzetes alakítási módja. Ezt a befogott lemez élére merőlegesen mozgó, egy fél henger működő felületű bélyeg végzi el. A göngyöltített rész eleje – ha a göngyöltendő darabon nem végzünk előhajlítást – egyenes marad.

A hajlítás az előzők figyelembevételével olyan lemezalakító eljárás, amelynek során egy eredetileg sík lemez két részének szögbe állítása valósul meg úgy, hogy a képlékeny alakváltozás egy egyenes hajlítási tengely környezetében megy végbe. Az 1.90. ábra a)

és b) részén vázolt esetekben ez a tengely a lemezhez képest a helyén marad, a c) és d) ábrarészen vázolt esetekben pedig önmagával párhuzamosan mozog.



1.91. ábra

A tangenciális nyúlás hajlításkor. A tangenciális feszültség egy lehetséges változása a hajlítás közben és tehermentesítve, (visszarugózott állapotban, szaggatott vonal)

Az 1.91. ábrán egy s vastagságú, eredetileg sík lemezt M nyomatékkal meghajlítva ábrázoltuk. Bejelöltük itt az r_k hajlítási sugarat és bejelöltük azt az r_N sugarat, amelynek a hajlítás utáni hossza azonos a hajlítás előtti hosszával. Ez az ún. „semleges réteg” sugara.

Az 1.91. ábrán α -val jelölt középponti szögű részen a lemez eredeti hossza

$$l_0 = r_N \cdot \alpha. \quad (1.82)$$

Ettől y távolságra a lemez megváltozott hossza

$$l = (r_N + y) \alpha. \quad (1.83)$$

Az érintőirányú mérnöki nyúlás a semleges rétegtől y távolságban:

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{(r_N + y) \alpha - r_N \cdot \alpha}{r_N \cdot \alpha} = \frac{y}{r_N}. \quad (1.84)$$

Ezt a függvényt az 1.91. ábrán ábrázoltuk.

Ha a semleges réteg a lemezvastagság közepén van, ami $r_N/s_0 \geq 7$ esetén elfogadható közelítés, a húzott szál legnagyobb nyúlása:

$$\epsilon_{\max} = \frac{s}{2r_N} = \frac{s}{2r_k + s_0}. \quad (1.85)$$

Ha ez a maximális nyúlás eléri az anyag szakító vizsgálatánál a kontrakció helyén jelentkező „effektív” nyúlást – amely az $\epsilon_{\text{eff}} = Z/(1-Z)$ összefüggéssel számolható – az anyag a húzott szélső szálban megreped.

A megengedhető legkisebb hajlítási sugár így az anyagminőségtől és a lemezvastagságtól függ és az

$$r_{k,\min} = k \cdot s \quad (1.86)$$

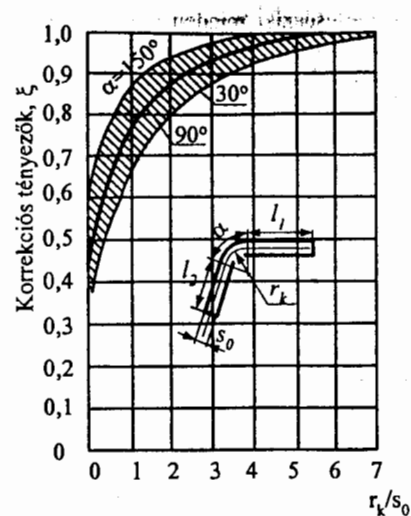
összefüggéssel írható fel, ahol k az anyagtól függő állandó. A k tényező értékei a szakirodalomban megtalálhatók (pl. lágyacél lemezekre $k=0,6$, tehát $r_{\min}=0,6 \cdot s$).

Az 1.91. ábrán, csak a szemléltetés céljából egy ideálisan rugalmas és nem keményedő anyag R - ϵ görbéjét és az erre érvényes σ - y függvényt ábrázoltuk.

A hajlítást nyomatéka ezzel a megoszló erőrendszerrel tart egyensúlyt. Ha a nyomatékok megszűntetjük, az r_N megnő, a feszültségeloszlás olyan lesz mint a szaggatottan rajzolt görbe, a hajlított darab tehát *visszarugózik*. Mivel a képlékeny alakváltozást minden esetben rugalmas alakváltozás előzi meg, ezért minden hajlítással együtt jár a visszarugózás is. Ezért a hajlítást úgy kell elvégezni, hogy a munkadarab sugara, a 1.90. ábra a) és b) része esetén pedig a hajlítás szöge a hajlítás befejezése, a tehermentesítés után legyen az előírt, azaz túlhajlítunk azért, hogy az előírt értéket kapjunk. A visszarugózás mértékét kiszámíthatjuk, vagy a különböző anyagokra érvényes diagramokból r_N/s_0 függvényében keressük ki.

Ha r_N/s_0 kicsi, a semleges réteg nem marad a vastagság felében, hanem eltolódik a nyomott oldal irányába, azaz

$$r_N = r_k + \xi \frac{s_0}{2} \quad (1.87)$$



1.92. ábra

A semleges réteg eltolódásának tényezője

ahol

$$r_k = r_k + \frac{s_0}{2} \quad \text{a közepes sugár}$$

$$\xi \text{ az } \frac{r_k}{s_0} \text{ és } \alpha: \quad \text{függvényében}$$

az 1.92. ábrából vehető tényező.

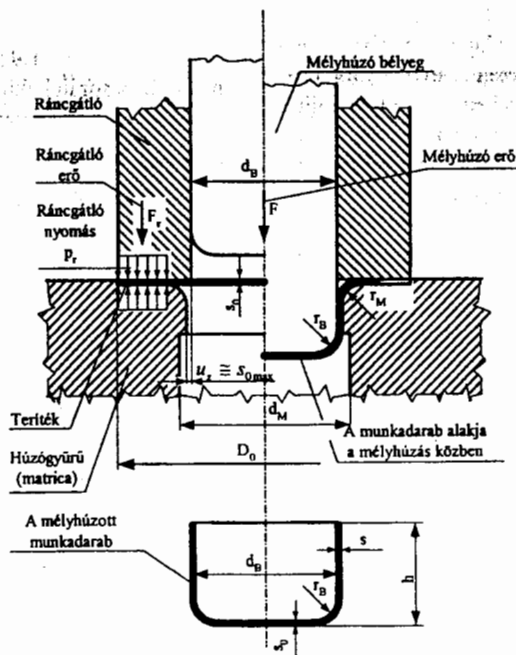
A hajlítandó lemez hosszát az egyenesen maradó részek hosszának és az íves részek hosszának összege adja: az íves részek hosszát a semleges réteg hossza ($r_N \cdot \alpha$) adja.

A hajlítást igénylő kisebb munkadarabokat, általában univerzális alakítógépeken üzemelő szerszámokkal, gyakran a lyukasztással, a kicsípéssel és a darabolással együtt (ilyen sorozatszámokban) gyártják.

1.8.3 Mélyhúzás

Az 1.93. ábrán a falvékonyítás nélküli mélyhúzás szerszámait, a húzógyűrűt, a ráncgátlót és a bélyeget, valamint a munkadarabot látjuk kezdeti (teríték) közbenső és kész állapotában.

A metszet bal oldali részén ott van az előgyártmány, a sík lemezből kivágott teríték, ezt a ráncgátló már szorítja, a lefelé mozgó mélyhúzó bélyeg még nem ér hozzá. A metszet jobb oldali részén a mélyhúzás egy közbenső pillanatot ábrázoltuk. Itt a bélyeg lefelé mozgása közben a mélyhúzott edény hengeres palástjának a magassága nő, miközben a



1.93. ábra

Ráncgátlós mélyhúzás

ráncgátló alatti még sík része (a perem) befelé csúszik, minden átmérője, így a külső átmérője is csökken.

A mélyhúzás során tehát a sík peremrészéből, a D_0 és d_M átmérőjű körgyűrűből d_M külső átmérőjű hengeres palást lesz (lásd az 1.93. ábra alsó rajzán ábrázolt kész darabot). Ez azt jelenti, hogy a munkadarab sík peremrésze a mélyhúzás közben a képlékeny folyás állapotában van.

Az 1.94. ábra felső részén a terítéken bejelölt $O a A B b O$ területet a mélyhúzott darabon az ábra alsó részén is megrajzoltuk. Ez itt az $O a' A' B' b' O$ területként jelenik meg.

Az $O a b O$ terület azonos az $O a' b' O$ területtel, így a terítéknek az a része amely az edény fenéke lesz, nem alakváltozik.

Az $a A B b$ körgyűrűcikkéből $a' A' B' b'$ téglalap lesz. Ha az utóbbi téglalapot az ábra felső részén levő körgyűrűcikkhez odarajzoljuk (lásd a szaggatott téglalapot) akkor azt látjuk, hogy a mélyhúzás során a körgyűrű alakú peremből úgy lesz hengeres palást, hogy ott tangenciális rövidülés ($\varphi < 0$) és radiális nyúlás ($\varphi > 0$) történik.

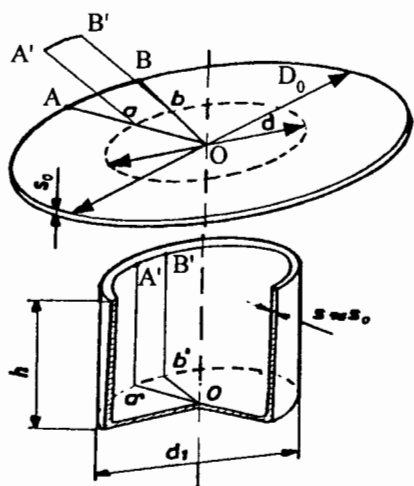
Ne felejtsük el róla, hogy a teríték a matrica r_M sugarát elérve *meggörbül*, innen lefelé kilépve pedig *kiegyenesedik*. Itt a lemez úgy viselkedik mint az álló kötélrácán súrlódó kötél. Ennek köszönhető, hogy a függőleges húzóerő befelé húzza a teríték sík peremrészét.

A peremrész feszültségi és alakváltozási állapotát a „Képlékeny alakítás” tárgy elemzi. Azt jelen ismeretek birtokában is be lehet látni, hogy a síkban levő perem összehúzásához szükséges radiális húzófeszültség a körgyűrű belső átmérőjén a legnagyobb és ez a körgyűrű méreteitől így a D_0/d_B hányadostól jelentősen függ. Ha ez a feszültség eléri az anyag szakítószilárdságát, elszakad a lemez (leszakad a húzás közben a fenék rész).

Az egy húzóművelettel elért átmérőhányadost *húzási viszony*nak nevezik. Kezdő húzásnál (felállító húzásnál) ezt a

$$\beta_0 = \frac{D_0}{d_{1B}} \quad (1.88)$$

összefüggéssel értelmezzük, ahol



1.94. ábra
A mélyhúzás során bekövetkező alakváltozás szemléltetése

D_0 : a teríték átmérője,
 d_{1B} : az első húzás bélyegének az átmérője.

A húzási viszony megengedett értéke az anyagminőségtől és az s_0/D_0 fajlagos vastagságtól függ és táblázatokból vehető. Mélyhúzásra alkalmas lágyacél, sárgaréz, jól alakítható lemezekre $\beta_0=1,8-2,2$ közötti érték.

A húzási fokozati tényezőt a húzási viszony reciprokaként értelmezzük:

$$m_0 = \frac{d_{1B}}{D_0} \quad (1.89)$$

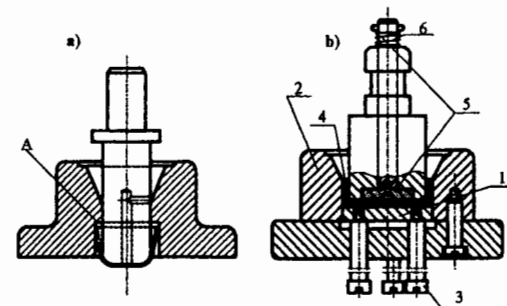
Vannak szakkönyvek, ahol a húzási viszony helyett a húzási fokozati tényező értékeit adják meg.

Eddig nem ejtettünk szót arról, hogy miért kell és minden mélyhúzásnál kell-e ráncfogó. Azt már tisztáztuk, hogy a mélyhúzott darab még sík peremrészén radiális nyúlás és tangenciális zömülés történik a mélyhúzás közben. A tangenciális zömülés tangenciális nyomó feszültség következménye. A zömök rúd ha az l/d viszony kicsi, megzömíthető kihajlás nélkül, a karcsú rúd nem zömül, hanem kihajlik. Ez a helyzet a mélyhúzásnál is. Ha az $s_0/D_0 < 0,025$ a teríték behullámosodik, ráncosodik és elszakad, ha nem gondoskodunk a ráncgátlásról. Ha az $s_0/D_0 \geq 0,025$ ráncgátló nélkül sem ráncosodik a lemez.

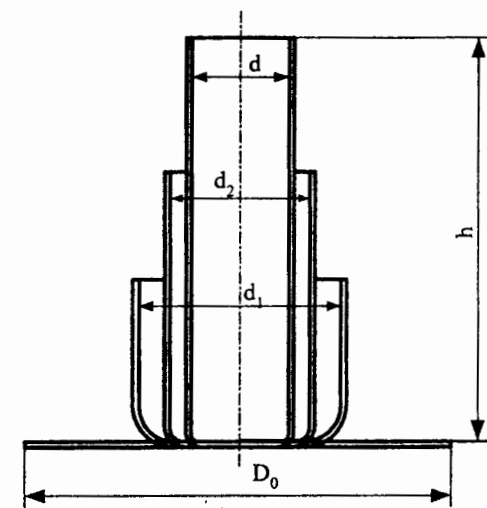
A ráncgátló leszorítja és a síkban tartja a peremrészét. A ráncgátlónyomást (lásd az 1.93. ábrán) táblázatokból, diagramokból, illetve formulákkal lehet meghatározni. A ráncgátló nyomás nagysága nem több, mint a mélyhúzott anyag folyási határának 1%-a.

A ráncgátló nélküli húzószerszámok húzógyűrűje nem olyan, mint amelyet az 1.93. ábrán látunk. Ezeknél nem kell a sík homlokfelület. A lekerékítés kezdődhet a teríték D_0 átmérőjénél, jó a kúpos kialakítás, még jobb a traktrix (követési, vagy vontatási görbe) profil. Kúpos gyűrűjű ($\alpha=30^\circ$) húzószerszámok láthatók az 1.95. ábrán.

Egy kezdő (felállító) húzásnál az edény magassága hozzávetőleg az átmérő $\frac{1}{4}$ része lehet, tehát $h/d=0,75$. Joggal vetődik fel a kérdés, hogy lehet-e ennél nagyobb h/d viszonyú munkadarabot gyártani mélyhúzással? Igen, de több egymást követő mélyhúzással, kezdő húzással és továbbhúzással, illetve továbbhúzásokkal.



1.95. ábra
Ráncgátló nélküli kúpos húzógyűrűs ményhúzó szerszámok



1.96. ábra

Vázlat a teríték átmérő és a húzások sámanak meghatározásához

Az (1.96. ábrán) egy terítéket és az ebből egymást követő mélyhúzásokkal előállított d_1 , d_2 , ... átmérőjű darabokat rajzoltuk meg egy ábrába. Legyen a gyártandó edény d átmérőjű és h magasságú.

Tételezzük fel, hogy a h magasság úgy van megadva, hogy az már tartalmazza a szoknya szélének egyenlőtlenségei miatti levágáshoz szükséges hulladékot is.

A mélyhúzás tervezésének első lépése a teríték átmérőjének meghatározása. Feltételezve azt, hogy a lemezvastagság nem változik számottevően, a térfogat-állandóság feltétele helyett a felületállandósággal számolhatunk, így a teríték felülete azonos

a kész darabéval (a fenékével és a palástjával).

Ha a lemezvastagság és a saroklekerekítés kicsi, azt elhanyagolhatjuk, így

$$\frac{D_0^2 \pi}{4} = \frac{d^2 \pi}{4} + d \cdot \pi \cdot h, \quad (1.90)$$

ebből a teríték átmérője

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h}. \quad (1.91)$$

A szakirodalomban található táblázatokból kikereshető az adott anyagra és s_0/D_0 viszonyra megengedett húzási fokozati tényezőket, azaz az m_0 , m_1 , ... értékeket. Ha ezek rendelkezésre állnak, az egymást követő mélyhúzások során a félgyártmányok belső átmérői az alábbiak lehetnek

$$d_1 = m_0 \cdot D_0, \quad (1.92)$$

$$d_2 = m_1 \cdot d_1 = m_1 \cdot m_0 \cdot D_0, \quad (1.93)$$

$$d_3 = m_2 \cdot d_2 = m_2 \cdot m_1 \cdot m_0 \cdot D_0. \quad (1.94)$$

Ha ezeket kiszámítjuk és összevetjük a rajzon levő d -vel kiderül, hogy hány fokozatban húzható a munkadarab. Annyi húzást kell végezni, ahány szorzás kellett ahhoz, hogy az eredmény kisebb legyen mint az adott d .

Fel kell azonban hívni a figyelmet arra, hogy az anyag keményedése miatt a hőkezelés alkalmazása nélküli húzások száma korlátozott. Acéllemezeknél legfeljebb három húzás végezhető el hőkezelés, újrakristályosító izzítás nélkül.

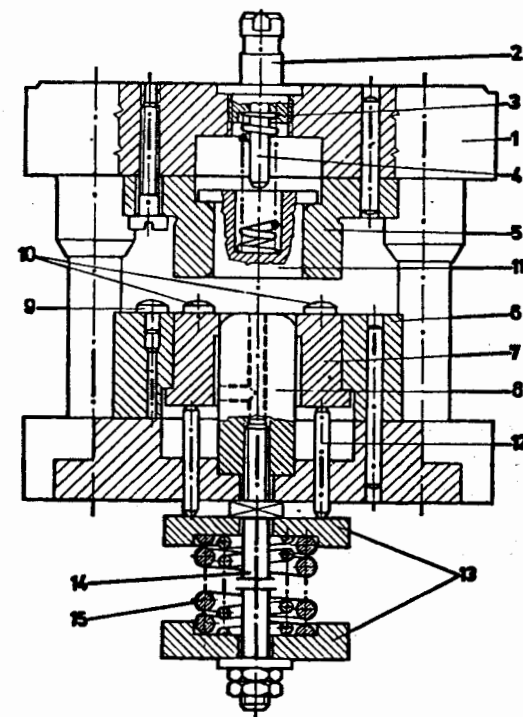
Arra a kérdésre, hogy a D_0 átmérőről milyen átmérőre mélyhúzhatunk lágyítás nélkül egy munkadarabot, a szoknya szélének fajlagos keresztmetszet-csökkenését kell kiszámolni a

$$q = \frac{A_0 - A}{A_0} = \frac{D_0 \cdot \pi \cdot s_0 - d \cdot \pi \cdot s}{D_0 \cdot \pi \cdot s_0} \cdot 100 \cdot \frac{D_0 - d}{D_0} \cdot 100 [\%] \quad (1.95)$$

összefüggéssel. A szakirodalom különböző anyagminőségekre táblázatosan ad meg erre megengedett (q_{meg}) értékeket, amit ha elérünk, lágyítást kell alkalmazni.

A mélyhúzó sajtók általában kettős működésű alakítógépek, a régebbi típusok mechanikus működtetésűek. A bélyeget egy forgattyús hajtás, a ráncgátlót (amely a mélyhúzás közben áll) két bütyköstárcsa mozgatja. A mai mélyhúzó sajtók hidraulikus működésűek, mind a bélyeget mind, a ráncgátlót hidraulikus hajtás mozgatja.

Kisebb darabok mélyhúzását egyszerűes működésű alakítógépen is el lehet végezni. Ekkor – ahogy az 1.97. ábrán látható – a ráncgátlóerőt előfeszített kis rugómerevségű („lág”) csavarrugó adja. Nagyobb gépeken, nagyobb darabok húzásához az előző „rugós párna” helyett „pneumatikus párnát” alkalmaznak, amely pneumatikus munkahenger és dugattyúja, és az üzemi sűrített levegő hálózat vezetékére van rákötve ($p=6 \text{ bar}$). Rugós párnával működtetett ráncgátlós továbbhúzó szerszámot mutat az 1.98. ábra.



1.97. ábra

Ráncgátlós kezdő mélyhúzó szerszám rugós párnával
5: húzógyűrű; 7 ráncgátló; 8: bélyeg; 9, 10: a teríték központosító elemek; 11: rugós kidobó; 12: feladócsapok; 13, 14, 15: rugós párna

A falvékonyítás nélküli mélyhúzásnál az u_z -vel jelölt húzóérés (lásd az 1.93. ábrán bejelölve) nem kisebb mint a lemezvastagság felső határ-mérete (s_{0max}), tehát a falvastagságot szándékosan nem csökkentjük.

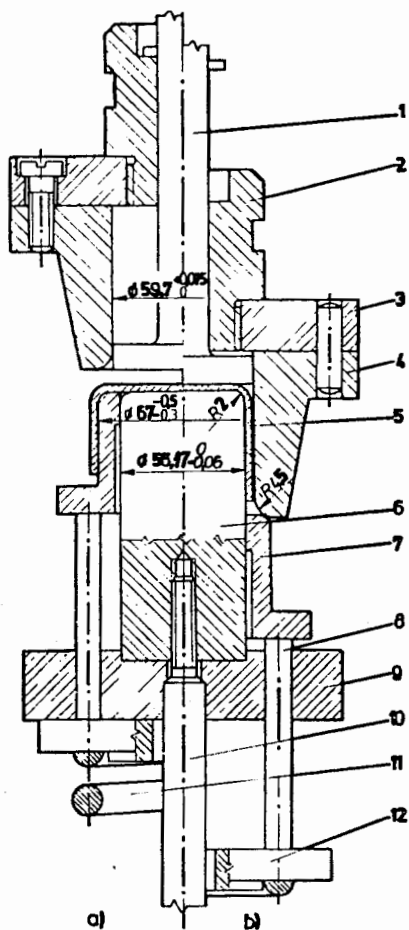
Vannak olyan mélyhúzott gyártmányok, amelyek fenéke vastagabb kell legyen mint a palástja (pl. lövedék hüvelyek, autószifon patron). Ezeket falvékonyító húzással lehet előállítani. A falvékonyítást el lehet kezdeni már a felállító húzásnál.

Ha az 1.95. ábra bal oldali szerszámának a húzóérése kisebb mint a lemezvastagság, az a kezdő húzás során falvékonyítást is végez. A falvékonyítás a továbbhúzó fokozatban is elvégezhető, illetve tovább folytatható. A falvékonyítás helyén a szerszám és a munkadarab közötti nyomás nagy, így ebben az esetben különösen jó kenésre van szükség.

Minden mélyhúzásnál kell kenőanyagot használni, amit a munkadarab felületére szoktak feljuttatni.

Vékony, kis szilárdságú lemezek mélyhúzásához megfelel a szappanos víz, acél alkatrészek falvékonyító húzása csak foszfátosva és kenve végezhető el.

A lemezalakítások jellegzetes alakítógépeit (táblaolló, élhajlítógép, lengő hajlítógép, körhagyó sajtók, mélyhúzó hidraulikus sajtó) a gyakorlatokon a gépeket elemezve és működtetve ismerik meg a hallgatók.



1.98. ábra

Ráncgátlós továbbhúzó szerszám rugós párnával működtetett ráncgátlóval

2. ELSŐDLEGES ALAKADÓ TECHNOLÓGIÁK

2.1. ÖNTÉSTECHNOLÓGIA

Az öntés a fémből készült tárgyak alakadásának legősibb módja. Időszámításunk előtt 3 évezreddel már öntöttek bronz tárgyakat.

Az öntéstechnológia legfőbb jellemzője az öntendő tárgy alakadásának nagy szabadsága, amely a legbonyolultabb formájú alkatrészek előállítását is lehetővé teszi. Az eljárás előnye, hogy rideg, tehát képlékenyen nem alakítható anyagokból is lehet tárgyakat készíteni. Egyedi és tömeggyártásban egyaránt alkalmazható. Az öntvények súlya néhány g-tól 100 t nagyságig terjed. A szerszámgépek tömegének 75-80%-a öntvény.

A formaöntvények hagyományos készítésének fő műveletei:

- Az öntvény alakjának megfelelő minta készítése.
- A minta befomázása hőálló anyagba.
- A minta eltávolítása után keletkezett üreg kiöntése folyékony fémme.
- A nyers öntvény tisztítása.
- A szilárdsági tulajdonságok javítása céljából alkalmazott hőkezelés.

A hagyományos „homokformázásnál” a formát úgy készítik, hogy a kötőanyag formahomokot rádöngölik a mintára, ahogy ez a 2.1. ábrán követhető.

2.1.1. Mintakészítés

Az öntendő tárgy befomázására a tárgy alakjának megfelelő minta szolgál, amelyet az öntendő fém zsugorodásának megfelelően megnövelt méretben készítenek el. A szürkevas zsugorodása 1%, az acélé 2%, a sárgarézé és a bronzé 1,5%. Az $AlSi$ ötvözeté 1%.

A mintaasztalos a faminták készítésénél olyan mérőléceket, ún. *zsugormércét* használ, amelynek hossza az adott fém zsugorodási mértékével megnövelt. Pl. az öntöttvasnál 1010 mm hosszúság van ezer egyenlő részre beosztva. A többször befomázható mintákat rendszerint fából készítik. A minta méretváltozását meg kell gátolni, ezért a nedvesség-felvételt festéssel, lakkozással akadályozzák meg. A festés színe egyidejűleg utasítást tartalmaz a formázást végző öntőmesternek. A nyersen maradó öntvényfelület minta megfelelője az öntöttvasnál piros szint-, az acélnál kéket, nehézfémnél barnát- és könnyűfémnél zöld szintet kap. A felületsimásg érdekében a formázásokor ezekre a helyekre finomszemcsézett formahomok kerül. A megmunkálandó öntvényfelület mintarésze sárga színű, figyelmeztetésül a megmunkálási ráhagyásra.

Magnak nevezzük az üreges öntvények belsejét kitöltő formarészt, amely a magfészekben fekszik fel. A magfészek befomázásához a minta megfelelő toldatot kap, amelyet feketére festenek.

A nagy darabszámban készülő öntvények mintája fémből készül, amelyek kevésbé kopnak.

A mintának a kihúzás irányával párhuzamos felületei a hémokhoz tapadás miatt nehezebben a minta kihúzását, (formarészek kiszakadását okoznak), ezért a mintának kifelé bővülő lejtést adnak.

2.1.2. Egyszeri öntésre alkalmas formázóanyagok

A minta befomázására alkalmas anyaggal szemben az alábbi követelmények támaszthatók: jó alakíthatóság, tűzállóság, gázáteresztő képesség, kellő szilárdság és olcsóság. E követelményeket általában kielégíti az agyagtartalmú bányahomok. A nedves anyag bányahomok jól alakítható, tűzálló, a kvarcsemcsék közötti porozitás biztosítja a gázáteresztő képességet, és a szemcséket összeragasztó agyag biztosítja a szilárdságot. Növekvő agyagtartalom mindjobban eltömiti a pórusokat, így a gázátbocsátó képesség csökken, a szilárdság viszont nő. A formába öntött folyékony fémekben oldott gázok dermedéskor felszabadulnak, és ha azok nem tudnak a formahomokon keresztül eltávozni, az öntvény pórusos, selejt lesz. Másrészt a kis szilárdságú formázóhomok öntéskor letöredezik, így az öntvény a záródmányok miatt válhat selejtessé. E kétféle selejt keletkezésének gyakorisága és a homok agyagtartalma között tehát kapcsolat van. A 8%-nál kisebb agyagtartalmú homokot soványnak, a 15%-nál nagyobb agyagtartalmú kövérnek nevezzük. Adalékokkal a selejtgyakoriság csökkenthető. Így pl. faliszt, szénpor adalék az öntés hőmérsékletén kieg, ezáltal megnövekszik a gázátbocsátóképesség. Dextrin, pektin, szulfitlúg, melasz, főtt lenolaj, cement, fenol és műgyanták a formahomok szilárdságát növeli. Egyes adalékok kiegészése kiegyenlíti a kvarcsemcsék hőtágulását, nem következik be térfogat növekedés, így a forma nem változtatja alakját. A kvarc 575°C-on bekövetkező átkristályosodása ugrásszerű térfogatnövekedéssel jár, melyet a 4% bentonit adalék kiegészése kompenzál. Az ilyen szintetikus formahomok keverék felhasználásával kisebb lehet az öntési ráhagyás, ezáltal csökken az öntvény súlya, kevesebb lesz a forgácsolás.

Az öntőhomok előkészítés műveletei: a megfelelő szem nagyságra aprítás, osztályozás és a kívánt összetételnek megfelelő keverés, majd a minőség-ellenőrzés, valamint a használt formázóanyagok regenerálása. Ezek a munkafolyamatok

nagymértékben automatizálhatók. Az öntési selejt gyakorisága és a formahomok minősége között szoros kapcsolat van. Ezért gondos minőség-ellenőrzés szükséges. A minőség ellenőrzése kiterjed a nedvesség és agyagtartalom meghatározására, a szemcsék méretének, alakjának, eloszlásának ellenőrzésére. Szabványos dögölésű hengeres, illetve piskóta alakú próbatestekkel meghatározható a gázátbocsátó képesség, a nyomószilárdság, illetve a szakítószilárdság. Jó tűzálló képességű a formahomok, ha az öntvény falához nem sül hozzá. Nagy szilárdság és jó gázátbocsátó képesség jellemzi a gyorsan szilárduló formázó anyagokat.

Vízüveg-szénsavas formázóanyag

A mosott 0,1-0,2 mm méretű kvarcsemcséket 4-5% vízüveggel, kőszén liszttel és vízzel elkeverik. Formázás után CO_2 gázt fúvatnak a formán keresztül, amelynek hatására szilikagél keletkezik és ez a pórusok nyitva maradása mellett kellő szilárdságot biztosít. A kötés ideje mindössze 1 perc. Rendszerint fémmintát használnak.

Cementes formázóanyag

Az agyagmentes mosott homokot 10-14% cement és 6-8% víz hozzáadásával elkeverik. A kötés ideje 48-72 óra, amely adalékokkal ($CaCl_2$) csökkenthető. A mintát 2-4 ujjnyi vastagságú cementes formakeverékkel vonják be. Olcsó, méret-pontos, nagy szilárdságú formázóanyag, nagyméretű öntvényeknél (turbínaház) használják. Öntés után a cementes formázóanyag nem regenerálható.

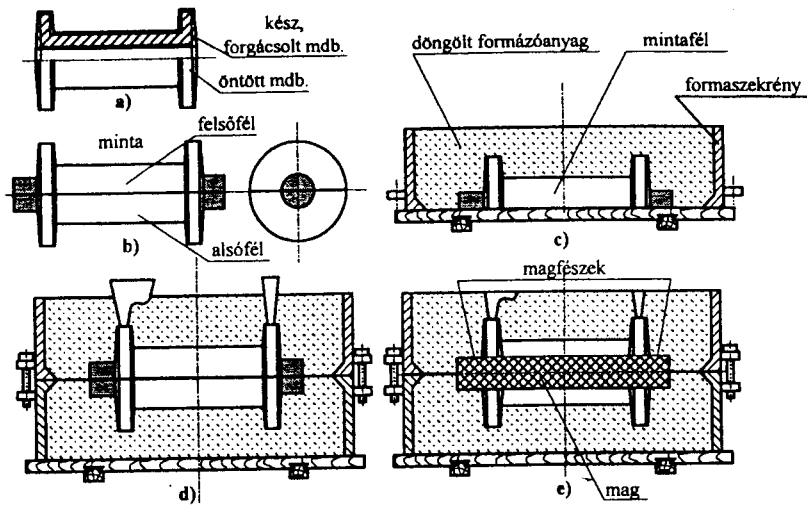
Furán alapú formázóanyag

Furfurilalkohol és furángyanta, illetve homok keveréke, amelyhez katalizátorként foszforsavat adnak. A kötés ideje 200 perc. Nagy szilárdságú formázóanyag, amely öntés után könnyen szétverhető, nem tapad, így az öntvény jól tisztítható.

2.1.3. A kézi homokformázási technológia

A kézi homokformázást mindenféle fém és fémötvözet öntésénél használják. A homokforma készítésének menetét a 2.1. ábra szemlélteti. Karimás csőcsontot öntünk, amelynek anyaga szürkevas. A faminta kétrészes kivitelben készül, a felek pontos illesztését 2 db kúpos illesztőcsap biztosítja (2.1. ábra b) része) a mintán a magfészeknek megfelelő rész fekete.

A formázóasztalra ráhelyezik az illesztő-furatos mintafelet, majd felhelyezik a formaszekrényt. A formaszekrény négyzetes, vagy hengeres keret, amely szürkevasból, hegesztett acéllemezéből, vagy könnyűfém ötvözetből készül. A formaszekrény alsó részén ferdén lecsapott belső szegélyléc fut körül a formahomok kicsúszásának megakadályozására. A formaszekrények füllel készülnek, amelybe illeszkedő vezető csap, illetve furat a formaszekrény pontos illesztési lehetőségét a szétszedés és újbóli összerakás esetében biztosítja. Ha ugyanis összerakáskor az alsó-felső szekrényfelek rosszul illeszkednek, a befomázott alkatrész félürege a másikkal képest eltolódik, így selejt öntvényt kapunk.



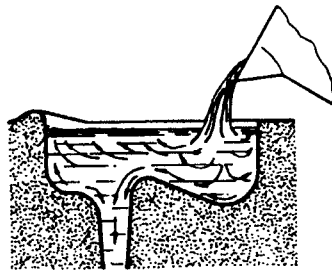
2.1. ábra

Karimás csődarab kézi homokformázása: a) az öntendő munkadarab, b) a minta; c) az egyik mintafél formázása; d) a másik mintafél formázása; e) az öntésre kész forma

A formaszekrény felhelyezése után a mintára formahomokot szórnak, azt egyenletesen bedöngölik, majd elsimitják. Ezután a formaszekrényt a formázólap-pal együtt megfordítják, a formázólapot leemelik. Ráillesztik a felső formaszekrényfelet az alsóra, illetve a felső mintafelet a már beformázott alsóra, majd finom száraz homokot szitálnak az egész felületre, hogy a felső formaszekrény homokja később hozzá ne tapadjon. Ezután megismétlik a homokfeltöltés, bedöngölés műveletét, de közben elhelyezik a beöntő-, illetve felöntést szolgáló csatornák mintáit (2.1. ábra d) része). A be- és felöntések mintáit kihúzzák és a felső formaszekrényt leemelve átfordítják. Ezt követi a mintafelek kihúzása. A mintába csavart kihúzócsapokat megkocogtatva óvatosan kiemelik a mintákat. Az esetleg megsérült homokrészeket kijavítják, a behullott homokot fújatóval kifújják.

A formaszekrény összeszerelése előtt a felületeket fekeccsel bekénik. A fekecs az öntőformák és magok felületének bevonó anyaga. A bevonás célja, hogy a forma és a mag felületét szilárdabbá tegye s ezzel a kipergést megakadályozza. Az öntvények felületének tisztaságát azzal biztosítja, hogy a forma és mag anyagának az öntvény felületére való ráégését megakadályozza.

A fekecs finomra őrölt tűzálló anyagok és kötőanyagok (pektin, szulfidlug, melasz, agyag) keverékéből és vízből áll. A folyé-

2.2. ábra
Beöntőtölcsér kiképzése

kony fekecsset ecsettel, vagy porlasztóval viszik fel a formák, magok felületére. Színesfémeknél száraz fekecsset (talkum, grafit) használnak, acélöntvények formáihoz kvarclisztet, timföldet, magnézitlisztet használnak.

A magot óvatosan behelyezik az alsó szerkenyfél magfészkebe. Ezt követően a felső szerkenyfelet – pontosan illesztve – ráhelyezik az alsóra (2.1. ábra e) része). A felső formaszekrényt súlyokkal megterhelik és ezzel a forma kész a nedves homokba való szűrkevas öntéshez. A súlyterhelés megakadályozza a felső formaszekrény megemelkedését, amelyet a beöntött fém felhajtóereje okozna.

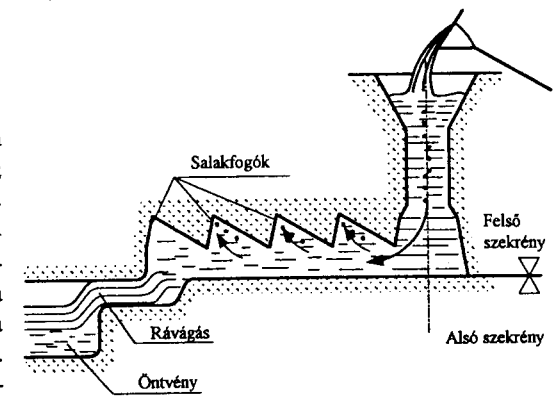
Az öntéskor ügyelni kell arra, hogy az öntő üst olvadt fémének tetején úszó salak nehogy bekerüljön az öntvénybe. Ezt a célt szolgálja a 2.2. ábrán látható körte alakú beöntőtölcsér alak, mivel a beöntőtölcsér öntésközbeni állandó telítartása esetében a felfelé áramlás a kis fajtsúlyú salak felszínre kerülését segíti elő.

A beöntőtölcsért egyszerű szűrkevas öntvényeknél közvetlenül a darabra helyezik (2.1. ábra). Acél és könnyűfém öntvényeknél a formát olyan csatorna-rendszerrel látjuk el, amely a folyékony fém egyenletes, nyugodt áramlását biztosítja és nem engedi a salak formába jutását (salakfogó).

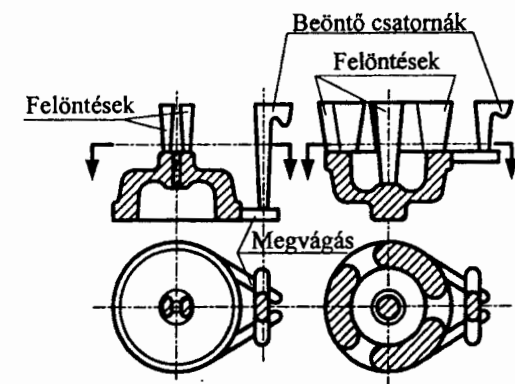
A fémbelépés helyét az ún. rávágást az öntvény legvékonyabb helyére teszik (2.3. ábra). A salak visszatartásának feltétele, hogy a beöntőrendszer csatorna-keresztmetszetei a forma felé szűküljenek, mert mind a beöntőtölcsért, mind a salakfogó csatornát az egész öntés alatt tele kell tartani folyékony fémmel. A beöntőrendszer elhelyezése szerint van felső ún. zuhanó öntés (2.1. ábra), alsó, ún. emelkedő öntés (2.5. ábra) és oldalsó öntés (2.3. ábra).

2.1.4. A fogyási üregek elhárítása

A fogyási üreg, másnéven szívódási üreg, vagy *lunker* keletkezése a hűléskor bekövetkező zsugorodással függ össze. Az öntvény külső felülete dermed meg először és a vastagabb részek belsejéből a még folyékony fém a vékonyabb részek dermedés közbeni zsugorodása elszívja, ezzel ún. szívódási üreg, lunker keletkezik. A lunkereredési hajlam az illető fém zsugorodásának nagyságával és az öntvény falvastagság-különbségével van szoros kapcsolatban.

2.3. ábra
Beöntő rendszer metszete

Az öntéstechnológia egyik fontos feladata a lunker keletkezésének elhárítása, amely tápfej, vagy tápfejek, más néven felöntések, illetve felöntőfejek elhelyezésével történik. A tápfej az öntvény legvastagabb, így legutoljára dermedő részéhez



a) Öntöttvas b) Acélöntés

2.4. ábra

Szürkevas- és acélöntvény felöntései

A 2.4. ábrán egy fedél beömlő rendszerét és felöntéseit ábrázoltuk. Az öntöttvas öntvény két kicsi felöntéssel önthető. Ha ugyanezt a munkadarabot acélból öntik, négy darab nagy felöntés szükséges, ezért a munkadarabot 180°-kal elfordítva kell befomázni.

Acélöntvényeknél annál nagyobb fogyási üreg keletkezik, minél kisebb azok karbon tartalma. Nagy a fajterfogat különbség, így a fogyási üreg képződésének lehetősége is nagy a színtém öntvényeknél és kicsi az eutektikus összetételű ötvözeteknél. A formaöntvényekben keletkező fogyási üregek nagysága függ továbbá az öntési hőmérséklettől, növelésével növekszik az üreg. Az öntvény utoljára dermedő részét termikus centrumnak nevezzük. A termikus centrum körüli fém tömege a keletkező üreget növeli, így nagyobb falvastagság nagyobb fogyási üreget okoz.

Az elmondottak szerint a fogyási üregek elhárításának, illetve csökkentésének módjai:

- az öntési hőmérséklet csökkentése,
- az anyaghalmozódási helyek elkerülése egyenletes falvastagságú öntvények tervezésével,
- a termikus centrum kiemelése az öntvény testből megfelelő alakú és méretű felöntések elhelyezésével,
- az elkerülhetetlen anyaghalmozódási helyek gyorsabb hűtése hűtővasak, vagy hűtőszegek alkalmazásával.

A homokba helyezett hűtővasak jobb hővezető képessége a dermedést gyorsítja, ugyanezt végzi a formába bedugdosott hűtőszegek beolvadásának rejtett hője. A hűtővasak és hűtőszegek nem lehetnek nedvesek, rozsdásak, mert a nedvesség

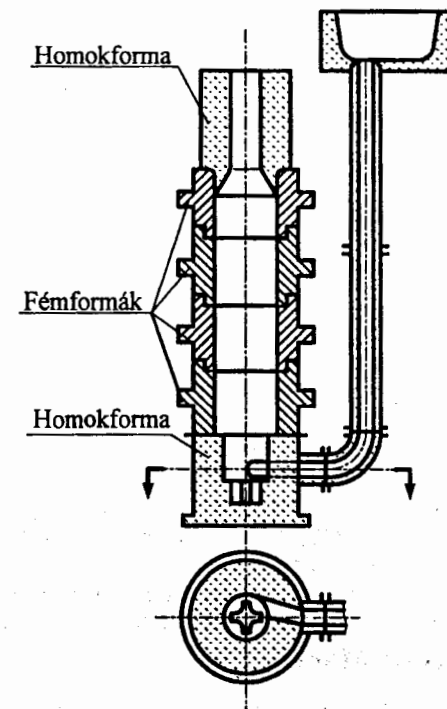
elgőzölése, valamint a rozsdá kémiai reakciója az olvadt fémmel vizsgított és gázokat fejleszt, amelyek hólyagosá, selejtessé teszik az öntvényt. A hűtőszegeket rozsdásodás ellen ónozással védik.

2.1.5. Kéregöntvények

Hűtővasakat használunk formahomok helyett a kéregöntvényeknél. Öntöttvasnál a gyors dermedés meggátolja a grafitkiválást, így a hűtővas gyors hőelvezetése révén az öntöttvas fehéren, ledeburitosan kristályosodik, vagyis kemény, kopásálló réteget kapunk. Innen az elnevezés. A kéregöntésű henger öntőformája látható a 2.5. ábrán.

A hengerköpeny keménynek, a csapoknak megmunkálhatóknak kell lenniük, ezért a köpeny fémformába (kokilla), a csapok homokformába vannak öntve. A rávágás az alsó csapra érintőlegesen van elhelyezve, hogy a beömlő folyékony öntöttvas ütközésmentesen érjen a formába.

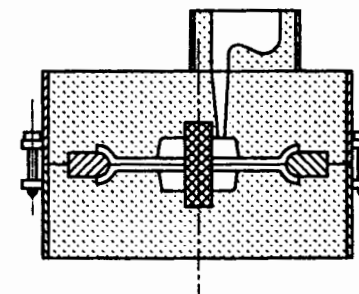
Drótkötél vezetőkerék öntőformája látható a 2.6. ábrán. A homokformába helyezett osztott hűtővas-koszorú hatására az önt-



2.5. ábra

Kéreghenger öntőformája

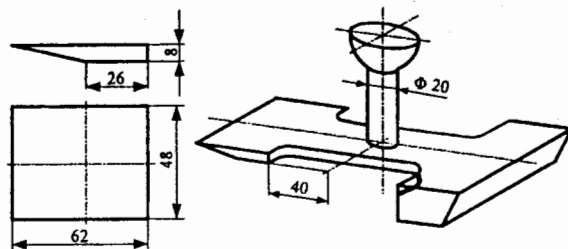
vény sűrűlődnak kitétt felületén fehér kopásálló kérget kapunk. Az öntvény olyan szürkevasból készült, mely homokba öntve szürkén, míg a hűtővas hatására fehéren (ledeburitosra) dermed. E kifehéredési hajlam megítélésére a 2.7. ábrán látható öntött ékpróba törete szolgál. Az éket öntés után egy perccel, amikor kb. 900°C hőmérsékletű, vízben lehűtik és hosszában kettétörik. A töret a hegyes végétől visszafelé fehéren kristályosodik, amelynek hosszából az Si+C mennyiségre, ezzel a kifehéredési hajlamra is lehet következtetni. A kifehéredési hajlam csökkentésére az üstbe ferro-szilíciumot adagolnak.



2.6. ábra

Drótkötél vezetőkerék formája hűtővasal

Mint újdonságot megemlítjük, hogy egy nyugat-európai autóalkatrészgyár személygépkocsikhoz való kéregöntésű vezértengelyt hozott forgalomba. A vezértengely lemezgrafitos szürke öntöttvas, de a vezérbütyök helyén acél betéteket tettek az öntőformába (héjformába), így a bütyök kérge fehérvas. A 12 vezérbütyök kéregedzésének (indukciós edzés) elmaradása jelentős költségcsökkenést eredményez.



2.7. ábra

Öntött ékpróba a kifehéredési hajlam megállapításához

Centrifugálöntéssel készülnek az öntöttvas hengerperselyek és dugattyúgyűrűk, ahol forgó, vízszintes tengelyű hengeres acélformába öntik be a megolvasztott öntöttvasat. Az itt alkalmazott igen nagy kerületi sebesség – mintegy 80-100 m/s – a beöntött perselyanyag finomszemcsés, tömör, gáz- és salakmentes szövetét biztosítja, és így jobb a szilárdsága. A szilárdsági tulajdonságok javítására az öntöttvas motor-hengerpersely anyagot 1% Mo, 0,5% Cr, esetleg 1% Ni-lel ötvözik. A hengerpersely külső kérge ledeburitos lesz, ezért a nyers-öntvény méreteit úgy állapítják meg, hogy a várható kéregvastagság lemunkálásával a kész persely mérete kiadódjon. A kifehéredett réteget keményfém szerszámmal nagyolják le.

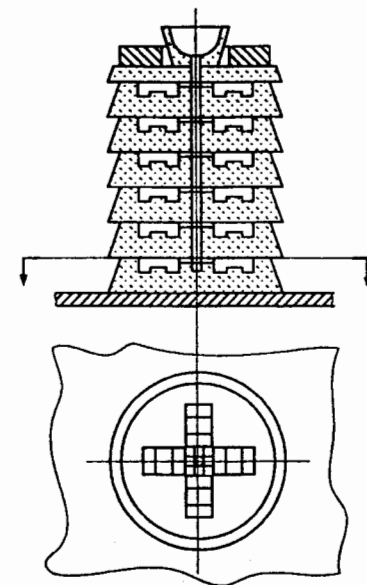
2.1.6. Magkészítés

A két- vagy többrészes mag szekrénybe döngölt, maghomokból készült magot keményre szárított állapotban helyezik a forma magfészkebe. A maghomok jobb minőségű az öntőhomoknál, nagyobb a szilárdsága és jobb a gázátbocsátó képessége. A folyékony fém felhajtó ereje a magot hajlítja, míg az áramló fém a nem kielégítő szilárdságú magot elmosná, széleit letörné. Az öntvény belsejében felszabaduló gázok biztos elvezetését a magnak kell megteremteni. A mag ezeket az ellentétes követelményeket úgy elégíti ki, hogy a maghoz mindig anyagmentes, durvaszemcsés kvarchomokot használnak, nagy szilárdságot biztosító kötőanyaggal (szulfitlúg, dextrin, főtt lenolaj, krezol-fenol műgyanta). A mag hajlítószilárdságának növelésére a belsejébe néha magvasakat helyeznek.

A gázelvezetés javítására a mag belsejében viasz-zsinórt, vagy összefüggő acélforgácskígyót helyeznek, nagy magoknál ezt a célt szolgálja a középre helyezett koks-ágy, illetve a lyuggatott acélcső. A mag szárítása nemcsak a szilárdságot, hanem a homok gázáteresztő képességét is növeli. A szárítás feladata a homok nedvességtartalmának elgőzöltetése és a kötőanyagok szilárdítása. A magokat mindig szárítva használják. Az acél és alumínium homoköntvények formáit is szárítani kell. A formák és magok szárítása 150-350°C-on történik. Kisebb magokat szárító szekrényben, nagyobbakat szárító kemencében szárítják. Szárítás előtt a

felületeket fekeccsel vonják be. A mozgathatatlan talajformákat és az igen nagy formákat hordozható, ventilátoros, forró levegőt fűvő berendezéssel szárítják.

Egyszerű, lapos, felöntést nem igénylő tárgyak formaszekrény nélkül önthetők maghomokba és magszekrénybe formázással, az ún. *fürtös öntéssel* (2.8. ábra). Itt az öntendő darab több mintáját, a beöntőcsatorna és rávágások mintáját rendszerint fémből készítik, és a magszekrénybe döngölt maghomokból lapos csonka kúp alakú magokat készítenek, azokat kiszáritják és koncentrikusan egymás fölé rakják úgy, hogy átmenő beöntőcsatorna képződjék. Az oszlop tetejét súllyal leterhelik, illetve a beöntőtőlcsért felhelyezik. Ezzel az eljárással öntik pl. a dugattyúgyűrűket és a lapos Al-Ni-Co magnesekeket.

2.8. ábra
Fürtös öntés

2.1.7. Gépi formázás

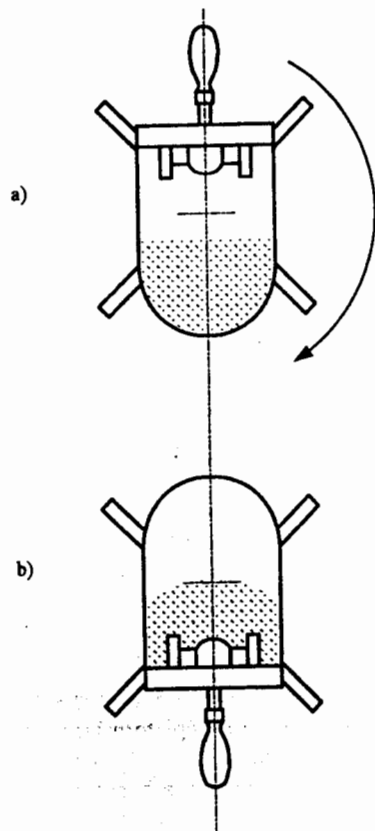
A kézi formázás jelentős költsége a tömeggyártásban a gépi formázás kifejlesztéséhez vezetett. A gépi formázásnál mindig acéllemezből készült mintalapot alkalmaznak, amelyre a formaszekrény felerősíthető. A minták a beöntőcsatorna mintákkal együtt kopásálló fémtövezetből készülnek. Szokásos mintafém ötvözet: 6% Sn, 16% Sb és 78% Pb.

A gépi formázásnál az alábbi követelményeket kell kielégíteni:

- a formázógép a formázóanyagot rövid idő alatt, egyenletesen tömörítse a formaszekrénybe,
- a formázógép a mintát a formából úgy szabadítsa ki, hogy közben a forma ne sérüljön meg.

2.1.8. Méretpontos formázó eljárások

A korszerű öntéstechnika törekvése az, hogy a formaöntés gazdaságossága mellett a felületismaság és méretpontosság növekedjen. Ezek a törekvések vezettek a méretpontos formázó eljárások kifejlesztéséhez. E korszerű eljárások közül a héjformázás, a Shaw eljárás és a precíziós öntés a jelentősek.



2.9. ábra

Héjformázás: a) a formahomokot és mintalapot tartó edény átfordítása; b) a formahomok rásül a mintalapra

Héjformázás. A héjformázást J. Croning dolgozta ki 1944-ben. Ennél az eljárásnál a formahomokot könnyű és szilárd héjakkal, a tömör magokat pedig üreges magokkal helyettesítik. A héjforma anyaga jól kimosott, száraz, 0,2 mm-nél kisebb szemcseméretű kvarchomok, melynek kötőanyaga 5-7% fenol-, vagy fenol-krezol műgyanta. A héjformák készítésénél mindig fémmintalapra szerelt fém mintákat használnak, melyet a műgyanta kötésének megfelelő hőmérsékletre előmelegítve töltenek fel formahomokkal. A műgyantával összekevert formahomokot egy átfordítható edénybe helyezik (2.9. ábra a) része), amelynek fedelét képezi az előmelegített mintalap. A 180°-os átfordítás után (2.9. ábra b) része) az edényben levő formahomok keverék rázuhan a 250-300°C-ra előmelegített mintalap felületére. Ezen a hőmérsékleten a homok műgyanta kötőanyaga megolvad és ez az olvadás 6-20 s alatt bekövetkezik a formahomok mintegy 4-6 mm vastag rétegében. A berendezés visszaforgatásakor a felesleges homok a héjról le hull. Az így elkészült héjformát a mintalappal együtt 450°C-os kemencében 1-1,5 percig kikeményítik, majd a kész héjformát a mintáról leválasztják.

A héjformázás menetéhez hasonlóan készülnek az üreges magok is. Ezeknél a formahomok-keveréket a megfelelő hőmérsékletre előmelegített fém magszek-

rénybe töltik, ahol néhány másodperc után megköt az a vékony réteg, amely a mag külső felületét adja. Az ilyen üreges magokat homokformában és kokillákban is fel lehet használni.

A héjformákat öntéshez megfelelő keretekkel szorítják össze, vagy formaszekrénybe helyezik és öntőhomokkal körülöngölik. A héjformázást nagyobb sorozatgyártásban készült 1-10 kg nagyságú öntvényeknél gazdaságosan alkalmazzák. A megmunkálási ráhagyás 50%-kal kisebb lehet, mint a hagyományos homoköntésnél.

A Shaw eljárásnál a minták fából, gipszből, vagy fémből készülnek. A mintalamezre fa-, vagy fém keretet erősítenek. A forma anyaga tejföl sűrűségű keveréke a kvarchomoknak, etilszilikátnak és víznek. Az etilszilikát néhány perc alatt alkohol fejlődés közben gumiszzerű anyaggá hidrolizálja a kvarchomokot. Ilyen álla-

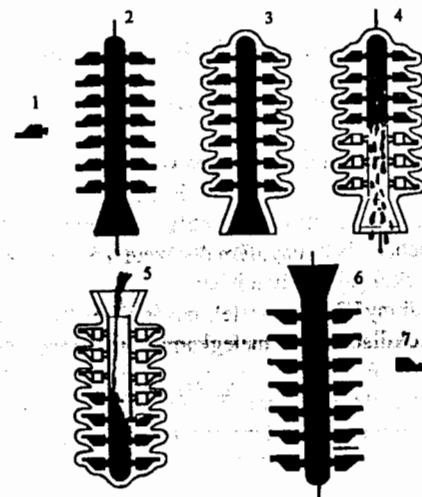
potban a minta leválasztható a formáról. A képződő alkoholt meggyújtják, vagy gyors hevítéssel távolítják el. E gyors hevítés következtében a forma felületén sűrű, finom repedésháló keletkezik, mely nem rontja az öntvény felületi simaságát, de jó gázátbocsátó képességet biztosít a formának. Ezután a formát még 1000°C-on egész rövid ideig kiizzítják, amikor is az etilszilikát révén a kvarcsczemcsék nagy szilárdságot biztosító összetapadása következik be. A kiégett formafeleket keretekkel összeszorítják a kiöntés céljára. A Shaw eljárással önthető az összes használatos fémötvözetek. A méretpontosság 0,5-1%. A Shaw eljárás előnye a héjformázáshoz képest az, hogy olcsó fa- és gipszmintákat lehet használni. Hátránya azonban az etilszilikát viszonylag nagy ára. Főleg kisebb öntvények készítésére használják.

Precíziós öntés. A precíziós öntés mintája viaszból készül (2.10. ábra 1. része).

Az előmelegített viaszt a minta alakját és méreteit megtestesítő kétrészes fém-, vagy polisztirol kokillába sajtolják. A viasz szokásos összetétele 70% sztearin és 30% paraffin. A kokilla felület polírozott, így a minta felületi simasága kiváló lesz. A viasz mintákat megtisztítva – a kokilla osztósík adta sorjarészt eltávolítva – viasz oszlopra ragasztják úgy, hogy egy fűtős öntvényhez hasonló viasz-bokor keletkezik (2.10. ábra 2. része).

Az öntőforma elkészítéséhez a viaszbokor felületére olyan vékony formázóanyag réteget kell felvinni, mely biztosítja az öntött felület megmunkálását nem igénylő

felületi simaságát, de emellett gázáteresztő, hőszilárd és az öntvény felületéhez nem sül hozzá. E követelményeket maradéktalanul kielégíti a nagyon finom szemnagyságú kvarcliszt, etilszilikát, alkohol, sósav és víz tejföl sűrűségű keveréke, melybe a viaszbokrot bemártják. Bemártás után a felesleges bevonóanyagot lecsepgetve finom kvarclisztet szítálnak a felületre, majd 10-12 órán át szobahőmérsékleten szárítják. Többszöri bemártással a felvitt réteg vastagsága növelhető. Az így elkészített bokrot formaszekrénybe állítják és megtámasztására szárított formahomokkal egyenletes tömörségűre rázatják. Ezután következik a viaszminták kiolvasztása úgy, hogy az öntési helyzethez képest fejrallított formaszekrényt több órán keresztül 100°C-on tartják (2.10. ábra 4. része). A kiolvasztott viasz újból felhasználható. Ezután 1000°C-on égetés következik a kellő szilárdság elnyerésére. A kemencéből kivett formába még izzó állapotban beöntik az alkatrét-



2.10. ábra

A precíziós öntés munkafázisai

szek anyagát, hogy a folyékony fém minél jobban kitöltse az egész vékony formarészeket is (2.10. ábra 5. része).

Precíziós öntéssel általában tetszés szerinti fémötvözetek önthetők. A nehezen megmunkálható, hőszilárd $CrCoNiW$ turbina lapát öntvények előállítására egyedül precíziós öntéssel gazdaságos. A gazdaságos darab tömeg néhány grammtól 10 kg-ig terjed.

A precíziós öntés pontossága 20 mm-ig $\pm 0,1$ mm, nagy daraboknál $\pm 0,5\%$.

Az eljárás hátránya, hogy a formakészítés költséges (bár ezt az elmaradó forgácsolás ellensúlyozza), továbbá a kis lehetséges darabméret és a mikrolunkek előfordulása. Az eljárást apró, nagy darabszámú (1000 db felett), drága alapanyagból készült öntvények előállítására használják akkor, ha vele jelentős forgácsolás takarítható meg, (marószerszámok), illetve bonyolult alakú szerkezeti alkatrészek készítésére (varrógép szövetvotvábbító eleme, szálfeszítő karja, stb.)

2.1.9. Tartós formákba való öntés

A tartós öntőformák előnye a sokszori felhasználás lehetősége és a nagyobb méretpontosság, ami által kisebb megmunkálási ráhagyás adható meg.

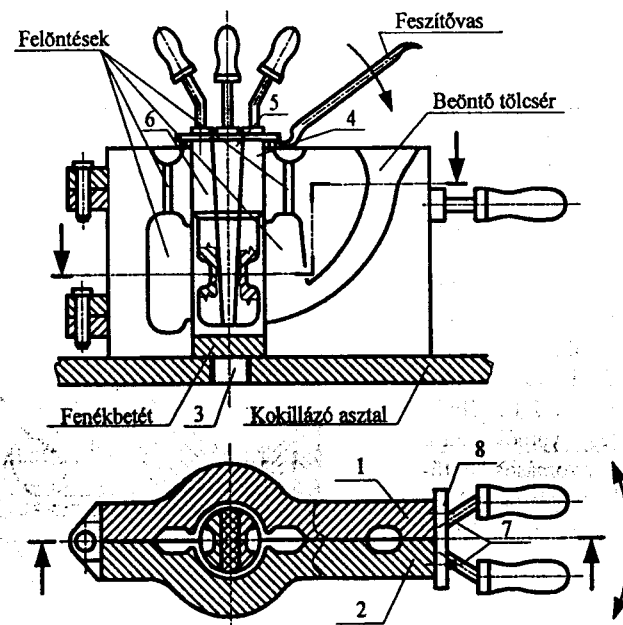
A tartós forma, más néven *kokilla* anyaga lehet acél, vagy öntöttvas, esetleg kisebb olvadáspontú fémek öntéséhez réz, bronz, vagy sárgaréz. A fémforma jó hővezető, tehát gyorsan elvezeti a beleöntött fém melegtartalmát. Ez a nagy túlhűtő hatás nehéz- és könnyűfém ötvözeteknél szemcsefinomodással jár, amely a szilárd-sági értékek javulásával is jár.

A könnyűfém ötvözetek tartós formába való öntésének három eljárása alakult ki: a kokillaöntés, a melegkamrás nyomásos öntés, és a hidegkamrás nyomásos öntés.

A *kokillaöntés* fém formába való gravitációs öntés (2.11. ábra). A kokilla anyaga finom grafiteloszlású perlit-grafitos öntöttvas. A kokilla nyersöntvényét feldolgozás előtt 500-550°C-ra hevítik, hogy az öntési feszültségektől, – mely vetemedést okozhat – megszabaduljon. A kokilla magjait is fémből készítik, mégpedig perlitese szűrkevasból, vagy nagy melegszilárdságú ötvözött acélból.

A kokilla készítésénél a beöntés és a felöntés kialakítására, a falvastagságra nézve hasonló elvet alkalmazhatunk, mint a homoköntésnél láttuk. Anyaghalmazódásokat, nagy keresztmetszet-változásokat az öntvény tervezésekor lehetőleg el kell kerülni. Ha az anyaghalmazódás elkerülhetetlen, akkor szabad, vagy rejtett felöntésekkel kell táplálni azokat. Erélyesebb hűtés a kokilla falvastagságának növelésével érhető el, a kokilla falába beépített bordás rézbetéttel a hűtés sebesség tovább növelhető. A gázoknak a kokillából való eltávolításáról gyakran az osztás síkon vágott csatornák vagy kis keresztmetszetű levegőelvezetők gondoskodnak.

Könnnyűfém motor-dugattyú kokilláját mutatja be a 2.11. ábra. A kokilla szétnyitható félrész párja (1, 2) közrefogja a kokillázó asztal furatába illesztett vörösréz fenéketet (3). A hűtőbetétet a dugattyú vastag fenekének gyors hűtésére, az itteni szívódási üreg elkerülésére alkalmazzák. A dugattyú beslő üregét a itt hármorészes maggal (4, 5, 6) alakítják ki. Ma ötrészes magokat alkalmaznak. A dugattyú csapszegszemek lunkeresezési hajlamát nagyméretű rejtett felöntésekkel hártják el. A mai dugattyúöntvények csapszegfuratát forgácsoldali ráhagyással – előöntik. Ehhez a kokilla osztására merőlegesen betolt magok szükségesek.



2.11. ábra
Könnnyűfém dugattyú kokillája

Öntés előtt a kokillát és a magokat kb. 100°C-ra előmelegítik. A kokilla és a mag felületeit grafitos vízzel megkenik. A felületen maradó grafit a kenést biztosítja. A rejtett felöntések kokilla részeit vízüveges kaolinnal vonják be, hogy hőszigetelő réteg keletkezzen. A beöntött dugattyúfém rövid idő alatt megdermed és a magok kihúzása után még melegen a kokilla szétnyitásával kiemelhető. A felületbevonás után az öntés megismételhető. A kokillaöntés akkor gazdaságos, ha a költséges kokilla a darabszámmal megtérül. A kokillaöntés teljesen automatizálható.

A nyomással történő automatizált tartósforma öntés két változata alakult ki: az ún. melegkamrás nyomásos öntés (fröccsöntés), illetve a hidegkamrás nyomásos öntés (présöntés).

A két eljárás közös jellemzője, hogy

– az öntendő fémet nagy nyomással juttatjuk a fémformába,

- az öntvények felöntés nélkül készülnek,
- a kokilla erősen ötvözött acélból készül, munkaiigényes, tehát a szerszám költséges,
- az öntvények szebbek, pontosabb méretűek, mint a kokilla öntvények.

A nyomásos öntéssel készült öntvények dermedési zsugorodása során számos apró, mikroszkopikus nagyságú üreg – mikrolunker – keletkezik. Ezért az öntvény külső héjának lemunkálása után az anyag gázáteresztő lesz.

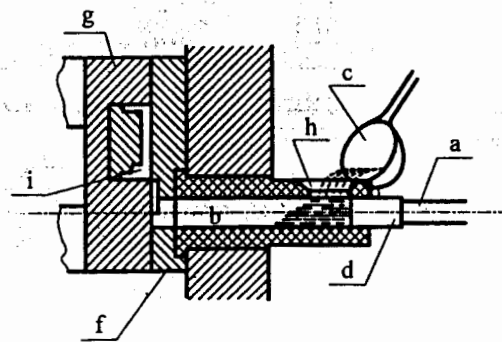
A melegkamrás nyomásos öntőgépekben a fémfürdő üstje a gép részét képezi, a nyomókamra pedig mindig a fémfürdőbe merül. A hideg kamrás öntőgépeknél a fémolvadék a géptől elválasztott kemencében van, az öntéshez szükséges fémmennyiséget merítőkanállal automatikusan adagolják a nyomókamrába, amely az olvadt fémmel így csak rövid ideig érintkezik.

A melegkamrás nyomásos öntés eredeti működési elve a szódavizes palackéval azonos. Az öntöttvas edényben ébren tartott könnyűfém ömledék felületére adott 3-5 MPa levegőnyomás a kivezető csövön keresztül az anyagot a szerszámba fröccsönti. Ma már a levegőnyomás helyett a fémfürdőben lévő függőleges hengert és dugattyút alkalmazzák a belőési nyomás előállítására. Hátránya a melegkamrás nyomásos öntésnek, hogy az üstben huzamos ideig folyékonyan tartott Al-ötvözet az üst anyagával szennyeződik.

A hidegkamrás nyomásos öntésnél elkerülhető az öntvény anyagának vassal való szennyeződése. A 2.12. ábrán egy vízszintes nyomókamrájú hidegkamrás nyomásos öntőgép nyomókamrájának (b) és formaüregének (i) rajza látható.

A nyomókamra (b) egy hengerből és egy dugattyúból áll. Az öntvény formaüregének (fémformájának) egyik fele (f) a gépállványhoz van rögzítve, a másik formaüreg felet (g) hidraulikus henger mozgatja, illetve tartja zárva az öntés ideje alatt. Ezeket az öntőgépeket a záróerővel jellemzik. Magyarországon a legnagyobb ilyen gép záróereje 12GN.

A 2.12. ábrán a formaüreg zárt, a nyomókamra dugattyúja (a) – amit szintén hidraulikus munkahenger működtet – hátulsó helyzetben áll. Ekkor a gép merítőkanala a kemencéből kimerített, az adott öntvényhez elegendő ömledéket betölti a nyomókamra (h) jelű részén át. Ezt követően a nyomókamra dugattyúja a „belövő dugattyú” előre mozdul, benyomja (belövi) az ömledéket a formaüregbe és nyomva tartja azt. Az öntvény megdermedése után a zárószerszám nyitja a formaüregtet. A nyitás végén a kilököcsapok kilövik az öntvényt a mozgó formaüregből. A formaüreg tisztítása és bevonása után (amit a mai gépek automatikusan végeznek) megtörténik a formaüreg zárása, a belövő dugattyú visszajárása és kezdődhet a



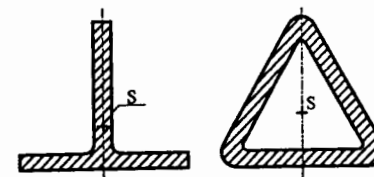
2.12. ábra

Hidegkamrás nyomásos öntőgép, vízszintes nyomókamrával

következő öntés. Ezeknél a gépeknél az az anyagmennyiség, ami a nyomókamrában marad, a beömlőcsatornába dermedt anyaggal együtt az öntvényen marad. Ezeket később távolítják el az öntvényről. A dugattyút a furatain átvezetett vízzel hűtik (d) és egy kapcsolószervezeten (e) keresztül mozgatják.

2.1.10. Az öntvénytervezés irányelvei

A formaöntvények tervezésénél mindig figyelembe kell venni a mintakészítés-,

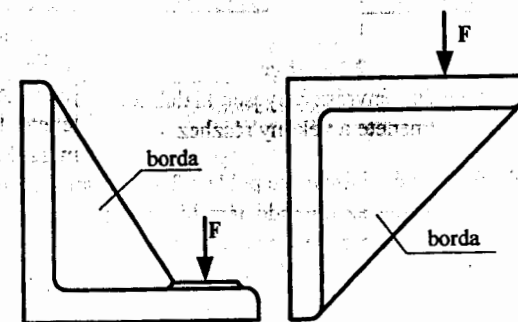


2.13. ábra

Öntöttvas hajlított tartók keresztmetszete

az önthetőség-, az öntvény megmunkálásának és a selejt elhárításának a szempontjait. Helyesen tervezett az az öntvény, mely a legegyszerűbb minta szerinti leggazdaságosabb formakészítéssel, legkevesebb öntési- és megmunkálási selejttel készül. A tervezéskor mindenkor figyelembe kell venni az öntvény anyagának fizikai és szilárdsági tulajdonságait is. A tervezőnek tehát nem lehet teljes szabadsága a forma megadásakor, az öntéstechnológia szempontjait kötelese figyelembe venni.

A szürkevas öntvények nyomószilárdsága kb. háromszor nagyobb, mint a szakítószilárdsága. A 2.13. ábrán két helyesen tervezett hajlított tartó keresztmetszete látható; helyes, ha a húzott részhez esik a nagyobb keresztmetszet. A szürkevas konzol helytelen és helyes kialakítása látható a 2.14. ábrán. A szürkevas szakító- és nyomószilárdsága közötti különbséget úgy kell figyelembe venni, hogy a borda mindig nyomott legyen.



a) Helytelen

b) Helyes

2.14. ábra

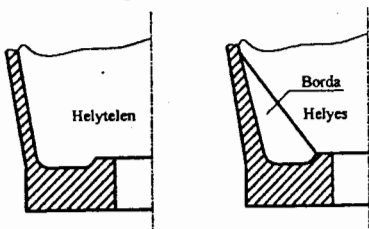
Szürkevas konzol; a) helytelen; b) helyes kivitelezés

Az öntvényeket általában egyenes keresztmetszettel kell tervezni; így az öntvény dermedése mindenütt egyszerre indul és fejeződik be. Elkerülhetetlen anyaghalmozódási helyeket felöntéssel kell táplálni. Az öntvények alakját úgy kell tervezni, hogy a keresztmetszetek a felöntések felé növekedjenek.

A zsugorodási feszültségek elhúzóhatást okozhatnak, repedés keletkezik. Esztergapad-ág helytelen és helyes kialakítását tünteti fel a 2.15. ábra. A nagyobb keresztmetszetű rész később hül le, így a zsugorodási rövidülés miatt az esztergapad-ág felülről homorú lesz.

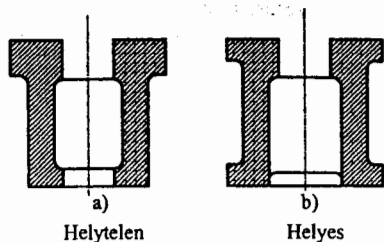
A zsugorodási feszültségek repedéshez vezetnek azokban a sarkokban, ahol a vékony és vastag keresztmetszetek találkoznak. Általában kerülni kell a hirtelen keresztmetszet változásokat. A vastag öntvényrész legalább 1:4 kúpos átmenettel menjen át a vékonyba (2.16. ábra). A helyes megoldásnál a kúpos átmenet a nyíllal megjelölt bordával támasztva van.

Tervezéskor tartsuk szem előtt a mintakészítés és formázás gazdaságosságát. Törekedni kell a legegyszerűbb alak kiképzésére. Lehetőleg egy



2.16. ábra

Vastag öntvényrész helyesen kialakított átmenete a vékony részhez

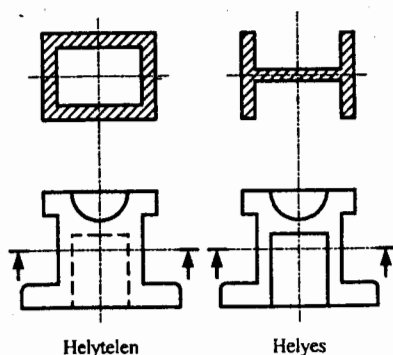


2.15. ábra

Esztergapad-ágy keresztmetszete; a) helytelen-; b) helyes kiképzése

osztássikú, tehát kétrészes szekrénybe önthető alakot tervezünk. Ha lehet, kerüljük a mag alkalmazását (2.17. ábra), ezzel a selejt-okok száma kevesebb lesz. Az elkerülhetetlen magoknak biztos támaszt adó magfészkeket kell tervezni.

E szempont a selejtszökkenés mellett munkaidő megtakarítást is jelent. A mintakihúzás könnyítésére a lehető legnagyobb ferdeséget alkalmazzuk. Az alámetszéseket kerülni



2.17. ábra

A mag elkerülésének lehetősége

kell. E tervezési irányelvre példa a 2.18. ábrán látható.

Az öntvényt az öntendő fém higfolyósságának megfelelő minimális falvastagságúra, vagy vastagabbra szabad tervezni.

Vékonyabb falnál a fém nem tölti ki a formát. Szürkevas homokformába való öntésénél a minimális falvastagság 6 mm.

Tervezéskor kerülni kell a nagy vízszintes felületeket. A formába beöntött fém felemelkedve a vízszintes felületeknél lelassul és szétterül, így a találkozási helyeken az elszennvedett oxidáció miatt össze-nemolvadás, ún. *hidegráfolyás* keletkezik, amely szilárdságilag nem megengedett. A vízszintes felületeknél levegő bezáródás is található. Megoldásként a szekrényes formát öntéskor ferdén helyezik el. A forma üregének legmagasabb helyére beszorult levegő cson-

ka kitöltést eredményez. Ezért a legmagasabb pontokon elvezető nyílásokról gondoskodjunk. Gondolni kell az öntvénytisztítás megkönnyítésére is. A maghomok eltávolításához megfelelő nyílások szükségesek.

2.2. PORKOHÁSZAT

A porkohászat, vagy fémkerámia korszerű sajátos technológia, elnevezését a kerámia iparhoz való hasonlósága indokolja. A kerámiát alakítás utáni égetéssel állítják elő. Itt a termék alakadását a fémpor, vagy porkeverék sajtolásával, majd ezt követően a végleges szilárdságát izzítással nyerik, miközben a termék zsugorodik. Innen származik pl. a „*zsugorított keményfém*” elnevezés. E technológia fő műveletei az alábbiak: a fém-

por-, vagy fém és nemfém anyag porkeverékét üreges szerszámban a kívánt alakra sajtolják, miközben a szemcsék helyenként összehegednek, majd ezt követően védőgázban izzítják a fém olvadás pontjának kb. 2/3-3/4 K hőmérsékletén, miközben a szemcsék közötti porusok (üreges) diffúzió révén csökkennek és az anyag zsugorodik. Ennek megfelelően a technológia alapműveletei a

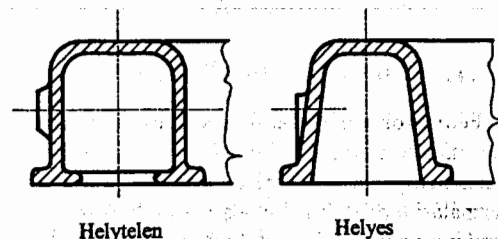
- porok előállítás,
- sajtolás,
- zsugorítás (izzítás) címszavak alatt tárgyalhatók.

A porkohászat igen korszerű technológia, mégis egyik legrégebbi eljárás, már i.e. 300-ban (Egyiptom), illetve 300 körül (Delhi vasoszlop Indiában) ismert volt. Az első felhasználása tömeggyártásban *Szoboljewszkij* nevéhez fűződik (1826), aki pénzérme félterméket platina por sajtolásával, majd azt követő izzítással állított elő. Ezt követte *Bessemer* (1846), aki *Cu-Zn*, illetve *Cu-Sn* porokból fémkerámiai eljárással talmi ékszerek tömeggyártását kezdte meg. További, múlt századi alkalmazások:

- 1900 - Villamos motor kefe (Cu+grafit),
- 1908 - Porózus csapágy,
- 1909 - Porózus féműzők,
- 1910 - W szál gyártás izzólámpákhoz,
- 1936 - Tömegcikk elállítás.

A magyar porkohászat is jelentős múltra tekint vissza:

1910-ben inult meg a W szál gyártás (Egyesült Izzó), 1935-től keményfémgyártás (Kőbányai Vas és Acél Öntöde), 1952-től tömegcikk gyártás (Törökbálint).



2.18. ábra

Tervezési irányelv az alámetszések és a mag elkerülésére, a mintakihúzás megkönnyítésére

A porkohászat a következő – eddig más eljárással el nem végezhető – feladatokat oldotta meg:

- A *W* és *Mo* huzal előgyártmányának előállítása hagyományos módon, az igen nagy olvadáspontok miatt lehetetlen (nem tudjuk megolvasztani).
 - Olvadáspontjukban jelentősen eltérő fémekből ötvözetek csak porkohászati úton gyárthatók ($Cu+W$ =volfrámbronz).
 - Porózus fémek előállítása (szűrők, önkendő csapágyak).
 - Sokréti igényeket kielégítő, ún. „*álötvözetek*” készítése (pl. fékbetét anyag).
 - Lényegesen tisztább anyag állítható elő, mint öntéssel.
- Számos előnye mellett az eljárás hátrányai a következők:
- A fémporok drágábbak, mint a kohászati alapanyagok.
 - Az előállítható darabok mérete korlátozott (max. 15 kg).

2.2.1. Fémporok előállítása

Fémporok előállíthatók mechanikai, fizikai és kémiai módszerekkel. A különféle módszerekkel előállított fémporok, ha azonos anyagúak is, a szemcsealak tekintetében jelentős eltérést mutatnak és ennek megfelelően tulajdonságaik, felhasználási területük különböző. Kiinduló anyag lehet színezet, vagy ötvözet, illetve nemfémes anyag (pl. oxid, karbid, grafit).

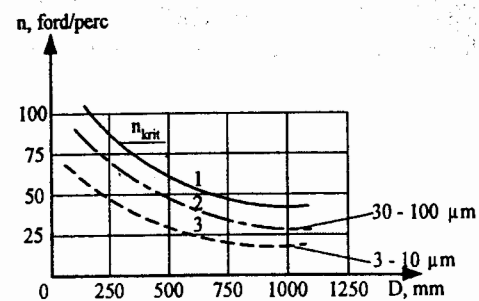
2.2.1.1. Fémporok gyártása mechanikus módszerekkel

A mechanikai aprítás kiinduló anyaga lehet hulladék, forgács, vagy előaprított fém (pl. drótdarabkák). Rideg anyagok előaprítása végezhető pofás törőben, kalapács malomban, vagy Koller-járatban.

Maga az aprítás végezhető golyós-malomban, vagy vibrációs malomban (rideg anyagok esetében), míg örvénymalomban (Hametag) a képlékeny anyagoknál.

A *golyósmalmok* általában 250-1500 mm átmérőjű hengeres forgó dobok, melyekbe előzetesen beöntik az aprításra kerülő termék és az aprítást végző golyók keverékét. Az őrlés – a malom fordulatszámától függően – végezhető üto hatással, illetve dörzsölő hatással.

Az $n_{kritikus}$ fordulatszámmal (2.19. ábra 1. jelű görbe) a centrifugális erő a golyókat feltapasztja a dob falára, így nincs őrlő hatás. A kritikus értéknél kisebb fordulatszámmal a golyók egy ideig a dob falára tapadnak, majd felülről visszaesve az alul elhelyezkedő anyagot üto hatással porítják, aprítják. Az előzőnél még ki-



2.19. ábra

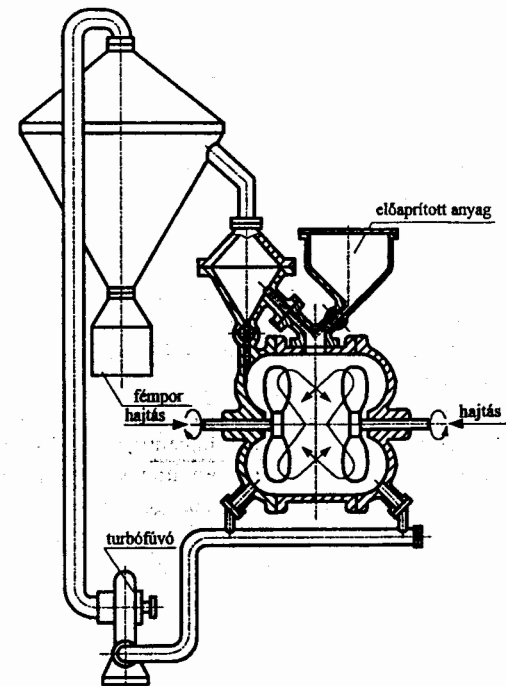
Golyósmaloms fordulatszám értékei, az átmérő függvényében

sebb fordulatszámmal a golyók visszaesése elmarad, így csak a golyók egymáson súrlódása fejt ki dörzsölve-őrlő hatást. Az elmondottakat a 2.19. ábra diagramja összegzi, a gazdaságosan elérhető szemmagyság feltüntetésével. Az őrlőgolyók anyaga lehet kemény porcelán, 18/8 CrNi acél, keményfém, fehérnyersvas. A golyók és a dob kopása szennyezi az őrleményt. Az őrlési teljesítmény javul, ha egyes átmérőjű golyókat használunk.

A dob töltési foka száraz őrlés esetén 0,3-0,6, nedves őrlés (víz, alkohol, benzín, xitol stb.) jelentősen növeli az őrlési teljesítményt. Az oxidáció meggátlására a száraz őrlést védőgáz alatt (N_2 , Ar, CO_2) végzik. Rendkívül finom szemcséjű piroforos porok szárazon nem is őrlhetők, mert a dob kinyitásakor robbannának. E szempontból veszélyesek a finom Al, Mg és Fe porok.

A *vibrációs malom* térfogata 10-400 liter, rugóra felfüggesztett edény, amely egy kiegyensúlyozatlan forgó tömeg segítségével rezgőmozgást végez. A vibrációs malomban a dörzsölőhatású aprítás van túlsúlyban. A dob töltési foka 0,8, vagyis a golyók és az őrlemény térfogata a dob térfogatának 80%-a. Az őrlemény tömege mintegy tizede a golyók tömegének. A gazdaságosan elérhető legkisebb szemmagyság $1\mu m$. Az őrlési idő a golyósmalomhoz képest kb. felére rövidül, így az eljárás gazdaságos.

Az *örvénymalom*, más néven a *Hametag malom* metszete látható a 2.20. ábrán. A mangan acél béléssel, vízzel hűtött kamrában két egymással szembe néző ellentétes irányban gyorsan forgó lapátpár található, amelyek ütessel porítják az őrleményt, de a lapátok okozta jelentős gázáramlás magával ragadja a szemcséket, így azok egymáshoz ütődve szétteredeznek, aprítódnak. Az őrlendő előaprított fém a felső jobb oldali tartályból kerül a malom munkaterébe. Az áramlásban levő levegő, vagy védőgáz a fém szemcséket a bal oldali gyűjtőkamrába sodorja, ahol a nagyobb szemcsék leülnek a tölcser alakú kamrafenekre, ahonnan visszavezethetők a munkatérbe, míg a finom részecskék a bal felső ciklonba, annak a felfogó tartályba kerülnek. A malom teljesítménye 5-10 kg/h. A szemcseméret: 50-200 μm .



2.20. ábra

A Hametag malom metszete

A közismerten képlékeny fémek (*Fe, Cu, Al*) szemcséi a Hametag malomban az ütés hatására felkéményednek és recézett szélű, tányér alakot öltenek, míg felületük érdes lesz. Mivel az őrlést túlnyomórészt a szemcsék egymáshoz ütődése végzi, az így készült porok kevésbé szennyezettek. A hametag porok sajtolási tulajdonságai igen jók, egyetlen hátrányuk nagy előállítási költségük.

Nem nagy olvadáspontú fémek (*Al, Sn, Zn, Cu*, eutektikus nyersvas) apríthatók megömlött állapotban. A vékony sugárban kiömlő olvadt fémek egy vízesedény fölött nagynyomású levegő vagy vízszugár segítségével porlasztják (*DPG*-eljárás). A porlasztott fémek gyorsan forgó verőlécek mechanikusan is apríthatják. A por-szemcsék alakja gömbszerű.

A porlasztó levegő vagy víz nyomásának és a kifolyó folyadéksugar átmérőjének változtatásával különösen finom szemcsenagyság érhető el. Az eljárás nagyon termelékeny.

2.2.1.2. Fémporok gyártása fizikai-kémiai módszerekkel

Az **RZ. eljárás** (Roheisen-Zunder=nyersvas-reve) igen-gazdaságos módja a lágy vasporok előállításának. A kiinduló anyag *Si* szegény, 3-5% *C*-tartalmú nyersvas, amelyet higfolyós állapotban oxigéndús levegővel porlasztanak. A gömb alakú szemcsék felülete erősen oxidálódik. Ezt követően a port 900-1000°C-on izzítják, amikor a reve oxigénje az oldott kARBONT elégeti, így a szemcsék magjának frissítése megy végbe, azaz a karbon tartalom 0% körüli értékre csökken. A keletkező *CO+CO₂* gázok a lágyvasat szivacszerűvé teszik. Az eljárás olcsó és a kapott lágyvaspor igen jól sajtolható.

Fémporok gyártása **elektrolízis** útján is történhet. Fém sók vizes oldatának elektrolízisének, ha megnövelt koncentráció és katódáramsűrűség van, nem tömör fém, hanem fémpor keletkezik. Az áramerősség növelésével a szemcseméret csökken. A vízzel átmosott, szárított port golyósmalomban őrlik, mivel intersticiós hidrogén és oxigén tartalma miatt rideg. 2-3 órás hőntartással kb. 700°C-on, védőgáz alatt izzítják, hogy a sajtoláshoz kilágyuljon.

Az így nyert porok szemcséi páfrány-levélhez hasonló cakkos szegélyűek, és igen jól sajtolhatók. Az eljárás további előnye a porok nagy tisztasága, valamint annak lehetősége, hogy szennyezett fémekből is tiszta por nyerhető.

A felhasznált porok tekintélyes részét **fémoxidok redukálásával** nyerik. A fémoxidok ridegek, így könnyen apríthatók, majd gáznemű redukáló szerrel a fém olvadáspont alatti hőmérsékletén folyamatos működésű csökemencében redukálhatók. A redukált port újból őrlik, majd mágneses szeparálással szabadítják meg a maradék oxidtól, végül szitalják. Az eljárás olcsó és leginkább a nagy olvadáspontú fémeknél (*Fe, Ni, Co, W, Mo*) alkalmazzák.

2.2.2. Fémporok tulajdonságai

A nagy tömegben előállított porkohászati termékek pontosan beállított technológiai paraméterekkel készülnek. A termék tulajdonságait a kiinduló por tulajdonságai nagymértékben befolyásolják. A por eltérő tulajdonságai a technológiai paraméterek megváltoztatását igényelnék, amely út nem mondható járhatónak, így a selejt elhárítás érdekében a por egyenletes minőségét kell biztosítani. Fontos sze-

repe van tehát a minőség ellenőrzésnek, amellyel a por technológiai, fizikai és kémiai tulajdonságai meghatározhatók. A legfontosabb technológiai tulajdonságok a töltősűrűség, a kifolyási idő és a porok sajtolhatósága.

A fémporok **töltősűrűsége** alatt az egységnyi térfogatú, szabadon ömlesztett fémpor tömegét értjük (ρ_1), értékét az anyag tömege és a tényleges térkitöltés határozza meg; dimenziója g/cm^3 . A térkitöltés mértékét a szemcsék alakja, nagysága, eloszlása, felületük simasága szabja meg. Szabályos alakú, sima felületű és eltérő nagyságú szemcsék töltősűrűsége nagy, mivel a nagy szemcsék közötti hézagokba a kisebbek elhelyezkedhetnek.

A töltősűrűség szoros kapcsolatban áll a zsugorodás mértékével. Minél kisebb a töltősűrűség, annál nagyobb lesz a termék zsugorodása. Állandó töltősűrűségű porok használatánál kicsi a zsugorodás értékek szórása, így a késztermék méretűre kedvezőbb, ezzel az utánmunkálás szükségtelessé válhat.

A fémporok töltőtérfogatának ismeretére a sajtoló-szerszámok szerkesztésénél van szükség. A 2.21. ábra az A_0 alaplapú, h_1 magasságú hengeres sajtolószerszám üreg metszetét tünteti fel ρ_1 töltősűrűségű porral kitöltve, melyet h_2 magasságra sajtolunk össze, aminek hatására a por ρ_2 sajtolási sűrűségű lesz. A por töltőtömege azonos a sajtoló darab tömegével, így

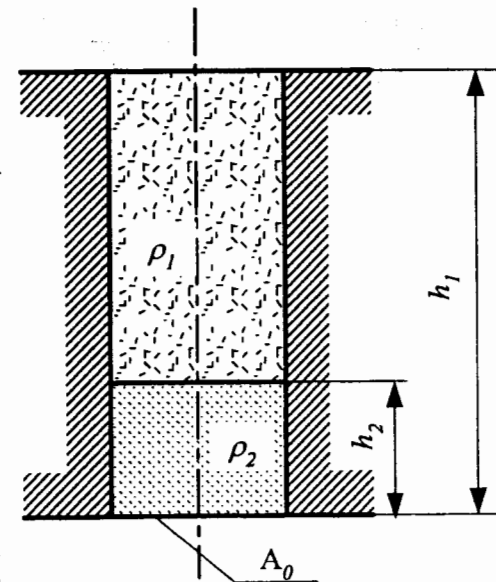
$$A_0 \cdot h_1 \cdot \rho_1 = A_0 \cdot h_2 \cdot \rho_2, \text{ vagyis } \frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = f. \quad (2.1)$$

Az f paramétert **töltőtényezőnek** nevezzük.

A h_2 érték adott a munkadarab tervezett méretével – természetesen a zsugorodást figyelembe véve, így a szerkesztőüreg magassága az f érték birtokában számítható. Az f nagyságát a kiinduló por töltősűrűsége, illetve a választott sajtolási sűrűség nagysága szabja meg. A kész termék szilárdsága annál nagyobb, minél nagyobb ρ_2 sajtolási sűrűséget választunk.

A fémporok **folyási képességén** azt a tulajdonságot értjük, hogy mennyi idő alatt képes egy adott térfogatot kitölteni. Automatikus sajtolásnál a szerszamba töltés ideje döntő tényező a termelékenység szempontjából.

A fémporok **folyási képes-**



2.21. ábra

Hengeres sajtolószerszám metszete

ségét a szabványos méretű tölcserből 1 s alatt kifolyó fémpor tömegével fejezzük ki:

$$\alpha = \frac{m}{t} [g/s]. \quad (2.2)$$

A folyási képesség romlik: a szemcsék méretének csökkenésével, a felületi érdességgel és nedvesség tartalommal (tapadás). A szabályos szemcse alak (pl. gömb) a folyási képességet növeli.

Fémporok *sajtolhatósága* alatt azt a tulajdonságát értjük, hogy külső nyomás hatására a fémpor milyen mértékben tömörödik és mennyire képes alaktartó formát felvenni. A sajtolhatóságot lényegesen befolyásolja a porszemcse alakja, nagysága, a nagyság eloszlása, érdessége és keménysége.

A kisebb porszemcsék nagyobb fajlagos felülete rontja a fémpor sajtolhatóságát. A sajtolási szilárdság növekedhet az érdes, cakkos szegélyű szemcsék egymásba ékelődése, nemezelődése miatt.

Minél nagyobb a szemcse keménysége, annál nagyobb fajlagos nyomóerő szükséges adott sajtoló-szilárdság eléréséhez. A fémporok lágyítása a sajtolhatóságot javítja.

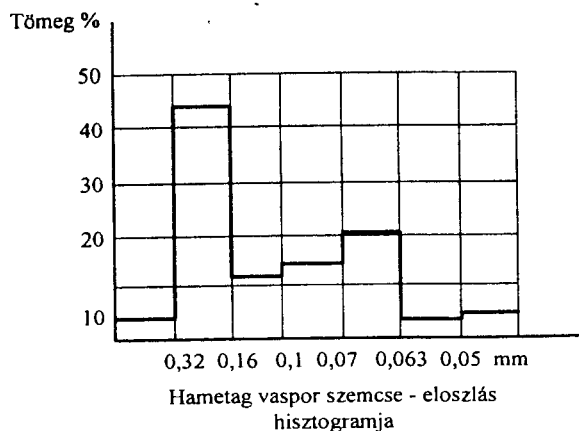
A sajtolhatóság mérőszámát úgy jellemezzük, hogy adott nyomásokkal (200, 400, 600 MPa) végzett sajtolás után megállapítjuk a fémpor tömörödésének mértékét, azaz a *sajtolási sűrűséget* (ρ_2).

Az *alaktartó képességet* a sajtoló próbatest nyomószilárdságának $R_{m,ny}$ (sajtolási szilárdság) és a próbatest sajtolásakor alkalmazott fajlagos nyomásnak (p) a hányadosa jellemzi.

$$F = \frac{R_{m,ny}}{p}. \quad (2.3)$$

A nemezelődő hametag, elektrolit porok alaktartó képessége nagy, így nem várható a sajtoló darabok szállítása közbeni (a zsugorodás előtti) megsérülése.

Mint láttuk, a szemcse alakja kihat a por technológiai tulajdonságaira. A páfránszerű, dendrites (elektrolit por) szemcséket kis töltősűrűség, nagy sajtolási szilárdság, míg a gömbszerű (DPG) szemcséket nagy töltősűrűség és kis sajtolási szilárdság jellemzi. A technológiai



2.22. ábra

Szemcsenagyság eloszlás histogramja

tulajdonságokra legjobban kiható jellemző a szemcseméret eloszlása. A porkoházatban előforduló fémporok szemcsenagysága 0,1-400 μm közé esik. Minden egyes fémpor szemcséinek nagysága az átlagérték körül szóródik. A 2.22. ábrán egy hametag vaspor szemcsenagyság eloszlás histogramja látható. A histogram legmagasabb oszlopa a 0,16-0,32 mm méretű szemcsék mennyiségét jelzi tömeg%-ban (44,2%).

A szemcse-eloszlás legegyszerűbben *szitaanalízissel* vehető fel. A rázógéphegymás fölé helyezett sziták növekvő lyukbőségük, így a felül betöltött pormennyiség egy idő után a histogramnak megfelelően szétosztályozódik. A histogram-oszlop magasságai az egyes szitákról levett pormennyiség tömegszázalékát jelentik. Előző példánál a 0,16 mm lyukbőségű szitán az ennél nagyobb szemcsék fennakadnak, viszont a felette levő 0,32 mm lyukbőségű szitán az ennél kisebb szemcsék áthullanak. Egy szitán visszamaradt por mennyiségét *szitafrakciónak* nevezzük. Ha n a sziták száma, akkor $n+1$ szitafrakciót kapunk. Az ipari nagy lengősziták egyes frakciói hordókban gyűlnek össze, így lehetőség nyílik keveréssel tetszőleges szemcseeloszlást megvalósítani. A legfinomabb mérőszita lyukbősége 0,04 mm, így 40 μm -nél finomabb porok szitaanalízise nem lehetséges. Ez esetben az eloszlás meghatározására mikroszkópot vagy ülepítő eljárást használnak.

A fémporok legfontosabb kémiai jellemzői: a szennyezők mennyisége (pl. vaspor-nál oxid, H_2), ötvözeteknél az alkotók százalékos mennyisége, valamint a piroforos (öngyulladásos) tulajdonság.

2.2.3. Fémporok sajtolása

Sajtolónyomással az ömlesztett fémporból kréta szilárdságú testet kapunk, melynek alakja és mérete a zsugorodási ráhagyás figyelembevételével megfelel a késztermék alakjának és méretének. E tevékenység műveletei a következők: porkeverék előkészítése, porkeverék adagolása a szerszámba, sajtolás.

2.2.3.1. Porkeverék előkészítése

A porok előkészítő műveletei: szitálás, hőkezelés, osztályozás, keverés és szemcsézés (granulálás).

A fémporok a különböző nemkívánatos szilárd szennyezőktől hidromechanikai, vagy mágneses úton szabadíthatók meg. Az elnyelt gáz-, vagy felületi oxid szennyeződést, valamint a felkeményedés redukáló atmoszférában végzett izzítással szüntethető meg.

Az osztályozást szitálással, vagy 40 μm szemcseméret alatt szélosztályozással végzik el. A fő szemcseméret alapján a porok a következő osztályokba sorolhatók:

- rendkívül finom 0,5 μm ,
- igen finom 0,5-10 μm között,
- finom 10-40 μm között,
- közép finom 40-150 μm között,
- durva 150-500 μm között.

A fémporok keverése száraz vagy nedves eljárással lehetséges. Eltérő sűrűségű anyagok egyenletes elkeveredése csak nedves eljárással oldható meg. Az elégtelen

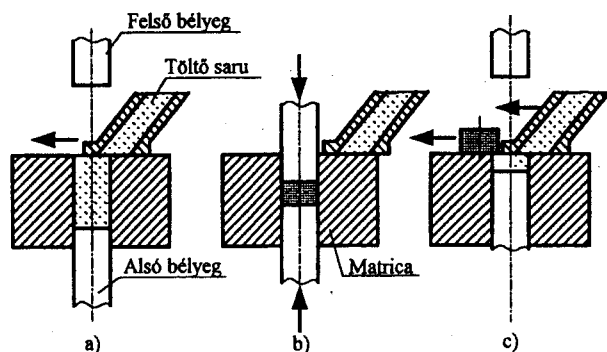
keverés a termék minőségét rontja, amely a mechanikai jellemzők és a fizikai-kémiai tulajdonságok romlásában mutatkozik meg. A túlkeverés is hátrányos, mert felkeményednek a szemcsék, valamint a szemcse-eloszlás is változhat (tördelőzés).

Az igen finom (0,5-10 μm) porok rosszul folynak, összetapadnak, adagoláskor hidakat alkotnak, így nem töltik ki tökéletesen a szerszámméretet. Az ilyen porok granulálással alkalmassá tehetők automatikus töltésre. Ennek lényege: nagyszámú finom szemcséből összeálló néhány tized mm nagyságú agglomerációkat kell képezni. A ragasztó folyadékkal elkevert finom porból pogácsákat sajtolnak, melyeket azután széttörnek és a szükséges szemcseméretet szitálással kapják meg. Az alkalmazott folyadék (polivinilalkohol, glicerin, glykol, cinksteárat, gépolaj, parafin, repülőbenzinben oldott kámfor a keményfémeknél) másik szerepe a por és szerszámfal közötti súrlódás csökkentése.

2.2.3.2. Porkeverék adagolása a szerszámba

A munkadarab sajtolásához szükséges pormennyiség tömeg- vagy térfogat adagolással kerül a szerszámba.

A *térfogat szerinti adagolás* (2.23. ábra) állandó töltősűrűségű fémporok használatát követeli meg, és pontatlanabb, mint a *tömeg szerinti adagolás*. A térfogat szerinti adagolás előnye egyszerűsége és könnyű automatizálhatósága.



2.23. ábra

Térfogat szerinti poradagolás a) töltés, b) sajtolás; c) újbóli töltés

A térfogat szerinti automatikus adagolás elvi elrendezését a 2.23. ábra mutatja be. Az ábra a) részén a töltősaru bal fele végigcsúszik a matricán és a szerszámméret üreg fölött addig vár, míg az megtelik porral, ezután visszacsúszik kiinduló helyére. Az ábra b) részén az alsó és a felső bélyeg a betöltött port összesajtolja, ezt követően a felső bélyeg eltávozik, miközben az alsó bélyeg a sajtoló darabot kitolja. Az ábra c) részén a töltősaru eltolja maga előtt a sajtoló darabot, miután a töltés művelete megismétlődik.

Az ilyen automatikus eljárás, bár termelékenysége nagy, nem mindig tudja biztosítani a sajtoló darabok egyenletes tömörségét. A por töltősűrűségének, szemcse-eloszlásának változása óhatatlanul az előírástól eltérő tömörségű, méretű készterméket ad.

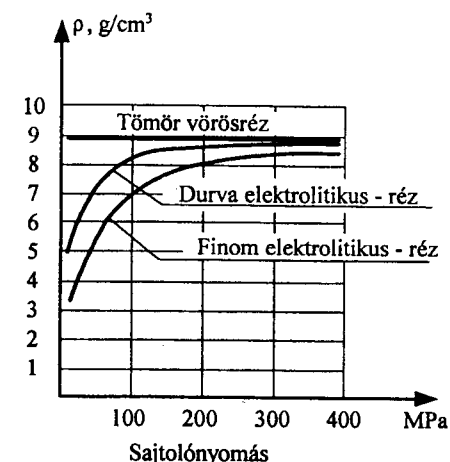
A tömeg szerinti adagolás hosszabb ideig tart és csak olyan alkatrészek gyártásánál használják, ahol szigorúak a tömörség- és méret tűrések.

2.2.3.3. Sajtolás

A sajtolás folyamatában számmunkra legfontosabb a por tömörsége. A sajtolónyomás és a sajtoló munkadarab tömörsége között az összefüggés nem lineáris (2.24. ábra). A sajtolás kezdő szakaszában a kedvező helyzetben elhelyezkedő szemcsék a súrlódás legyőzésével az alattuk levő pórusokba tudnak nyomulni. E kezdő szakaszban a sajtolóerő által végzett munka főleg a szemcsék egymás közötti, illetve a szemcsék és a szerszám fala közötti súrlódás legyőzésére szükséges. Ezt követően a nyomás növekedésével elsősorban azok a hidak, boltozatos üregek roppannak össze, amelyek a fémpor szerszámba töltéskor torlódás következtében keletkeznek. A

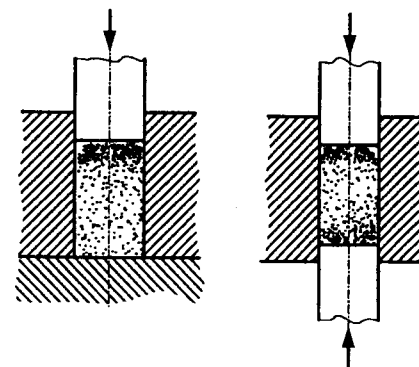
növekvő nyomás hatására a szemcsék maradó alakváltozást szenvednek, érintkező felületeik megnövekednek. A helyi elcsúszások dörzsölő hatása a felületre tapadó oxidot, abszorbeált gázokat lesodorja és fémes érintkezés a nagy fajlagos nyomással párosulva hideghegedést hoz létre. Egyidejűleg a kisebb szemcsék maradó alakváltozással benyomódnak az üregekbe, a szakadozott szélű szemcsék-nél fogaskerékszerű kapcsolódás, nemelődés jön létre. Igen nagy sajtolónyomásnál fokozódik a szemcsék alakváltozása és az ebből eredő felkeményedés.

A sajtolómunka egy részét a matricafalon fellépő súrlódás legyőzése emésztí fel, és ez a munka a por tömörítése szempontjából elvész. Ebből következik, hogy a tömörség inhomogenitása következtében a késztermék zsugorodása és szilárdsága nem egyöntetű, ami selejtképződéshez vezethet. A sűrűségi inhomogenitás csökkentése



2.24. ábra

A sajtoló darab tömörsége a sajtolónyomás függvényében



2.25. ábra

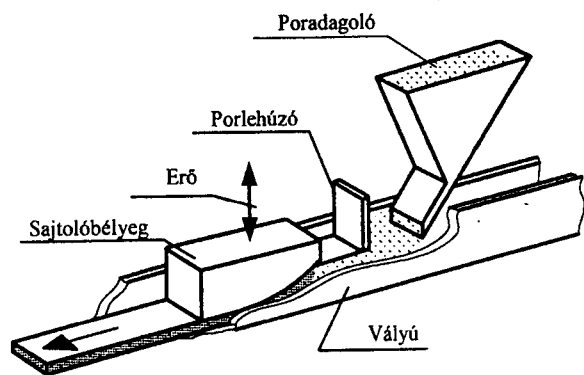
Egy- és kétirányú sajtolás

kenhető a matrica falának tükrösítésével, kenőanyag adagolással, illetve kétirányú sajtolással.

Az 1-2%-nyi kenőanyag adagolása (sztearinsav, grafit, cinksztearát) a porhoz, nagyobb sűrűséget biztosít változatlan sajtoló erőnél, mint kenőanyag nélküli pornál. Az adalék hatására csökken a porzemcsék közötti súrlódás is.

Az egy- és kétirányú sajtolás elvét a 2.25. ábra tünteti fel. Az egyirányú sajtolás hátránya a darabon belüli tömörség jelentős különbsége. A tömörség legnagyobb a felső véglap kerületén, legkisebb az alsó véglap kerületén. Egyirányú sajtolás egyszerű alakú munkadaraboknál alkalmazható, ahol a magasság átmérő viszony 2-nél nem nagyobb. A 2.26. ábrán a kétirányból, lágyvasporból sajtolt hengeres munkadarab homloklapja és metszete látható. A sűrűség-eltéréseket a bejelölt HV keménység értékek tükrözik. A legnagyobb sűrűség a véglapok kerületén, a legkisebb a darab közepén található.

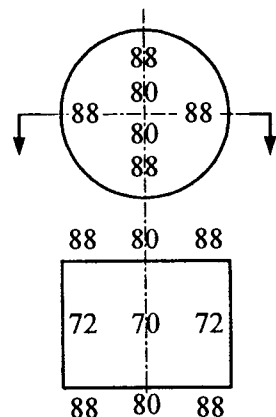
A sajtolás – akár egy-, vagy kétirányú – kétféleképpen végezhető: *előírt nyomással*, illetve *előírt magassággal*.



2.27. ábra
Rúdsajtolás lépegető eljárással

Az utóbbi módszernél, pl. forgattyús sajtón végzett sajtoláskor, a sajtolási magasság állandó. Az így készült darabok tömörsége az előző okok miatt szóródást mutat.

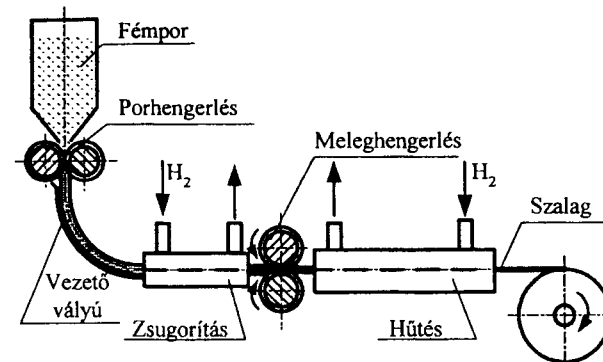
A **folyamatos lépegető** eljárásnál (2.27. ábra) a vályúba elterített ragasztó-plasztifikáló anyaggal kevert port a ferde sajtolóbélyeg tömöríti, közben a vályú egy-egy osztással balra halad. A folyamatosan sajtolt rúd közvetlenül a zsugorító kemencébe kerül, majd onnan kijöve még izzó állapotban hengerlik.



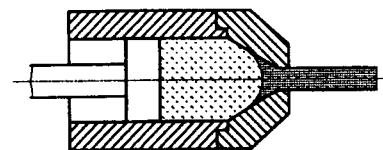
2.26. ábra
Hengeres sajtolt darab
HV keménység értékei

Az első módszerrel a sajtolóerő elérésakor néhány másodpercet kivárunk, majd a nyomás megszüntetésével a munkadarabot a szerszámból kitaljuk. Az így készült darabok azonos tömörségűek, de magassági méretükben szóródás mutatkozik. A szóródás mértéke függ a poradag bemérés pontosságától, a porok egyenletes minőségétől.

Porhengerléses eljárásnál (2.28. ábra) a ragasztóanyagossal fémport folyamatosan ömlik a hengerpár közé, mely max. 600 MPa nyomással folyamatosan szalaggá préseli, mintegy 2 m/perc sebességgel. A még törékeny szalagot nagy ívben vezetik a védőgázos zsugorító kemencébe, majd hengerlés után lehűtve felcsévélik. Az anyag további tömörítése hideg hengerléssel érhető el. Válaszfal, vagy kettős tölcser alkalmazásával bimetál szalag gyártható.



2.28. ábra
Folyamatos porsajtolás hengerléssel



2.29. ábra
Rúdsajtoló eljárás elve

Rúdsajtoló eljárásal (2.29. ábra) vékony és hosszú profilos rudak, csövek állíthatók elő. A port előzetesen cellulózzal 10 %-os vizes oldatával jól átgyúrák, hogy folyamatosan alakítható legyen. A massa a szerszám nyomókúpján át-sajtolva tömörödik. A plasztifikáló anyag zsugorításkor kiég. A rúdsajtoló eljárás előnye az egyenletes tömörség és a teljes gyártási hosszúság lehetősége.

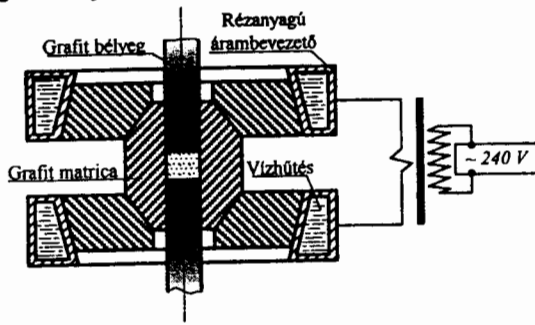
2.2.4. Melegsajtolás

A melegsajtolást a zsugorítás hőmérsékletén végzik, így a sajtolással egyidőben a zsugorítás is végbemegy.

Mint láttuk, a sajtolónyomás jelentős része a szemcsék deformálásához szükséges, így, mivel nagy hőmérsékleten a fémek folyási határa lecsökken, azonos sűrűség eléréséhez kisebb sajtolóerő szükséges. A fajlagos melegsajtoló-nyomás 30-50 MPa közé esik, tehát nagyságrenddel kisebb a hidegsajtolás értékénél. Melegsajtolással nagyobb tömörség érhető el, így pl. a melegen sajtolt keménység csaknem pórusmentes, ezáltal tükrőfényesre polírozható. A termék szilárdsági tulajdonságai is jobbak, mint ugyanez a por hidegsajtolással és zsugorítással készíthető.

Melegsajtolásnál a kisebb zsugorítási hőmérséklet ellenére a zsugorítási idő jelentősen csökken. A sajtoló szerszámot és bélyeget grafit elektródából esztergálják és az előbbi átfolyó árammal izzítják (2.30. ábra). Vízűtéssel akadályozzuk meg az áramvezetők túlhevülését. Az áramvezetést szolgáló érintkező gyűrűk anyaga azonos a szerszám anyagával. Minthogy grafit grafiton csúszik, berá-

gódás még nagy hőmérsékleten sem lehetséges. Melegsajtóláshoz rendszerint hidegen elősajtoló darabot és nem port adagolunk, a felhevített szerszámba.



2.30. ábra
Melegsajtoló szerszám metszete

Védőgázra nincsen szükség, mert a szerszámba szorult levegő oxigénje az elektróda karbonjával $CO+CO_2$ gázzá alakul, mely védelmet biztosít.

A melegsajtólást főleg nagyméretű egyedi darabok előállításánál alkalmazzák, pl. csőredukálásra alkalmas keményfém húzóüreg.

2.2.5. Zsugorítás

A még kis szilárdságú sajtolt munkadarabok a zsugorító hőkezelés hatására nyerik el végleges szilárdságukat és tömörségüket. A folyamat alatt a munkadarab méretei csökkennek, zsugorodnak. A többalkotós porok zsugorításának két változata van: folyékony fázis nem képződik, folyékony fázis képződik. Ez utóbbi esetben a felhevítés hőmérsékletén az egyik poralkotó megömlik, amely azonban csak olyan mértékű lehet, hogy a munkadarab sajtolás által kialakult alakja ne változzon meg. A zsugorítás hőmérséklete egyalkotós poroknál a fém, többalkotós poroknál a főalkotót képző fém olvadáspontjának 2/3-4/5 része közé esik, míg ideje óra nagyságrendű. A zsugorítást védőgáz atmoszférában végzik.

Zsugorításkor az alábbi jelenségek észlelhetők: nő a szemcsék érintkező felülete, csökken a porozitás, a sajtoláskor keletkezett maradé feszültségek feloldódnak, megváltoznak a szilárdsági tulajdonságok.

A zsugorítás meglehetősen bonyolult eseménysorozat, melynek során diffúziós jelenséggel anyagvándorlási, hegedési folyamatok mennek végbe. A zsugorítás során a részecskék térfogati alakváltozása öndiffúzió útján a felületi feszültség hatására valósul meg. A szemcsék felületére tapadó oxid az összehegedést gátolja, így a redukáló védőgáz alkalmazása összefüggő fémes anyag kialakulását segíti elő, ezáltal a szilárdság jelentősen megnő.

A zsugorítás idejének befolyását a szakítószilárdságra és a nyúlásra a 2.31. ábra tünteti fel. A nyúlás lassúbb növekedést mutat az idővel, amelynek oka a pórusokba rekedt gázok lassú eltávozása.

A védőgáz kihat a porkohászati termék szilárdsági jellemzőire. A védőgáznak fontos szerepe van a porszemcsék felületén tapadó oxidok eltüntetésében (redukálás), illetve a szemcsék oxidációjának megakadályozásában. Redukáló atmoszférában végzett zsugorításkor nagyobb tömörség, szilárdság érhető el, mint semleges atmoszférában.

Nemesfém porok (*Au, Ag, Pt*) és fénoxid porok védőgáz nélkül levegőn zsugoríthatók.

Ha oxidáció ellen kell védeni a fémport (*Fe, Cu, Ni*), akkor redukáló hatású védőgázt alkalmazunk, erre igen alkalmas a krakkolt ammónia ($75\%H_2+25\%N_2$). Általánosan használják a propánból vagy földgázból előállítható

$CO-CO_2-H_2-N_2$ redukáló gázkeveréket. A tiszta hidrogén alkalmas védőgáznak, hibája robbanás-veszélyessége.

A kémiaailag igen aktív fémportok (*Ti, Ta, Nb, Zr*) zsugorítása nagy vákuumban végezhető. Ez esetben a zsugorítás kisebb hőmérsékleten kezdődik, a darabok jobban zsugorodnak és a szilárdsági tulajdonságok is kedvezőbbek, mint védőgáz esetében.

2.2.6. Porkohászati termékek

A nagyszámú, sokfajta porkohászati termék szinte valamennyi iparágban felhasználásra kerül. Néhány kiválasztott tipikus termék gyártása, valamint jellemző tulajdonságaik ismertetése az alábbi fejezetekben található.

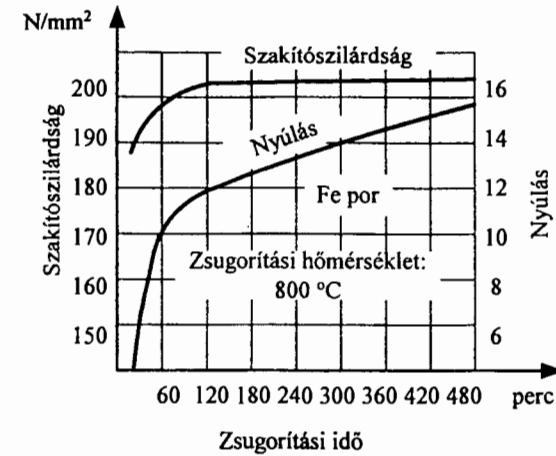
- Porózus gyártmányok.
- Gépalkatrészek.
- Keményfémek.
- Villamosipari anyagok.

2.2.6.1. Porózus gyártmányok

A megadott porozitású fém gyártásának lehetősége tette lehetővé a porózus csapágyak, más néven *önkenő csapágyak*, valamint a fémszűrők tömeggyártását.

Kisterhelésű siklócsapágyának alkalmas a vas-grafit alapú porózus anyag. A pórusokba itatott olaj *önkenést* végez, azaz ott, ahol a csapsúrlódás okozta helyi felmelegedés hígítja és hőtágítja az olajat, az kiszivárog és automatikusan keni a felületet, míg lehűlés után az olaj visszahúzódik a pórusokba. Az önkenő csapágyaknak számos előnye van a hagyományos siklócsapágyakkal szemben, nevezetesen:

- Nincs száraz indítás, mert mindig olajos a csapágy felülete. Előnyösen használható gyakori indításoknál.
- Az olajozás automatikus a legkisebb olajfogyasztással.

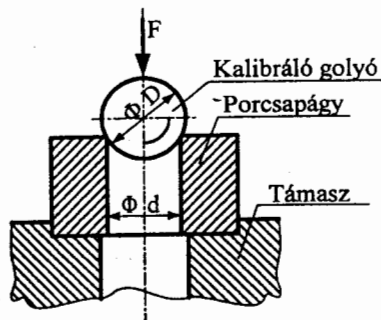


2.31. ábra
A zsugorítás idejének befolyása a szakítószilárdság és nyúlás nagyságára

- Az olaj nem szóródik; textil- és élelmiszeripari gépeknél ez fontos szempont.
- Sokszor a felitatott olaj mennyisége elegendő a csapágy teljes élettartamára, pl. amatőr filmfelvevőgép csapágycsapágyai.
- Rendkívül olcsó, mert gyártásuk kis anyagvesztéssel, forgácsolás nélkül történik. Az import bronz sok esetben helyettesíthető porózus vassal. Az önkéntes feladva, a porózus csapágyfémeket juttatva kiváló siklási tulajdonság mellett jelentős anyagmegtakarítás érhető el.
- A siklási tulajdonságok javíthatók a vasporhoz adagolt grafittal, ólommal.

A porózus csapágyak hátrányai közé sorolhatók: nem alkalmazható nagy csapágyterhelésnél, dinamikus igénybevételnél, valamint nagy siklósebességeknél. Kis szilárdsága miatt beszereléskor megsérülhet.

A porózus csapágy *Hametag*, *DPG* vagy *RZ* durvaszemcsés porból készül, előzetesen redukáló atmoszférában izzítva, hogy a sajtolást megkönnyítsék. A sűrűdést csökkentő adalékok: elsősorban grafit vagy gépolaj, sztearinsav, a fajlagos sajtolónyomást jelentősen csökkentik. A sajtolónyomás megválasztásához irányadó az olajtároláshoz szükséges 25-30% porozitás, valamint a lehető legnagyobb szilárdság biztosítása. Az adagolt grafit nem csak kenőanyag, hanem ötvöző is, mivel izzításkor a vas a grafit



2.32. ábra
Porccsapágy kalibrálása

részleges oldásával ötvöződik, így szilárdsága nő. A fajlagos sajtolónyomás $p=200-400\text{ MPa}$ közé esik, természetesen a kisebb értéknél nagyobb porozitás várható, a zsugorítás hőmérséklete $1050-1250^\circ\text{C}$, ideje 0,5-3 óra. A védőgáz hidrogén vagy krakkolt ammónia. A készre zsugorított hengeres csapágyak előírt méretét kalibrálással adják meg (2.32. ábra). A csapágy „ d ” belső átmérője megadható. A kalibrálás ellenére elmaradhatatlan a pontos méretre zsugorítás, mert nagyobb átmérőkülönbségeknél a jelentős alakváltozás a pórusokat bezárja, így az önkéntes elmarad. Nagyobb anyagfelesleg eltávolítása esztetgálással lehetséges.

A csapágypersely hossza legfeljebb $1,5d$ lehet, a falvastagság $0,2d$; minimum 5 mm lehet.

Olajításhoz nem gyantásodó gépolaj alkalmas, amelyben $90-100^\circ\text{C}$ -on 2 óráig főzik a csapágy-perselyeket. Vákuum létesítésével a persely olajfelvétele 25%-kal növekedik.

2.2.6.2. Fémszűrők

A fémszűrők nagy előnye, a megfelelő szilárdság mellett, a könnyű szerelhetőség és az ellenőblítéssel való regenerálhatóság, sőt izzítással az organikus maradványok is eltávolíthatók. A fémszűrők anyaga lehet bronz, nikkell, 18/8-as rozsdá-

mentes acél, sárgaréz. Ideális szemcse alak a gömb, mert ez biztosítja a maximális fajlagos pórustérfogatot. A szemcsék méretével arányos a pórusméret, finomabb poroknál nő a szűrőhatás, de romlik az átteresztő képesség. Ez utóbbi okból 3 mm -nél vastagabb szűrőt nem alkalmaznak, túl vékony szűrő pedig a szűréshez szükséges nyomást szilárdságilag nem bírja. Nagy termékiszilárdsághoz nagy sajtolónyomás szükséges, ez azonban csökkenti a porozitást, azaz a szűrőhatást. Hasonló szerepe van a zsugorítási hőmérséklet és idő nagyságának, amelyek a porozitás csökkenése árán eredményezik a szűrő megkívánt mechanikai szilárdságát. Mindkét igény kielégíthető olyan adalékok felhasználásával, melyek a pórus bezáródását megakadályozzák. Mosószóda, illetve ammóniumkarbonát pora zsugorítás után kimosható, illetve a zsugorítás folyamán nyom nélkül elillan.

A vasporhoz adagolt rézklorid a zsugorítás hőmérsékletén bomlik, a keletkezett gázfázis a pórusok nyitvatartását végzi, míg a réz diffúzióval ötvözi a vaszemszecséket, megnöveli azok szilárdságát és korrózióállását. A szűrőanyagok porozitása 30-60% közé esik. A porozitás növelhető a sajtolás elhagyásával. A formába rázással tömörített por közvetlenül zsugorításra kerül. Az így kapott pórustérfogat 70%-ot érhet el.

Ólomot helyettesítő tömítőanyag a „szinterit”, amelyet durva vasporból 15% porozitással készítenek, majd korrózióvédelmet nyújtó bitumennel átitatnak. A szinterit sűrűsége $3,8\text{ g/cm}^3$.

Dugattyú gyűrűk, szivattyú fogaskerekek 10-20% porozitással, 1% grafit és 1,5% Cu tartalmú elektrolit-, vagy redukált vasporból készülnek. Zsugorítás után a darabokat kalibrálják, majd olajjal átitatják. A grafit adalék a csúszási tulajdonságokat javítja, míg a réz a szilárdságot növeli.

2.2.6.3. Sűrűdő anyagok

A korszerű járműépítés fokozott követelményeket támaszt a fékbetétek, tengelykapcsolók sűrűdő betéteinek anyagaival szemben, nevezetesen

- nagy sűrűdési tényező, amely a hőmérséklettel mérsékeltlen változhat;
- kis kopás, hosszú élettartam;
- jó hővezető képesség, hőállóság;
- folyamatos, rángatásmentes, sima fékezés;
- nagy korrózió-állás.

Ilyen tulajdonságokkal egyidejűleg egyetlen hagyományos szerkezeti anyag sem rendelkezik, erre egyedül csak a porkohászati eljárással készült ún. *álövözetek* képesek.

Álövözeteknek nevezzük az olyan porkohászati termékeket, amelyekben az alkotók tulajdonságai megmaradnak, így az alkotók megválasztásával tetszőleges tulajdonságok egyesíthetők. Esetünkben a sűrűdő anyag fémes alapanyag Cu-Zn-Sn por (vörösvözet), amely biztosítja a szilárdságot, jó hővezető képességet, korrózióállóságot. Ehhez adagolják a sűrűdést növelő anyagot, amely kvarc és vaspor. A sima fékezést biztosító, összehegedést gátló adalék az ólom és a grafit. A kopásállást a vas növeli.

A gondosan összekevert port acéllemezre sajtolják, ezután védőatmoszférában $750-850^\circ\text{C}$ -on 2-3 óráig zsugorítják. Ez az eljárás nagyobb kötőszilárdságot biz-

tosít, mint a külön sajtolt-zsugorított sűrűlő anyag, amelyet forrasztással erősítenek az acéllemeze.

2.2.6.4. Keményfémek

A keményfém forgácsolási tulajdonságai lényegesen jobbák, mint az öntött keményfémé (stellit), vagy a gyorsacél. Az öntött stellit Cr és W karbidjainak egy része grafitkiválás mellett bomlik, miközben gázporozítás adódik, emiatt a hajlítószilárdság és szívósság jelentősen csökken.

Az edzett gyorsacél $600^{\circ}C$ felett kilágyul. A zsugorított keményfém $K. Schröter$ 1922-ben bejelentett szabadalma, amely $94\%WC+6\%Co$ összetételű állótvözet. A forgácsolásnál szükséges nagy keménységet a wolframkarbid biztosítja, amely a kopásállást $900^{\circ}C$ -ig megtartja, míg a kobalt a karbidszemcsék ágyazó anyagaként szerepel, biztosítva a minimálisan megkövetelt $1200 N/mm^2$ hajlító szilárdságot. A kobalt tartalom növekedésével a hajlítószilárdság nő, de a forgácsoló képesség csökken. A sajtolt állótvözet zsugorítási hőmérséklete ($1400-1550^{\circ}C$) alatta van a WC olvadáspontjának ($2600^{\circ}C$); így a WC nem bomlik, a grafitkiválás és gázképződés is elmarad.

A még ma is használatos eredeti $94\%WC+6\%Co$ összetételű keményfém forgácsoló teljesítménye öntöttvasnál kb. 8-10-szerese, homokáramlásban mért kopásállása 118-szorosa a gyorsacélénak. Keménysége $76 HRC$, amely érték $900^{\circ}C$ -on sem csökken $69 HRC$ alá. Hajlítószilárdsága $R_{mH}=1500 N/mm^2$. A karbidszemcsék finomodásával a keménység növekedik, de egyidejűleg a ridegség is nő. A rugalmassági modulusa $E=(620-630) GPa$, azaz háromszorosa az acélénak.

A keményfém forgácsoló szerszám a forgács alakjától függően eltérő igénybevételeket kap. Alapvetően kétféle forgácsalak ismeretes: rövid törekeny, illetve hosszú folyamatos.

Az öntöttvas forgácsa rideg, törekeny, tehát rövid, forgácsolás közben a késél kis felületét támadja, így a sűrűlő keltette hő viszonylag nem nagy. Az ilyen anyagok forgácsolására a nagy szívósságot jó kopásállással egyesítő keményfém alkalmas, hogy a kis felületre koncentrált forgácsigénybevétel miatt a késél ki ne töredezzon.

A folyó forgácsot adó acélénál más a helyzet. Itt a sűrűlő keltette hő jelentősen felhevíti a vágóél környezetét, ezért olyan keményfém anyag szükséges, melynek keménysége a nagyobb hőmérsékleten ($900^{\circ}C$) sem csökken számottevően. Ezért a folyamatos forgácsot adó acélfajták forgácsolására olyan keményfémeket dolgoztak ki, amelyek a WC mellett TiC -t is tartalmaznak. A TiC tartalmú keményfém oxidációval szembeni ellenállása nagy, a forgácsoláshoz hegedési hajlama kicsi. Ez utóbbi a kráteresedés előidézője, mivel a csak wolframkarbidot tartalmazó keményfémnél az izzó forgács összeheged a WC -dal, kiszakítva azt a felületről. A TiC azonban rontja a szívósságot, így ridegebbé, törekenyebbé teszi a keményfémeket. A különböző forgácsolási feladatokhoz különböző mennyiségű TiC van a WC mellett. A forgácsolási viszonyoktól függően a TiC mennyisége: 16, 14 illetve 5%.

Az edzhető keményfém (*Ferrotic*) kopásálló anyaga TiC , míg az alapfém edzhető, 0,5% C tartalmú szénacél. Az 50% TiC tartalmú sajtolt darab zsugorítása $890^{\circ}C$ hőmérsékleten, hidrogén védőgáz alatt 2 óráig történik, amelyet lassú lehűlés követ $700^{\circ}C$ -ig. Ilyen lágyított állapotban a keményfém $45 HRC$ keménységű,

így még forgácsolással megmunkálható. Az edzés $950^{\circ}C$ -ról vízben, vagy olajban történik, és $68-70 HRC$ keménység érhető el. Az edzett keményfém fő alkalmazási területét a bonyolult alakú kivágó szerszámok képezik.

A keményfém gyártásának főbb műveletei:

- A porkeveréket alkotó porok (WC , TiC , Co) készítése, tisztítása, szitálása, keverése.
- A benzinen oldott kámmal nyirkosított por elősajtolása, melyet a $750-950^{\circ}C$ -os hidrogén védőgáz előzsugorítás követ.
- Az előzsugorított termék méretre munkálása (fűrészelés, csiszolás) figyelembe véve azt, hogy a késztermék zsugorodása a sajtolásnál alkalmazott nyomástól függően 25-28% között lesz.
- A készre zsugorítást hidrogén védőgázban csökemencében végzik. A lapkákat grafitdarabba ágyazva, grafit csónakocskákban tolják át a porfajták szerint $1400-1600^{\circ}C$ -ra felfűtött kemencén. Az áttolás sebességét a lapkák vastagsága szabja meg.

A kerámia lapkák alapanyaga Al_2O_3 , amelyet $1400-1600^{\circ}C$ -on izzítva korundá alakítanak, majd nedvesen $1-2\mu m$ szemcseméretűre őrlik. A $100 MPa$ fajlagos nyomással sajtolt lapkákat oxidáló atmoszférában $1600-1800^{\circ}C$ -on, kevéssel az olvadáspont alatt 0,5-1 órán át zsugorítják.

A kerámia lapkák tulajdonságai a keményfémekhez viszonyítva az alábbiakban foglalhatók össze:

- Keményebbek és kopásállóbbak, mint a keményfémek és a keménységük a hőmérséklet növekedésével kevésbé csökken.
- Hajlítószilárdságuk $1000^{\circ}C$ felett nagyobb, mint a keményfémeké.
- Nyomószilárdságuk nagy hőmérsékleten nagyobb, mint a keményfémeké.
- Sűrűségük lényegesen kisebb, mint a keményfémeké.
- Hőtágulási együtthatójuk közel azonos a keményfémekével.
- A kerámia lapka az oxidációnak jobban ellenáll, mint bármilyen eddig ismert forgácsoló szerszámanyag.
- A keményfémnél lényegesen olcsóbb.

A kerámia lapkaanyag tulajdonságaiból kiindulva arra kell törekedni, hogy nagy hőmérsékleten és lehetőleg csak nyomásra legyen igénybe véve. A nagy keresztmetszetű késszárra a lapkát mechanikus felerősítéssel rögzítik. Kerámia anyagból készülnek kopásnak kitett vezetőgyűrűk, és a rézhuzal gyártáshoz nélkülözhetetlen húzókövek.

2.2.6.5. A villamosipar anyagai

Porkohászati eljárással a villamosipar számára olyan különleges tulajdonságú anyagokat és állótvözeteket lehet előállítani, amelyeket más ismert módszerekkel nehezen, vagy egyáltalán nem lehetne elkészíteni.

Nagy hőmérsékletű kemencék fűtőelemeként elsősorban molibdént használnak. A Mo $1800^{\circ}C$ -ig kielégítő szilárdságú és megfelelő vezetőképességű, továbbá az egységnyi felületre megengedhető terhelés rendkívül nagy. Összehasonlításképpen: amíg a $80\%Ni+20\%Cr$ huzal terhelhetősége $5 W/cm^2$, addig a Mo huzalé $80 W/cm^2$. A Mo huzal hátránya, hogy könnyen oxidálódik, így csak vákuumban,

vagy védőgázban használható. A molibdéntrioxidból hidrogénnel redukált fémport rúddá sajtolják, majd zsugorítás után melegen alakítják. A további alakítás, pl. dróthúzás is melegen történik. Azonos technológiával készül az izzólámpák gyártásához szükséges wolfram szál.

Villamos érintkező anyagok

Az érintkező anyagokkal szemben támasztott legfontosabb követelmények a következők:

- kis villamos ellenállás, mely működés közben sem növekedhet számottevően;
- kis hegedési hajlam;
- nagy ellenállás villamos erózióval szemben;
- nagy ellenállás oxidációval szemben;
- jó hővezető képesség;
- jó kopásállást biztosító keménység, szilárdság;
- nagy olvadási hőmérséklet.

A porkohászati átvivőzetek – ahol az alkotók megtartják eredeti tulajdonságaikat – képesek az előző követelmények egyidejű kielégítésére.

A wolfram érintkezőkben a W keménysége, erózió-ellenállása párosul a réz jó villamos vezetőképességével jó melegvezető képességével. Általában minél nagyobb a megszakítandó feszültség, annál nagyobb a W tartalom, amely 60-80% is lehet. Ebből az anyagból készülnek a nagyfeszültségű teljesítménykapcsolók, továbbá az ellenálláshegesztés elektródái.

Kisebbszámú megszakítására és rendkívül nagy élettartamra ($10 \cdot 10^6$ megszakítás) alkalmas anyag a WAg átvivőzet.

Igen nagy üzembiztonság jellemző az ezüst-kadmiumoxid, illetve az ezüst-grafit érintkező anyagokra. A CdO növeli az érintkező keménységét, csökkenti a hegedési hajlamot, ezen felül ivoltó hatása van, mivel $900^\circ C$ felett szublimál és helyileg keletkező nyomás (gáz) az ívet elfújja. Alkalmazási területe az üzembiztos motorkapcsolók, vezérlések nagy kapcsolási száma (pl. lift kapcsoló). A grafit-adalék a hegedési hajlamot nagymértékben csökkenti és kenőhatása folytán a kopás is kisebb. Ennek megfelelően kis feszültség és áramerősség esetében használják, amikor nagy üzembiztonság szükséges.

Legrégebben gyártott porkohászati termék a villamos forgógépek kefeanyaga. A grafit-réz átvivőzetben a réz jó hővezető és áramvezető képessége párosul a grafit kopást csökkentő hatásával. Az ólom adalék grafithez hasonlóan javítja a sikló tulajdonságokat, a kopást csökkentve. Az ón, cink adalék növeli a keménységet, elősegíti a zsugorodást. Növekvő áramerősséggel terhelt kefeanyaghoz nagyobb mennyiségű rézport (30-85%) és csökkentő mennyiségű grafitot (15-70%) adagolnak. Az ólom, ón és horgany mennyisége 10-10% lehet.

A felhasznált elektrolitikus rézpor igen finom szemcsézetű (legfeljebb 15% maradhat fenn a $0,44 \text{ mm}$ lyukbőségű szitán), töltősűrűsége legfeljebb 1 g/cm^3 , mely a fajsúlykülönbség ellenére jól keverhető a grafit porral. A porkeveréket mechanikus présautomatán max. 600 MPa fajlagos nyomással, közvetlenül kész méretre sajtolják. A zsugorítás az összetételtől függően $780-900^\circ C$ közötti hőmér-

séketlen $CO+N_2$ védőgázban történik. Zsugorítást követően a keféket utánsajtolják, ezzel a méretpontosság és a tömörség nő.

A *kermetek* kerámia porok és fémporok keverékének sajtolásával és zsugorításával készülnek. A kerámia por lehet alumíniumoxid, magnéziumoxid, titánoxid, thóriumoxid, molibdénoxid, titánkarbid, molibdénszilicid. Fémek kötőanyag lehet vas, nikkel, króm, wolfram, molibdén és számos vasötvözet, pl. $Cr-Fe-Co-Ni$; $Ni-Al-Fe-Si$. A kermetek alapvető tulajdonságai az összetételtől, a szemcse eloszlástól és a nagyságtól függenek.

A kermetek nagy hőszilárdságú, kis sűrűségű anyagok. Felhasználják a rakéta-technika különböző területein, turbina lapátnak, elektrotechnikai célokra.

2.3. MŰANYAGFELDOLGOZÁSI TECHNOLÓGIÁK

Az első iparilag feldolgozott természetes eredetű műanyagot, a gumit 1839-ben szabadalmaztatták. Az első szintetikus műanyagot a fenol-formaldehid műgyantát, a bakelit 1909-ben találták fel. Az 1920-as években óriási fejlődés indult az új szintetikus műanyagok előállítására és feldolgozása területén és ez napjainkban is tart.

A világ műanyagtermelése 1833-ban $110 \cdot 10^3 \text{ t}$, 1974-ben $46 \cdot 10^6 \text{ t}$ volt. Ma már az élet szinte minden területén használatosak a műanyagok (villanykapcsoló, gépkocsi belső borítás, ajtó-ablakkeret, vízvezeték csövek, cipők, műszálas ruhane-műk, huzal-kábel szigetelés, stb.)

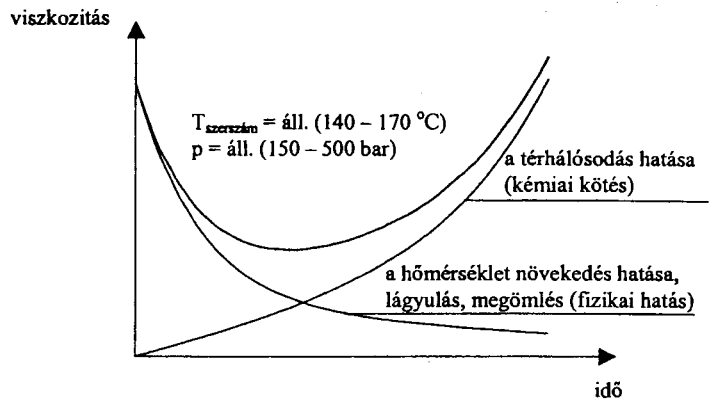
A műanyag-felhasználás előnyei:

- kicsi sűrűség (könnyű alkatrészek),
- jó villamos szigetelés,
- rendkívül nagy alakadási szabadság,
- tömeggyártásban olcsó feldolgozhatóság,
- tetszetőség,
- rendkívül nagy választék.

Ebben a tárgyban azzal foglalkozunk, hogy a nagy vegyi gyárakban előállított, ömlesztve illetve tekercsben szállított műanyagokból hogyan lehet alkatrészeket, szerkezeti elemeket gyártani. A műanyagok megjelenésekor a technológusok a már ismert – fémek alakadására kidolgozott – eljárásokat kezdték alkalmazni a műanyagok alakadására. Ma is a korábbi ismert eljárások vannak túlsúlyban.

A műanyagok alakadásának módja jelentősen eltér aszerint, hogy az adott műanyag hőhatással szemben hogyan viselkedik, azaz hőre keményedő, vagy hőre lágyuló.

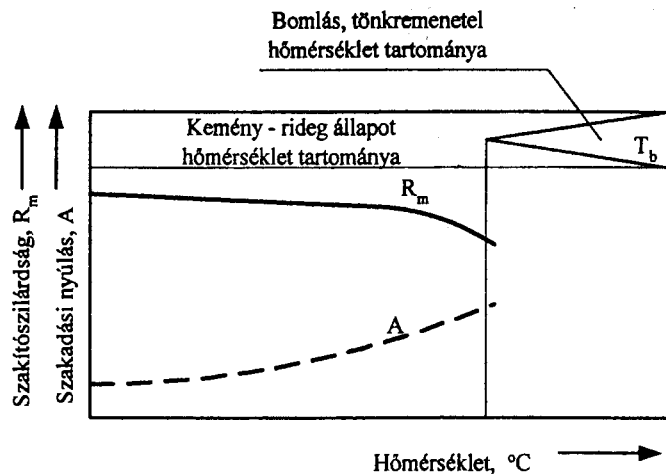
A *hőre keményedő műanyag* alkatrészek alapanyagai a sajtolóanyagok (présporok) hő és nyomás együttes hatására előbb megömlenek, majd az ömledékben kémiai reakció indul meg, melynek hatására térhálós szerkezet alakul ki. Az így térhálósított anyag kemény, oldhatatlan, hő hatására nem lágyul meg, nem olvad meg, legfeljebb elbomlik.



2.33. ábra

Hőre keményedő műanyag folyási-keményedési karakterisztikája

A hőre keményedő műanyagokra jellemző a 2.33. ábrán vázolt „folyási-keményedési karakterisztika, amely az ott feltüntetett fizikai és kémiai hatás eredője. Ez a folyamat megfordíthatatlan. A már térhálósodott műanyag a hőmérséklet növelésének hatására nem lágyul, hanem egy kritikus hőmérsékleten bomlani kezd, tönkre megy. (2.34. ábra)

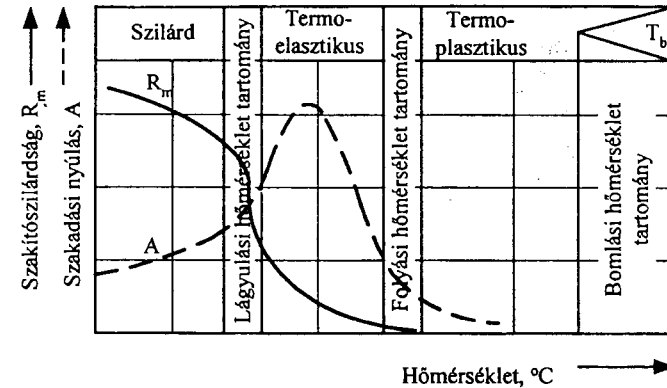


2.34. ábra

Hőre keményedő műanyagok állapotdiagramja

A hőre lágyuló műanyagok szakító szilárdsága és nyúlása a 2.35. ábra szerint változik a hőmérséklet függvényében. Ezek szakító szilárdsága a hőmérséklet növelésével csökken, magasabb hőmérsékleten képlékenyen alakíthatók, meg is ol-

vaszthatók, tehát önthetők. Az alakítás, vagy az öntés után lehűtve, szilárdságuk az eredeti értékre nő. Ez fizikai folyamat, ami ismételhető.



2.35. ábra

Amorf termoplasztok állapotdiagramja

Minden ilyen műanyagnak van egy bomlási hőmérséklete, amit a feldolgozás során nem szabad túllépni.

A hőre lágyuló fröccsöntött műanyag alkatrészek alapanyagát a vegyi gyárak granulátum formájában szállítják. Az alkatrészgyártó üzem hulladékát (a beöntő csatornákból kikerülő darabok) és selejt darbjait megdarálva a granulátumhoz keverik. Az elhasznált berendezések (gépkocsik, hűtőgépek, stb.) összegyűjtése, szétszerelése során különválogatott hőre lágyuló műanyag alkatrészek újra hasznosíthatók.

2.3.1. Hőre keményedő műanyagok sajtolása

A sajtolás a hőre keményedő műanyagok legrégebbi feldolgozási módja (2.36. ábra). A tárgy alakjának megfelelő mennyiségű sajtolóport a felmelegített sajtolószerszámba adagolják. A szerszám zárt üregében a sajtolópor a nyomás és hő hatására a zárt formaüreget kitöltve, bizonyos érlelési idő után végállapotú anyaggá kondenzálódva megkeményedik, térhálósodik.

A sajtolóport hidegen, vagy melegen töltik a szerszámba, természetes ömlesztett laza állapotban, vagy tablettázva.

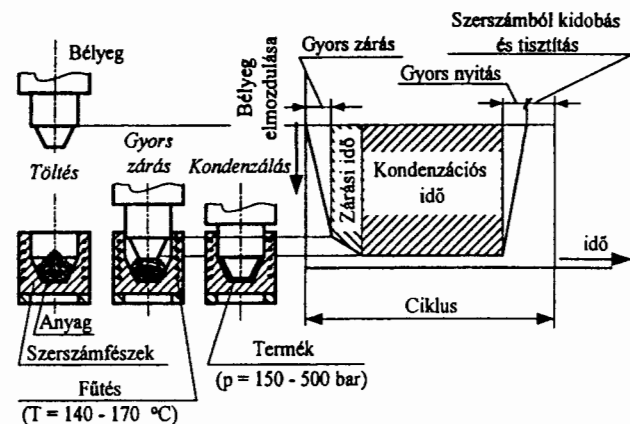
A sajtolóport sok esetben nem önmagukban, hanem egyéb anyagokkal keverve alkalmazzák. Az ilyen heterogén szerkezetű műanyagokat társított műanyagoknak nevezzük.

A műanyagok társításához felhasznált anyagok jellegükben három félék:

- a vázanyagok a műanyag szilárdsági tulajdonságát javítják,
- az adalék anyagok, melyek a műanyag valamely tulajdonságát szabályozzák (villamos tulajdonságok, zsugorodás, szín, stb.),
- a töltőanyagok, melyek a drágább műanyag egy részének megtakarítását célozzák.

2.3.2. Hőre lágyuló műanyagok fröccsöntése

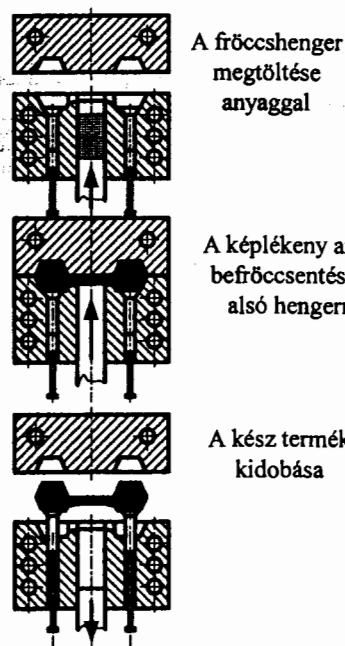
Fröccsöntéssel hőre lágyuló műanyagokból állítanak elő tárgyakat. A felmelegített termoplastikus állapotú, tehát megolvastott műanyagot nagy nyomással a hideg szerszám zárt formaterébe lövellik és kényszerítik a formaüreg kitöltésére. A formaüregben levő levegőt a beömlő anyag a szerszám osztásíkjában levő illesztési résep át kitolja. A hideg szerszámban a lehülés folyamán megkeményedett munkadarabot a kinyitott szerszámból kitolják.



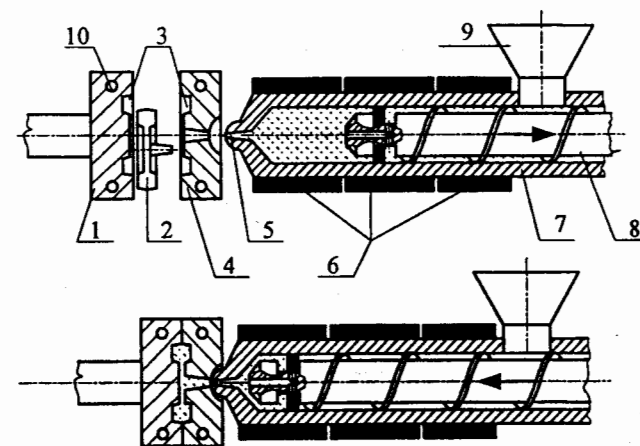
2.36. ábra
Sajtolási ciklus vázlat

A szerszámok melegen tartására fűtőspirálok szolgálnak. A kondenzáció mellékterméke sav, mely a szerszámot elerná, ha azok nem készülnek saválló Cr acélból, vagy a felület nem lenne krómozva. A munkadarab alak és méretpontossága függ a kétrészes szerszám pontos vezetésétől. A kész termék minőségét befolyásoló domináns tényezők: sajtolónyomás, hőmérséklet, idő. A sajtolószerszámok hőmérséklete a feldolgozandó anyag fajtájától függően 140-170°C, a nyomás 15-60 MPa, az érlelési idő pedig a munkadarab falvastagságától függően 30-60 s/mm.

A tablettázott sajtoló por előmelegítését nagyfrekvenciás árammal végzik. A váltakozó erőterben a por belsőjében keletkező dielektromos veszteség meleggé alakul és így a legjobb hatásfokkal melegszik. Az érlelési időt jelentősen csökkenti és ezzel a termelékenységet növeli a nagyfrekvenciás előmelegítés. Az így készült darabok szilárdsága nagyobb, villamos tulajdonságai jobb, vízfelvevő képessége kisebb.



2.37. ábra
Hőre keményedő műanyag fröccsajtolása



2.38. ábra

A fröccsöntés folyamata

- a) plasztikálás forgó csigával, a termék kidobása; b) szerszámzáras, fröccsegység-rájáratás a szerszámba, fröccsöntés; 1 mozgó szerszámfél; 2 fröccsöntött termék; 3 alakadó üreg; 4 álló szerszámfél; 5 fűvóka; 6 fűtés; 7 plasztifikáló henger; 8 csiga; 9 granulátumtölcsér; 10 a temperáló folyadék furatai

A mai fröccsöntőgépek csigas plasztifikáló egységgel rendelkeznek. A plasztifikáló egység hengerén 3-5 db ellenállásfűtés van. Ezek alatt termoelem érzékeli a henger hőmérsékletét és az automatika előre beállított értéken tartja ezt. A beállított hőmérséklet az adagolótolcsérből távolodva egyre nagyobb. A granulátum formájú alapanyag az adagolótolcsérből a csigára folyik, a forgó csigát engedik hátra mozogni, így a plasztifikált anyag a csiga elé kerül. A 4 jelű szerszámfél a gép állványához van rögzítve, így áll. Az 1 jelű szerszámfelet hidraulikus munkahenger nyitja-zárja. A plasztifikáló egységet egy másik hidraulikus munkahenger mozgatja.

Alapállásban a szerszám nyitott és a plasztifikáló egység is el van távolítva az álló szerszámtól. Ezt követően zár a szerszám, előre jön a plasztifikáló egység, hozzá zár az álló szerszámhoz, majd a csigát egy harmadik hidraulikus henger előre tolja, zár a csiga végén lévő visszacsapószelep, és megtörténik a befröccsöntés (belövés). Ez a henger egy ideig nyomva tartja a csigát egyrészt azért, hogy a szerszámüregben lévő levegőt a szerszámból az osztáson távozhasson, másrészt azért,

hogy a munkadarab lehülés közbeni zsugorodását a nyomás okozta térfogatcsökkenéssel kompenzálják.

A szerszámfeleken hűtőfolyadékot vezetnek át, a szerszámot ezzel tartják állandó hőmérsékleten (temperálják), így a szerszámba kerülő műanyag hamar lehül, szilárdsága megnő.

A hűlési idő letelte után a plasztifikáló egység hátra megy, a szerszám nyit, a kilövő pedig kilöki a munkadarabot a szerszámból.

A befroccsöntési nyomás 100-150 MPa. A fröccsönthető műanyagok megolvadt állapotban összenyomható folyadékok. A megolvasztott műanyag melegítve térfogatát növeli. Pl. a Polisztirolt 24°C-ról 180°C-ra melegítve, hőkiterjedése 7,5% és az olvadéknak 100 MPa nyomáson 6,5%-kal csökken a térfogata. A fröccsöntött darab méretét tehát két tényező befolyásolja, a ráható nyomás és hőmérséklet. Mivel a két tényező hatása ellentétes, ezek kiegyenlíthetik egymást, így a formában kihűlt darab mérete az üregével azonos marad. Amennyiben a nyomás nem egyenlíti ki a hőmérséklet hatását, akkor a lehült munkadarab a hőmérséklet nagyságától függően zsugorodik. Amennyiben a hőmérséklet nem egyenlíti ki a nyomás hatását, akkor belső nyomás marad vissza a darabban, mely a szerszám szétnyílásakor hajszálrepedést, vagy a darab teljes szétrepedését okozhatja.

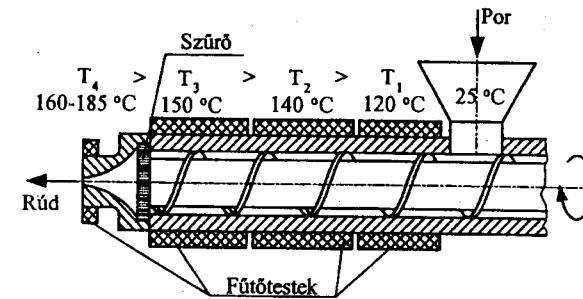
A folyékony anyagnak jelentős áramlási ellenállást kell legyőznie, míg a munkahengerből a szerszámba jut. Ezért a munkahengerben nagyobb nyomás uralkodik, mint a szerszám belsejében. E két nyomás közötti különbség elsősorban a fröccsöntő anyag minőségétől, de a hőmérséklettől is függ, mert a melegebb anyag kisebb viszkozitása miatt az áramlási ellenállás is kisebb. A nyomáskülönbség függ még az áramlási utak méretétől, alakjától a és felületi simaságától.

Itt említjük meg az ún. *rotációs öntést*, amely nagyobb méretű hőre lágyuló műanyagból készült üreges munkadarabok, hordók, gépjármű benzintartályok gyártási módszere. A granulátumot osztott szerszámba teszik, majd a szerszámot két egymásra merőleges tengely körül egyszerre lassan (kb. 30/perc fordulatszámmal) forgatják, a szerszámot a műanyag olvadáspontjára melegítik, majd lassan – a forgatásokat nem abbahagyva – lehűtik. A lehűtés után a szerszámot nyitják és a munkadarabot kivesszik. Arra a helyre, ahol az edényen lyuk van, a szerszámba hőszigetelő betétet tesznek.

2.3.3. Extrudálás

Az extrudálás folyamatos sajtolás, ahol a termék alakos szelvényű vég nélküli szalag, szál, rúd illetve cső lesz. Az extrudáló csigasajtó vázlatát a 2.39. ábra tünteti fel. A garaton a gépbe folyamatosan adagolt szemcsés műanyagot (a granulátumot) a forgó csiga magával ragadja, miközben a fűtött csigaházban felmelegszik és képlékennyé válik. A képlékeny anyag szűrőn át a gép szájában levő szerszám alakos nyílásán kinyomódik. A kilépő hőre lágyuló anyag lehül és megszilárdul. Az adagoló kiegészítő tartozéka a szárító esetleg a vízűtés. A szárító lehetővé teszi a nedvességre érzékeny anyagok víztelenítését és egyben előmelegítést is végez. A csigával továbbított anyag keveredik, a szájnnyílás felé haladva mind jobban felmelegszik, és a sajtolónyomás is növekedik. Ezt úgy érik el, hogy az 1-4 izzóspirálos fűtőelemek növekvő hőmérsékletre hevítenek, valamint a csiga vagy

állandó menetemelkedésűre, de csökkenő menetmélységűre van kiképezve, vagy változó menetemelkedésű, de állandó menetmélységűre van kialakítva.



2.39. ábra
Extrudáló csigasajtó metszete

Extrudálással feldolgozhatók a hőre keményedő műanyagok is. Ilyenkor a kiindulási anyagot 80-100°C-ra előmelegítve adagolják az extruderbe. A pontos hőmérsékletre szabályozott munkamenettel épp a szájnnyíláson történik az anyag kikeményedése.

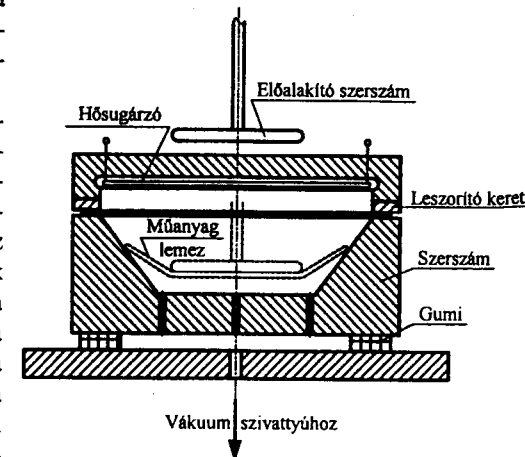
2.3.4. Műanyag lemezek formázása

A hőre lágyuló műanyagokból extrudálással és hengerléssel lemez gyártható. E lemezekből az anyag termoelasztikus állapotát biztosító hőközben (2.35. ábra) kívánt alak formálható, mely lehülés után alakját megtartja.

A műanyag lemezt az optimális hőközbe hevítik, majd vákuummal vagy túlnyomással a hideg fémforma alakjának felvételére kényszerítik. A berendezés vázlatát a 2.40. ábra tünteti fel.

A lemezt a szerszám peremére egy kerettel légmentesen leszorítják. A keret fölött elhelyezett hőszugárzó felmelegíti a lemezt az alakítás hőközébe. Ennek elérése után bekapcsolják a vákuumot és a szerszámba elhelyezett furatokon át a szerszám üregébe szívják a képlékennyé vált lemezt. A hideg szerszámmal érintkező lemez lehűlve megszilárdul és alakját megtartja.

A formázás meggyorsít-

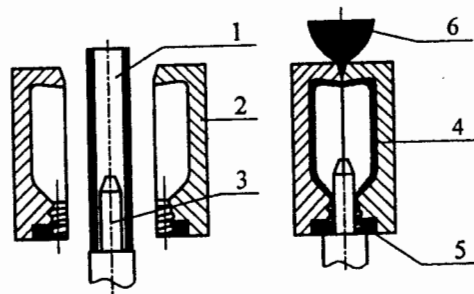


2.40. ábra
Műanyag lemez formálása vákuummal

ható a lemez mechanikus előnyújtásával. Ilyenkor a hősugárzó kifordul, lehetővé téve a korong alakú alakító szerszám lefele mozgását, mely előalakítja a képlékeny lemezt. Ezzel a darab falvastagsága is egyenletesebb lesz. Az előalakító szerszám fejét, azért, hogy ne hűtse le a lemezt, filccel borítják.

A vákuum formázás annál gazdaságosabb, minél nagyobb a formázandó felület és minél vékonyabb a lemez. Ilyen esetben a fröccsöntés drágább technológia volna.

Túlnyomásos formázásnál a hősugárzó a lezáró fedél belső síkjára van erősítve. Az alakítást a fedélbe vezetett 0,3 MPa túlnyomású levegő végzi. A szerszámba rekedt levegő az alsó lyukakon távozik. Ha a szerszám homorú (mint a 2.40. ábrán) az eljárás neve negatív vákuumformázás.



Szerszám nyitva

Szerszám zárva

2.41. ábra

Fűvószerszám fűvőtűskével

1 cső; 2 fűvószerszám; 3 fűvőtűske; 4 üreges test; 5 nyakkalibráló; 6 levegő

Pozitív formázásnál két keret közé szorítják a lemezt és sugárzóval felhevítés után a domború szerszámmra húzzák rá, majd szívással biztosítják a szerszámhoz tapadást. Így készülnek a hűtőszekrények belső mélydomborított burkoló lemezei.

A műanyag palackokat gyakran extruderen kisajtolts csőből, az ún. palackfűréssal állítják elő. Az extruderből szakaszos működtetéssel 1 Poetilén csődarabot nyomnak a szétnyitott kétrészes szerszámfelek közé. A cső felső végét egy kés vágja el. A szerszám zárásakor a képlékeny cső

a palack fenékrészén összeheged, a szájnylásba nyúló csövön keresztül bevezetett sűrített levegő pedig a szerszámüreget hűtött falához szorítja a csőpalástot, mely annak alakját felveszi (2.41. ábra).

Palackokat úgynevezett *fröccsfűvőgépeken* is gyártanak. Itt a felfűvendő félgyártmányt fröccsöntik, s ez rajta marad a fröccsöntő szerszám egyik hengeres magján. Ez a mag a gép revolverfejével 120°-kal elfordítva a fűvó szerszám tengelyébe kerül, ami rázár és megtörténik a fűvás. A revolverfej újabb 120°-os elfordulása után lökik le a kész palackot a magról. A revolverfejen 3 db mag van egymáshoz képest 120°-os szögben elhelyezve, így a berendezés folyamatosan és automatikusan üzemel. Az egyik magra fröccsönt, a másikon át felfúj, a harmadikról lelék a gép egyidőben.

2.3.5. Üvegszálas műanyagok

Üvegszállal társított műanyag az acél szilárdságát is megközelíti. Az üvegszál szakítószilárdsága nagy, nyúlása épp oly kicsi, mint a műanyagé, így az együttdolgozás biztosított.

Alapanyagként legelőnyösebben epoxigyantát használnak, mert kikeményedéskor nincs mellékterméke. Használják azonban a poliésztert és a legolcsóbb fenolgyantákat is.

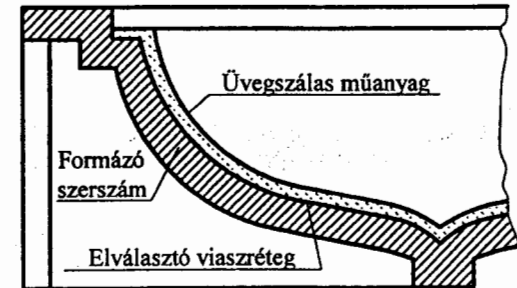
Az üvegszálakból fonalat, ezekből pedig kötegeket készítenek és így helyezik a műanyagba. Lehet fától vagy szövet alakban is felhasználni az üvegszálakat. A szórással vagy fröccsajtolással készült tárgyakat 15-30 mm hosszúra darabolt üvegszál vázanyaggal készítik.

Az alakításhoz használt legegyszerűbb és legolcsóbb eljárás a *kontakt formázás*. Ezzel az eljárással nagyméretű, kevésszámú darab gyártása történik. A gyártáshoz egy szerszámfél szükséges, amelyet acéllemezből, esetleg fa, vagy gipsz felhasználásával készítenek. Hajótest kontakt formázását mutatja be a 2.42. ábra. A szerszám felületét előzetesen viasszal vonják be, mely a gyártmány elválasztását könnyíti meg. A szerszám formázó felületére rétegesen viszik fel az üvegszövetet tartalmazó műanyagot. A megfelelő rétegvastagság elérése után celofán fóliát borítanak a műanyag felületére és szorítják ki a légzárványokat, majd a celofán fóliát eltávolítják. A kikeményedés ideje függ a gyantában levő katalizátor mennyiségétől. A kikeményedés ideje infravörös sugárzással csökkenthető. A kontakt eljárással formázott daraboknak csak a szerszámmal érintkező oldala lesz sima, falvastagsága pedig változó lesz.

A munkadarabok falvastagsága és a felület simasága biztosítható hideg vagy fűtött szerszámba történő sajtolással. A sajtolást rendszerint már fátólból előformázott darabokból végzik. A sajtolószerszám munkafelületei polírozottak, esetleg krómozva vannak. A szerszámot 80-125°C-ra fűtik fel.

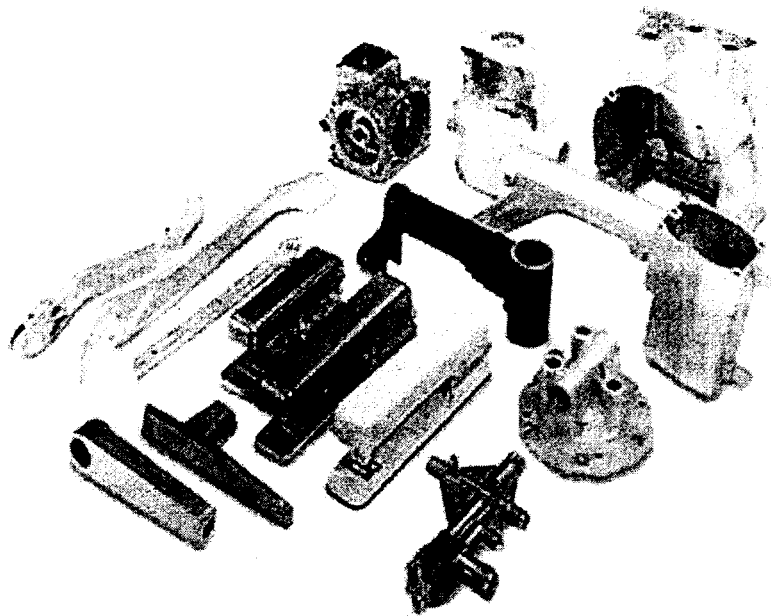
A sajtolónyomás a gyanta viszkozitása és a darab alakjától függően 2,0-20,0 MPa. A kikeményítési idő 1-3 perc. A szétnyitott szerszámból a kész darabot sűrített levegő átfűvással távolítják el, nehogy a darab megsérüljön.

Teflonnal átítatott üvegszövet $T=260^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet-különbséget képes elviselni, ebből az anyagból készültek a Hold űrruhák.

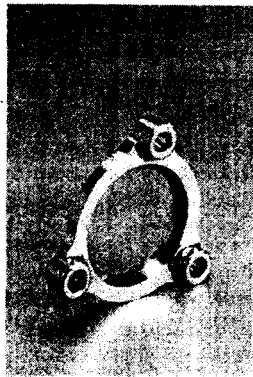
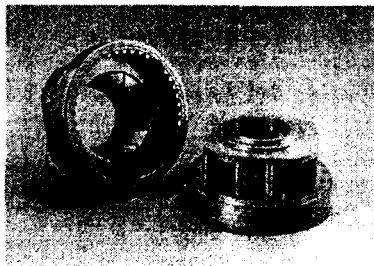


2.42. ábra

Műanyag hajótest kontakt formázása



Különböző fémek ötvözetéből különféle rendeltetésű öntött alkatrészek



Porkohászati eljárással készült különféle alkatrészek

3. HEGESZTÉS

A mérnöki szerkezetek geometriai, igénybevételi és gyárthatósági megfontolásból alkatrészekből, esetenként több száz, illetve több ezer alkatrészből állnak. Az alkatrészek, vagy más néven szerkezeti elemek közötti kapcsolatot erőátvitelre alkalmas kötések biztosítják. A kötés a szerkezet olyan legkisebb egysége, amely legalább két elemet, vagy elemrészt és közöttük egy kapcsolatot tartalmaz.

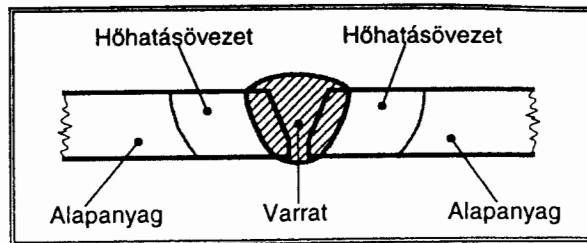
A ma leginkább használt kötéscsoportosítás szerint alakzáró (csavar-, szegecs-, ék-, retesz- és poligonkötés), erőzáró (zsugorkötés) és anyagzáró kötések ismertek. Az első két csoport kötései roncsolás nélkül oldhatók (reverzibilisek), a harmadikba tartozóké csak roncsolással (irreverzibilis kötés). A mechanikai technológiák tárgykörébe ez utóbbi csoport tartozik, ezért a továbbiakban csak az anyagzáró kötésekkel foglalkozunk.

Az anyagzáró kötési módok az összekötendő felületek között lehetséges *anyag-belső* (kohéziós), vagy *anyagok közötti* (adhéziós) kötések létrehozásán alapulnak, másképpen fogalmazva a kötési folyamatban kohéziós, vagy adhéziós vonzerők aktivizálása megy végbe.

Az anyagzáró kötések között a legfontosabb a *hegesztés*: a további anyagzáró kötések (*keményforrasztás, lágyforrasztás, termikus szórás, ragasztás*) a hegesztés rokoneljárásainak nevezik.

A legismertebb hegesztett kötés keresztmetszeti képe a 3.1. ábrán látható. Ez a kételemű, egysíkú, tompavarratos kötés a legnagyobb teherbírási kötéstípus, amit a többi kötéshalakkal szemben előnyben kell részesíteni.

A hegesztett kötés központi része a *varrat*, amely a hozaganyag és az alapanyagok olvadáskor heterogén keverékéből dendritesen kristályosodott. A *varrat* két oldalán néhány mm szélességű sávban az anyag mikroszerkezete a hegesztési hőhatásra változást szenvedett, ezért ezt a részt *hőhatásövezetnek* nevezik. A hőhatásövezet külső határa olyan alacsony hőmérséklet, amely alatt a hegesztési hőhatás ideje alatt változás nem következhet be; jó közelítéssel acéloknál ez 100 °C-ra tehető. A kötés határhőmérsékletnél hidegebb részét *alapanyagnak* nevezzük. A hegesztett kötés kritikus keresztirányú (varratra merőleges) tulajdonságait a láncszerűen sorba kapcsolt alkotóelemek (alapanyag, hőhatásövezet, varrat) leggyengébb eleme határozza meg.



3.1. ábra

A hegesztett tompakötés keresztmetszete és részei

3.1. A HEGESZTÉSELMÉLET RÖVID ÁTTEKINTÉSE

Annak ellenére, hogy a kovácshegesztés már az ókorban is ismert volt, a modern hegesztés első szabadalma 1849-ből (Staitte), az első megvalósított, teherbíró kötés 1877-ből (Thomson), a lánghegesztés 1902-ből (Fouche), a bevontelektródás kézi ívhegesztés 1904-ből (Kjellberg) származik. A jelenleg ismert legutolsó jelentős hegesztőeljárást, a lézersugárhegesztést 1961-ben, az Egyesült Államokban fejlesztették ki.

A hegesztés széles körben alkalmazott, nélkülözhetetlen kötéstechológia, ezért a fejlesztések eredményeként a hegesztés igen sok eljárását és eljárásváltozatát dolgozták ki. A hegesztési lehetőségek sokrétűsége miatt az általános érvényű definiálás nem egyszerű feladat. A ma legjobbnak tartott definíció, amely az *American Welding Society*-től származik, a következő:

A hegesztés olyan oldhatatlan kötőeljárás, amelynek során a fémes vagy nem-fémes anyagok elemi részeit megfelelő hőmérsékletre való hevítéssel, nyomás alkalmazásával, vagy anélkül, vagy csak nyomás alkalmazásával hevítés nélkül, hozaganyag felhasználásával, vagy anélkül egyesítjük.

A definícióban olyan kulcsszavak szerepelnek, amelyek a hegesztés lényegére mutatnak rá.

1. A hegesztés oldhatatlan kötést eredményez. A hegesztett kötés csak roncsolással szüntethető meg, reverzibilis oldás, mint pl. a csavarkötésnél, nem lehetséges.
2. A hegesztés fémes vagy nemfémes anyagoknál egyaránt létrehozható. A hegesztés nem kapcsolható csak a fémekhez, a további anyagcsoportok (polimerek, kerámiák, kompozitok) tagjai a csoporton belül, sőt gyakran a csoportok között is hegeszthetők. Az elméleti hegeszthetőség gyakorlati megvalósíthatósága (technológiai hegeszthetőség) ugyanakkor az egyes anyagcsoportoknál eltérő nehézségű.
3. A hegesztés az anyagok elemi részei között teremt kapcsolatot. A kapcsolat megfelel annak az elemi részek közötti folytonosságteremtő kapcsolatnak, amely az alapanyag nem hegesztett részein belül létezik (fémes kötés, ionos kötés, kovalens kötés, molekulakötés, stb.).

3.1.1. A hegesztőeljárások rendszerezése

A hegesztőeljárások osztályozása az eljárások fizikai és kémiai hátterének sokszínűsége miatt összetett feladat. Valamennyi ma ismert osztályozásnak van létjogosultsága, mivel a csoportosítási szempont a hegesztés különböző vonatkozásaira hívja fel a figyelmet.

3.1.1.1. Elsődleges osztályozás a sajtolóerő-igény szerint

A sajtolóerő szerinti osztályozás a hegesztés alapvető osztályozása. A definícióból levezethetően a hegesztésnek két nagy csoportja létezik: a külső erőhatás alkalmazása nélkül, az alapanyagok megolvasztásával végzett *ömlesztőhegesztés* és az erőhatást igénylő ún. *sajtolóhegesztés*.

A sajtolóhegesztés hevítés nélkül, vagy hevítéssel kombinálva végezhető. A lényeges megkülönböztetés a csoporton belül annak figyelembevételével történhet, hogy az anyag hegesztés közben megolvad, vagy mindvégig szilárd fázisú marad. A hegesztés sajtolóerő-igény szerinti csoportosítását a 3.1. táblázat foglalja össze.

3.1. táblázat

Hegesztési főcsoport	Hegesztési alcsoport	Külső sajtolóerő	Helyi hevítés maximális mérséklete
Ömlesztő	–	Nincs	Olvadáspontot meghaladja
Sajtoló	Szilárd fázisú sajtolóhegesztés	Van	Olvadáspontot nem éri el
	Folyékony fázisú sajtolóhegesztés	Van	Olvadáspontot meghaladja

A hegesztőeljárások alapvető osztályozása

A maximális hőmérsékletet tekintve hegesztés elméletileg az abszolút nulla fok és az anyag forráspontja közötti hőmérséklet-intervallumban végezhető.

A hegesztés 3.1. táblázatban bemutatott osztályozását a 3.2. ábrán látható $F=f(T)$ diagramban szemléltetjük.

A sajtolóhegesztés az alapanyagok (hideg, félmeleg, vagy meleg) képlékeny alakítására épül, ezért a képlékeny alakításhoz szükséges sajtolóerő nagysága az anyag hőmérséklettel változó alakítási szilárdságától (k_f) és a hegesztendő keresztmetszettől (A_h) függ:

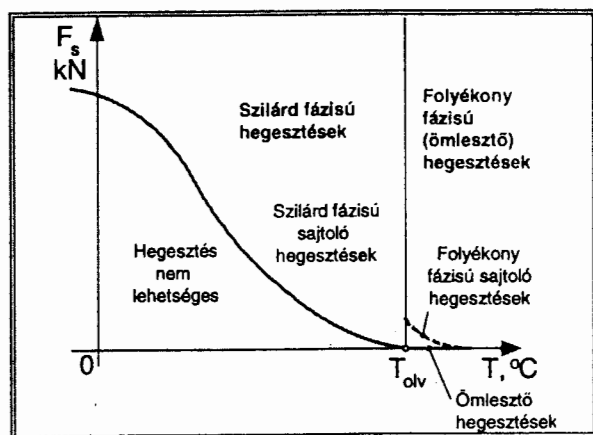
$$F_s = k_f(T) \cdot A_h, \quad (3.1)$$

ahol:

F_s, N : sajtolóerő,
 k_f, MPa : alakítási szilárdság,
 $T, ^\circ C$: hőmérséklet,
 A_h, mm^2 : hegesztendő keresztmetszet.

Egységnyi keresztmetszet-választással a sajtolóerő hőmérsékletfüggése a $k_f(T)$ függvény menetéét követi. Az ábrából látható, hogy a hőmérséklet növelésével a

sajtolóerő-szükséglet erőteljesen csökken. A szilárd fázisú sajtolóhegesztések legkedvezőbb hőmérséklet-intervalluma első közelítésben megegyezik az alapanyagok megalakítási hőközével (acélnál 1000...1300 °C).



3.2. ábra

A hegesztés főcsoportjai és a sajtolóhegesztés erőszükséglete a hőmérséklet függvényében

A folyékony fázisú sajtolóhegesztések erőszükségletét a fémfolyadékkal érintkező forró anyagterefogat alakítása határozza meg, mivel a megalakítás a szilárd anyagra is kiterjed. Az erőszükséglet ebben az esetben is hőmérsékletfüggő.

A nagyhőmérsékletű sajtolóhegesztések erőszükségletét az alakítási sebesség ($\dot{\varphi}$) is befolyásolja:

$$F_s = a \cdot \varphi^n \cdot \dot{\varphi}^m \cdot A_n, \quad (3.2)$$

ahol:

- a : erőgyűjtőhatóság,
- φ : valódi alakváltozás (nyúlás),
- $\dot{\varphi}$: alakváltozási sebesség,
- n : keményedési kitevő (megalakításnál értéke egyhez közeli),
- m : sebességkitevő.

Mivel az alakítási sebesség hegesztés közben jelentős, az alakváltozási sebesség ($\dot{\varphi}$) hatása nem elhanyagolható. Egyes sajtolóhegesztések utolsó fázisát a néhány m/s nagyságrendű alakítási sebesség miatt kovácsolásnak (*forging phase*) nevezik.

3.1.1.2. A hegesztőeljárások további csoportosítása

Az eddigiekben a hegesztéseket az alkalmazott erőhatás és a hegesztési folyamatban elért maximális hőmérséklet alapján csoportosítottuk. A hegesztés sokrétű-

sége további osztályozásokat tesz szükségessé. Mivel a szóban forgó felosztások fontos alapfogalmakat is takarnak, a továbbiakban röviden összefoglaljuk ezeket.

- **Osztályozás a rendeltetés alapján:** A hegesztéseket két, vagy több elem oldhatatlan kötésére használva *kötőhegesztésről*, egy elem felületére egy célszerűen megválasztott anyagot felhegesztve *felrakóhegesztésről* beszélünk.
- **Gépesítettség szintje szerint:** A hegesztés végezhető kézzel, de az egyes jellegzetes hegesztési mozgásokat gépi úton (mechanizmusokkal) végezve az emberi kéz munkája részben, vagy egészében helyettesíthető. A hegesztési folyamat felügyeletét ember és mikroprocesszor láthatja el. A munkavégzés és felügyelet szerint a következő eseteket célszerű megkülönböztetni:
 - * kézi hegesztés emberi felügyelettel (klasszikus kézi hegesztés),
 - * gépi (gépesített) hegesztés,
 - emberi felügyelettel (klasszikus gépi hegesztés),
 - mikroprocesszor felügyelettel (robothegesztés).

Kézi hegesztésre közismert példa a bevontelektrodás kézi ívhegesztés, ahol minden fő- és mellékmozgást a hegesztő végez. Gépesített hegesztéskor a főmozgás és a hozaganyag adagolása mechanizált, de a fix beállításokat és a korrekciókat operátor végzi. *Automatikus hegesztéskor* a mechanizált hegesztésre vonatkozó információkat rugalmas programban tárolják, ezért az operátor szerepe legfeljebb csak a megfigyelésre és a korrekciós beavatkozásokra korlátozódik (hegesztő robotok).

- **Hozaganyag alkalmazása szerint:** Amíg az ömlesztőhegesztő eljárásoknál a hozaganyaggal végzett (ún. *exogén*) hegesztés az általános, és a hozaganyag nélküli hegesztés a kivételes, addig a sajtolóhegesztéseknél hozaganyagot nem használnak, kivételes esetekben a hegeszthetőségi (inkompatibilitási) problémák mérséklésére egy harmadik anyagot közbettként (inzerként) szerepeltetnek. A hozaganyag nélküli (ún. *autogén*) hegesztéseknél a varrathoz szükséges anyagmennyiséget a kötés előkészítése során kell biztosítani, egyébként a varrat felülete az illesztési rés és a gyökoldali túlfolyás miatt óhatatlanul homorú lesz.
- **A környezeti atmoszféra nyomása szerint:** A hegesztést leggyakrabban normál nyomású levegőatmoszférában végzik, de ettől eltérő esetek is előfordulhatnak. Korlátozást jelent, hogy egyes eljárásokhoz gázatmoszférára mindenképpen szükség van (pl. ívhegesztések), de van olyan hőforrás is, amely ezzel ellentétben valamilyen mértékű vákuumot igényel (elektron-sugárhegesztés). A környezeti atmoszféra nyomása szerint a hegesztés a következő nyomásviszonyok mellett végezhető:
 - * abszolút vákuum, $p=0$ bar (világűr),
 - * földi vákuum, $p \approx 0$ bar,
 - * légköri nyomás, $p=1$ bar,
 - * nagynyomású tér, $p > 1$ bar (víz alatti hegesztés).
- **A hegfürdő és környezetének védelme szerint:** Hegesztéskor a nagyhőmérsékletű helyeket (hegfürdő és környéke, hozaganyagvég, a hegfürdőbe

tartó cseppek, dermedő varrat és hőhatásövezete) a levegő gázainak kémiai hatásától (oxid- és nitridképződés) és a gázelnyeléstől (hidrogén) védeni kell. A megbízható védelem a hegesztés sikerének és minőségének is kulcskérdése. A ma ismert hatékony védelmi lehetőségek a következők:

- * vákuum védelem,
- * gázvédelem,
- * salakvédelem,
- * kombinált (pl. egyidejű gáz- és salak-) védelem,
- * mechanikus védelem.

Megfelelő védelem esetén a varrat felülete még a nagy oxigén-affinitású, ún. reaktív fémek (pl. Zr, Ti) esetében is oxidmentes, a varratfém elnyelt gáztartalma alacsony, mindezek következtében a varrat mechanikai és esztétikai jellemzői a magas minőségi elvárásokat is kielégítik.

- A Nemzetközi Hegesztési Szervezet ajánlása szerint: Az ISO tagszervezete, az *International Standardisation for Welding*, mint az IIW (*International Institute of Welding*) szabványosítási szervezete készített egy eljárás csoportosítást és az egyes eljárásokat a géprajzi jelölés és a számítógépes adatkezelés megkönnyítésére (maximum háromjegyű) számkóddal látta el (ISO 4063).

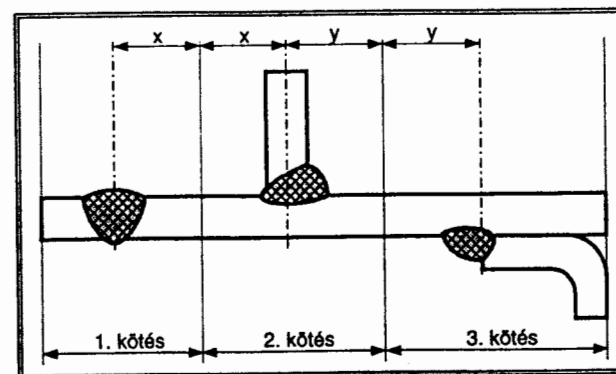
Az ISO csoportosítás szerint a hegesztésnek és rokoneljárásainak kilenc főcsoportja van, ebből az ívhegesztések az első főcsoportba tartoznak. A főcsoporton belül vegyes szempontok szerint csoportokat és alcsoportokat hoztak létre. Az ívhegesztések közül a döntően salakvédelmű eljárások kapták a 11 és 12, a gázvédelműek a 13, 14 és 15 csoportjellet. A legfontosabb hegesztőeljárások számkódja a következő:

- * bevontelektrodás kézi ívhegesztés (BKI, angol rövidítéssel MMA),
- * porbeleshuzalos, sajátvédelmű ívhegesztés (PSI, angol rövidítéssel MOG),
- * fedettívű hegesztés (FH, angol rövidítéssel SAW),
- * (semleges)védőgáz, fogyóelektrodás ívhegesztés (sVFI, angol rövidítéssel MIG),
- * (aktív)védőgáz, fogyóelektrodás ívhegesztés (aVFI, angol rövidítéssel MAG),
- * semlegesvédőgáz, W elektródos ívhegesztés (SWI, angol rövidítéssel TIG),
- * plazmaívhegesztés (PIH, angol rövidítéssel PAW).

A hegesztőeljárások szabatos magyar megnevezésében szereplő elektróda szó hegesztés közben leolvadó (fogyó), az elektród szó nem leolvadó (legtöbbször W) anyagot takar.

3.1.2. A hegesztett kötés

A hegesztett kötés – két elem hegesztéses kapcsolata – a hegesztett szerkezet legkisebb építő része. Minden hegesztett szerkezet annyi kötésre bontható, ahány varratot tartalmaz. A kötéseknek kétféle határa lehet: a szerkezet belsejében levő kötés a szomszédos kötések irányában a két varrat közötti távolság felező pontja határolja. A szerkezet szélén levő kötés egyik oldalról az alkatrész vége határolja (3.3. ábra).



3.3. ábra

A hegesztett szerkezet felosztása hegesztett kötésekre

A hegesztett kötés anyagzáró és oldhatatlan, mivel a hegesztés irreverzibilis folyamat. A hegesztés során az elemek között belső erővel hozunk létre kapcsolatot. Fémek hegesztésekor az alapanyagra jellemző fémes kötés létesül. A leggyakoribb esetben a hegesztett kötés a 3.1. ábrának megfelelően két elemet és közöttük egy, az előzőktől rendszerint eltérő összetételű és tulajdonságú harmadik anyagot (varratot) tartalmaz. A varrat a hegesztő hozaganyag és az alapanyagok keveréke.

Hegesztett kötés hozaganyag nélkül is létrehozható: ilyen például a vékonylemezek közötti peremkötés, vagy ilyenek a sajtolóhegesztett kötések, mint az ellenálláspontkötés (3.4. ábra).

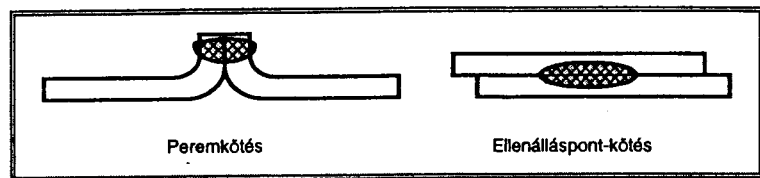
Hegesztett kötés varrat nélkül is készíthető: ha nincs hozaganyag és a hegesztendő anyagok sem olvadnak meg, akkor varratról sem beszélhetünk. Ez a helyzet fordul elő a szilárdfázisú hegesztéseknél (pl. dörzshegesztés, zömítő tompahegesztés, ultrahang-hegesztés).

3.1.2.1. A hegesztett kötés részei

A hegesztett kötés legalább két alkatrészből és a közöttük kapcsolatot teremtő varratból (vagy ha nincs varrat, akkor a kötésfelületből, ami az általánosítás kedvéért nulla szélességű varratnak tekinthető) áll. A kötések mikroszerkezeti és roncsolásos anyagvizsgálata kiderítette, hogy a kép ennél árnyaltabb: a hegesztés során ugyanis az alapanyag varrattal határos része olyan szerkezeti változásokat szenvedhet, aminek következtében jellemző tulajdonságai az alapanyagtól és a

varratól is eltérhetnek. A varratmenti zóna összefoglaló neve a *hőhatásövezet*. A hőhatásövezet helye a hegesztés közben mérhető maximális hőmérséklet alapján jelölhető ki:

$$100\text{ °C} < T_{\max} < T_{\text{likv}} \quad (3.3)$$

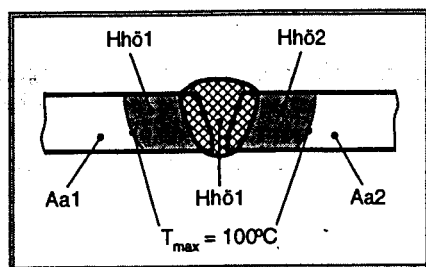


3.4. ábra

Hozaganyag nélkül készített hegesztett kötések

A 100 °C az acélokra vonatkozó alsó határhőmérséklet, más alapanyagoknál ez az érték ettől eltérő lehet. Az alsó határhőmérséklet azt a határt jelöli ki, amely alatt az alapanyagban tulajdonságváltozást okozó mikroszerkezeti változás nem mehet végbe.

A 3.5. ábra szerint tehát a hegesztett kötés a hő által nem befolyásolt alapanyagokból (*Aa1* és *Aa2*), a varratból (*V*) és az előbbieket között elhelyezkedő hőhatásövezetből (*Hhő1* és *Hhő2*) áll.



3.5. ábra

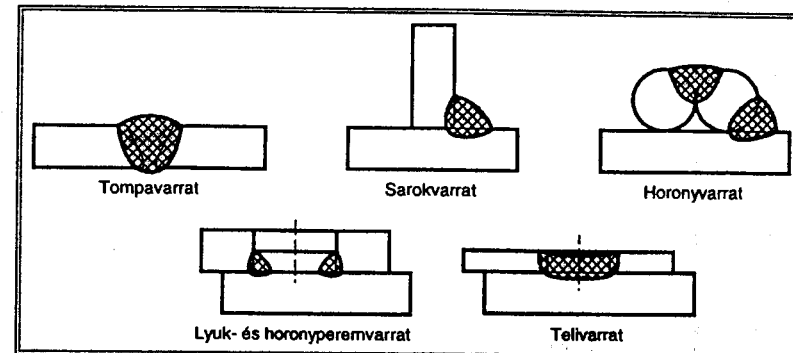
Hegesztett kötés részei

A hegesztett szerkezetek biztonságos üzemi viselkedése és terhelhetősége szempontjából a kötés mindhárom fő része azonos fontosságú, mivel a kötések általában a leggyengébb helyükön károsodnak és mennek tönkre. Ebből a szempontból helytelennek tekintendő az a nézet, amely csak a varrat hibátlanságára összpontosítja a figyelmet. Szakszerűen kidolgozott és végrehajtott hegesztéstechnológia esetén a hegeszthetőségi nehézségek zöme ugyanis a hőhatásövezetben várható.

3.1.2.2. A hegesztett kötések osztályozása

A hegesztett kötések többféle szempont alapján osztályozhatók. A csoportosítás legfontosabb célja, hogy a közel azonos terhelhetőségű kötések egy közös csoportba kerülhessenek.

- **Osztályozás a varratípus szerint:** A hegesztett kötésekben előforduló varratokat az ENV 1993 alapvetően az alábbi öt kategóriába sorolja: 1) tompavarrat, 2) sarokvarrat, 3) horonyvarrat, 4) lyukperemvarrat, 5) telivarrat. Az egyes varratípusok definíciója a számos átmeneti varratalk miatt körülményes, ezért meghatározás helyett rajzos illusztrációt közlünk a 3.6. ábrán.



3.6. ábra

A különböző varratípusok vázlata

A *tompavarratok* (butt welds) egymás folytatását képező (egy síkban elhelyezkedő) vagy egymással közel merőleges helyzetű elemek közötti, az anyagvastagság jelentős részére vagy teljes egészére kiterjedő varratok, amelyek többnyire a lemezek speciális kialakításával (lelézéssel) készülnek. A vastagságirányú kiterjedés szerint teljes átolvadású és részleges átolvadású tompavarratok léteznek. A tompavarratok rendelkeznek a legkiválóbb mechanikai jellemzőkkel, vagyis ez a komoly terhelésű szerkezetrészek preferált varratípusa.

A *sarokvarratok* (fillet welds) egymásra lapoltan elhelyezett vagy merőlegeshez közeli helyzetű, merőlegesen vágott élű elemeket összekapcsoló varratok, ahol a varrat térfogatának jelentős része az összekapcsolódó elemeken kívül helyezkedik el.

A *horonyvarratok* (flare groove welds) a részleges átolvadású tompavarratokra emlékeztetnek, azzal az eltéréssel, hogy amíg a tompavarratoknál a varrathorony valamilyen vágó- vagy forgácsolóeljárással hozzák létre, addig a horonyvarratoknál a hornyok az elemek alakjából és helyzetéből eredően természetesen jönnek létre.

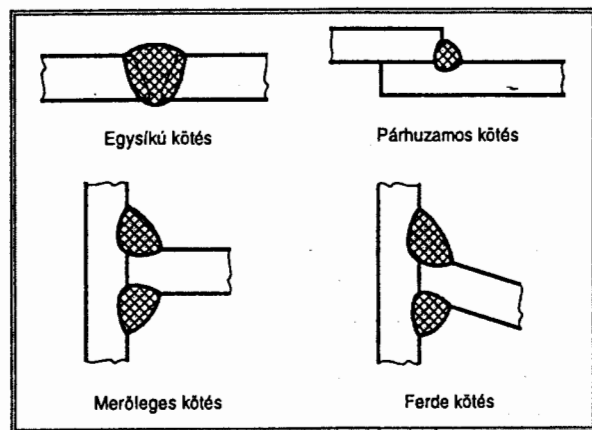
A *lyuk- és horonyperemvarratok* olyan sarokvarratok, amelyek átlapolt helyzetű elemeket kötnek össze úgy, hogy egy kör alakú furat vagy egy hosszúkás horony belső kerületén futnak végig.

A *telivarratok* olyan lyuk-, illetve horonyperemvarratok, amelyek a kör alakú vagy elnyújtott üreget sugár-, illetve szélességirányban teljesen (vastagságirányban azonban nem feltétlenül) kitöltik. Tipikus telivarrat a furatos ívponthegeesztett varrat.

A horonyvarratok, lyukperemvarratok és telivarratok csak kisterhelésű elemek kötésére alkalmasak, alkalmazásuk csak alárendelt helyeken engedhető meg.

– **Osztályozás az elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint:** A hegesztett kötések elemei egymáshoz viszonyítva a következő helyzeteket vehetik fel (3.7. ábra):

- egysíkú (az ENV 1993 szerint: tompakötés),
- párhuzamos (az ENV 1993 szerint: átlapolt kötés),
- merőleges, (az ENV 1993 szerint: T kötés),
- általános vagy ferde helyzetű (az ENV 1993 szerint, kb. T kötés).

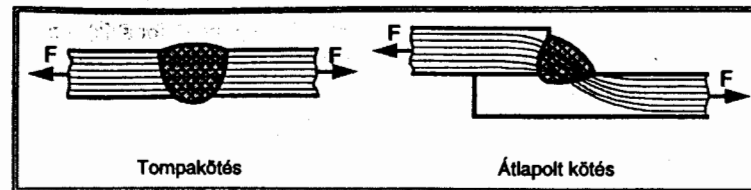


3.7. ábra

A hegesztett kötések osztályozása az elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint

Hegesztett szerkezetek kialakításakor az egysíkú és a merőleges helyzeteket előnyben kell részesíteni a további lehetőségekkel szemben, amelyek közül főleg a szegecs- és csavarkötések korából megmaradt párhuzamos (átlapolt) helyzetet kell kerülni.

Az egysíkú és az átlapolt kötések összehasonlítása a 3.8. ábrán feltüntetett erővonalfutás segítségével tehető meg. Ahol az erővonalak sűrűsödés és irányváltás nélkül haladnak, ott a feszültségeloszlás egyenletes, a repedésekért felelős feszültségcsúcsok nem alakulnak ki (bemetszés → feszültségcsúcs → repedés).



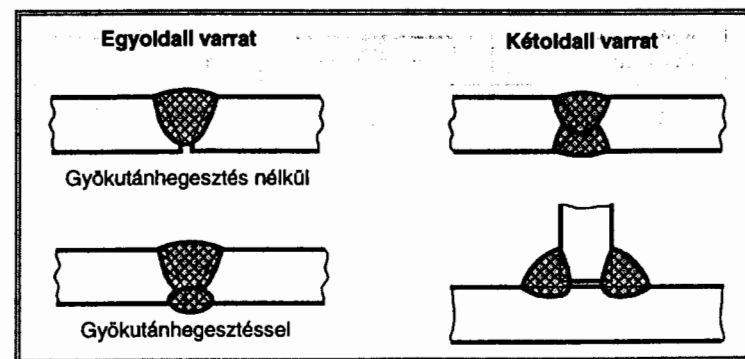
3.8. ábra

Erővonalak az egysíkú és párhuzamos kötésekben

A merőleges és ferde kötésekben az erővonalak irányt váltanak, ezért a feszültségeloszlás bennük a kritikus helyeken sohasem lehet egyenletes.

– **Osztályozás a varratok vastagságirányú felépítésének technikája alapján:** A leendő kötések hozzáférhetősége gyakorta kizárja, hogy kétoldali varratok készülhessenek, pedig minden tervezési folyamatban alapelv, hogy mindig a lehetséges legnagyobb szimmetriára kell törekedni. A szimmetriát jelen esetben a kétoldali, vastagságszimmetrikus varratok jelentik, amelyek a szerkezetek kívánatos varrat típusai. A varratok az elkészítési hozzáférhetőség, a falvastagság és a kidolgozott technológia szerint a következő típusúak lehetnek (3.9. ábra):

- egyoldali (*single side*) varrat
 - * gyökutánhegesztéssel,
 - * gyökutánhegesztés nélkül;
- kétoldali (*double side*) varrat.



3.9. ábra

Az egy- és kétoldalról hegesztett varratok

Az egyoldali, gyökutánhegesztés nélküli varratok tervezését kerülni kell, mert a gyökhiba valószínűsége ilyenkor a legnagyobb, és a varrat megfelelő minőségét költséges vizsgálatokkal kell bizonyítani. A gyökutánhegesztéssel a gyökhiba kiküszöbölhető, de a hőbeviteli szimmetria csak a (közel) szimmetrikus kétoldali varratokkal érhető el.

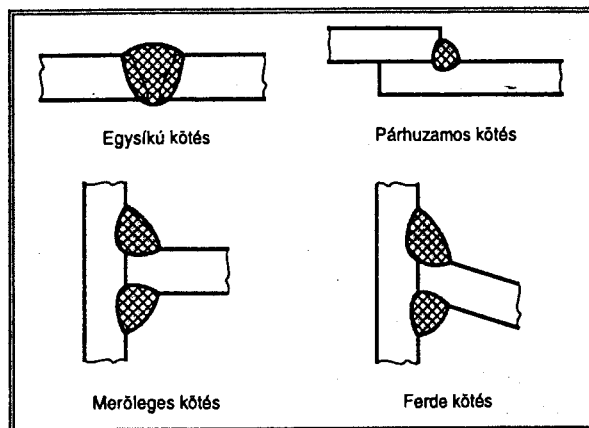
– **Osztályozás a hegesztési helyszín szerint:** A hegesztett szerkezetek varratainak zöme műhelyi (telephelyi) körülmények között készül, ahol a feltételek

A *telivarratok* olyan lyuk-, illetve horonyperemvarratok, amelyek a kör alakú vagy elnyújtott üreget sugár-, illetve szélességirányban teljesen (vastagságirányban azonban nem feltétlenül) kitöltik. Tipikus telivarrat a furatos ívponthegeesztett varrat.

A horonyvarratok, lyukperemvarratok és telivarratok csak kisterhelésű elemek kötésére alkalmasak, alkalmazásuk csak alárendelt helyeken engedhető meg.

– **Osztályozás az elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint:** A hegesztett kötések elemei egymáshoz viszonyítva a következő helyzeteket vehetik fel (3.7. ábra):

- egysíkú (az ENV 1993 szerint: tompakötés),
- párhuzamos (az ENV 1993 szerint: átlapolt kötés),
- merőleges, (az ENV 1993 szerint: T kötés),
- általános vagy ferde helyzetű (az ENV 1993 szerint, kb. T kötés).

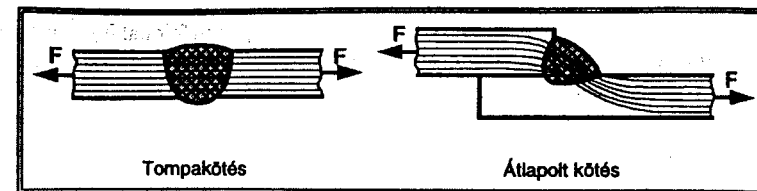


3.7. ábra

A hegesztett kötések osztályozása az elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint

Hegesztett szerkezetek kialakításakor az egysíkú és a merőleges helyzeteket előnyben kell részesíteni a további lehetőségekkel szemben, amelyek közül főleg a szegecs- és csavarkötések korából megmaradt párhuzamos (átlapolt) helyzetet kell kerülni.

Az egysíkú és az átlapolt kötések összehasonlítása a 3.8. ábrán feltüntetett erővonalfutás segítségével tehető meg. Ahol az erővonalak sűrűsödés és irányváltás nélkül haladnak, ott a feszültségeloszlás egyenletes, a repedésekért felelős feszültségcsúcsok nem alakulnak ki (bemetszés → feszültségcsúcs → repedés).



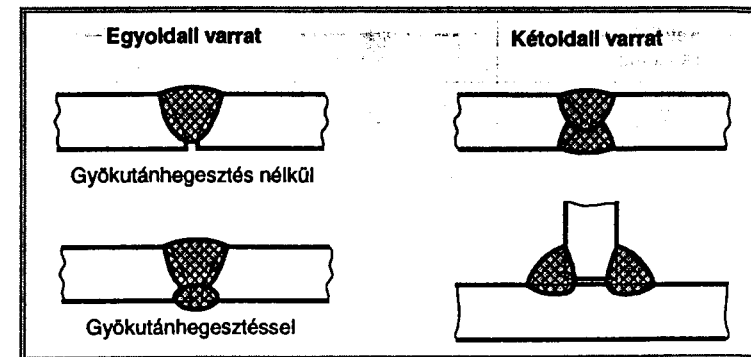
3.8. ábra

Erővonalak az egysíkú és párhuzamos kötésekben

A merőleges és ferde kötésekben az erővonalak irányt váltanak, ezért a feszültségeloszlás bennük a kritikus helyeken sohasem lehet egyenletes.

– **Osztályozás a varratok vastagságirányú felépítésének technikája alapján:** A leendő kötések hozzáférhetősége gyakorta kizárja, hogy kétoldali varratok készülhessenek, pedig minden tervezési folyamatban alapelv, hogy mindig a leghelyesebb legnagyobb szimmetriára kell törekedni. A szimmetriát jelen esetben a kétoldali, vastagságszimmetrikus varratok jelentik a szerkezetek kívánatos varrat típusai. A varratok az elkészítési hozzáférhetőség, a falvastagság és a kidolgozott technológia szerint a következő típusúak lehetnek (3.9. ábra):

- egyoldali (*single side*) varrat
 - * gyökutánhegesztéssel,
 - * gyökutánhegesztés nélkül;
- kétoldali (*double side*) varrat.



3.9. ábra

Az egy- és kétoldalról hegesztett varratok

Az egyoldali, gyökutánhegesztés nélküli varratok tervezését kerülni kell, mert a gyökhiba valószínűsége ilyenkor a legnagyobb, és a varrat megfelelő minőségét költséges vizsgálatokkal kell bizonyítani. A gyökutánhegesztéssel a gyökhiba kiküszöbölhető, de a hőbeviteli szimmetria csak a (közel) szimmetrikus kétoldali varratokkal érhető el.

– **Osztályozás a hegesztési helyszín szerint:** A hegesztett szerkezetek varratainak zöme műhelyi (telephelyi) körülmények között készül, ahol a feltételek

(hőmérséklet, páratartalom, szél- és huzatmentesség, pozícionálás) a hegesztés számára ideálisak. A helyszíni, ún. szerelő hegesztések esetén a körülmények jóval mostohábbak, aminek az eredménye csak rosszabb varratminőség lehet. Ezért tervezői gyakorlat, hogy nagy terhelésű szerkezeteknél a szerelő hegesztések helyett és/vagy mellett nagy teherbírású és a hegesztett kötással együttműködni képes csavarkötéseket alkalmazzanak.

3.1.2.3. A hegesztett kötések varratai

A hegesztett szerkezetek legnagyobb teherbírású varratai, a tompavaratok többféle geometriai kialakítással készíthetők el. A varratok elnevezése a hegesztés módjára (egyoldali vagy kétoldali) és keresztmetszeti alakjára utal.

Ha lehetőség van a gyártmány forgatására, vagy a varrat a lemez mindkét oldalról forgatás nélkül is hozzáférhető, a varratot célszerű két oldalról hegeszteni. A kétoldali varratok leggyakoribb keresztmetszeti alakjait a 3.10. ábra mutatja be.

Megnevezés	Metszeti kép	Varratszimbólum
Kettős I varrat		
Kettős V varrat (X varrat)		
Kettős 1/2 V varrat (K varrat)		
Kettős Y varrat (X varrat)		
Kettős 1/2 Y varrat (K varrat)		
Kettős U varrat		
Kettős J (1/2 U) varrat		
Kettős sarokvarrat		

3.10. ábra

A leggyakoribb kétoldali varratok fajtái és varratjelei

A 3.11. ábra az egyoldalról készített varratokat szemlélteti.

Megnevezés	Metszeti kép	Varratszimbólum
Peremvarrat		
Egyoldali I varrat		
Egyoldali V varrat		
Egyoldali 1/2 V varrat		
Egyoldali Y varrat		
Egyoldali 1/2 Y varrat		
Egyoldali U varrat		
Egyoldali J (1/2 U) varrat		
Meredekfalú V varrat		
Meredekfalú 1/2 V varrat		
Sarokvarrat		
Felrakóhegesztéssel készített varrat		

3.11. ábra

A leggyakoribb egyoldali varratok fajtái és géprajzi jelképeik

3.1.3. A hegesztés hőforrásai

Mivel a hegesztések döntő hányadában az anyagokat a sajtolóerő csökkentése érdekében és/vagy az alapanyag megolvasztása céljából hevítjük, a hegesztéshez használt hőforrások a hegesztés sikerét és gazdaságosságát nagymértékben befolyásolják. A varratban és a hőhatásövezetben végbemenő diffúziós és egyéb folyamatok a hőmérséklet és a hőhatási idő függvényei, ezért a hőforrás hőfizikai jellemzőivel szoros kapcsolatban állnak.

A hegesztéshez megfelelő koncentrátságú és nagyteljesítményű energiaforrások - a végső energiafajtaát tekintve hőforrások - szükségesek. A hegesztés hőforrásai kiterjedésüket tekintve pontszerű (0D), vonalszerű (1D), felületi (2D) és térfogati (3D) hőforrás csoportokba sorolhatók.

A leggyakrabban használt ívhegesztő eljárások hőforrásai a pontszerű hőforrásra hasonlítók, de véges kiterjedésű átmérővel rendelkező foltszerű (0,5D) hőforrások.

3.1.3.1. A foltszerű hőforrások jellemzői

A foltszerű hőforrások hegesztésre való alkalmasságának megítéléséhez öt lényeges jellemző ismerete szükséges.

Hőáram

Az egyfázisú váltakozó áramú hálózatról üzemelő hegesztő áramforrások által időegység alatt szolgáltatott hőenergiát a hőáram fejezi ki:

$$\Phi = \eta \cdot U_v \cdot I_h \cdot \cos \varphi, \quad (3.4)$$

ahol:

$\Phi, W:$	hőáram,
$\eta:$	a hőforrás termikus hatásfoka,
$U_v, V:$	ívfeszültség,
$I_h, A:$	hegesztő áramerősség,
$\varphi:$	a hegesztőáram és az ívfeszültség közötti fázisszög [egyenáram (DC) esetén $\varphi=1$, váltakozó áram (AC) esetén $ \varphi < 1$].

Hőfoltátmérő

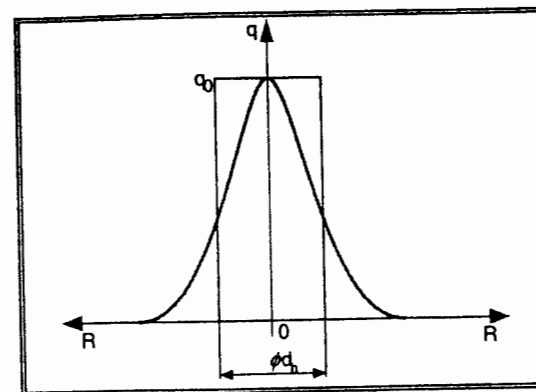
A hőforrás hőfoltátmérője (d_h) annak az idealizált, állandó intenzitású, körkeresztmetszetű hőforrásnak az átmérőjével egyezik meg, amelyen keresztül ugyanannyi hőenergia áramlik, mint a valóságos, a hely függvényében változó intenzitású hőforráson át. Az ívhőforrás hőfoltátmérője első közelítésben az ív átlagos átmérőjével, sugárhegesztéseknél a sugárnyaláb átmérőjével vehető azonosnak.

Hőáramsűrűség

A hőáram ívkeresztmetszetre vonatkoztatott fajlagos értéke a hőáramsűrűség ($q, W/mm^2$):

$$q = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{4 \cdot d\Phi}{d_h^2 \cdot \pi} \quad (3.5)$$

A valóságos foltszerű hőforrás hőáramsűrűsége a hőforrás tengelyétől mért R távolsággal exponenciálisan csökken. A hőáramsűrűség sugártól függő értékét a Gauss féle haranggörbe ábrázolja (3.12. ábra).



3.12. ábra

A hőáramsűrűség sugármenti eloszlása

A haranggörbe egyenlete a következő:

$$q = q_0 \cdot e^{-k \cdot x^2} = q_0 \cdot e^{-\frac{4}{d_h^2} x^2} \quad (3.6)$$

A (3.6) összefüggés azt mutatja, hogy minél kisebb a hőforrás d_h hőfoltátmérője, annál meredekebben csökken a hőáramsűrűség a hőforrás tengelyvonalától távolodva és fordítva. Más szóval azt is mondhatjuk, hogy a hőforrás hőfoltátmérőjének csökkenésével a hőforrás koncentrátsága növekszik. A kis áramsűrűségű bevontelektrodás ív például nagy foltátmérőjűnek, a finomcseppes anyagátviteli védőgázás, fogyóelektrodás ívhegesztés (VFI) íve koncentrált hőforrásnak tekinthető.

A hegesztéseket a hőáramsűrűség alapján normál hőáramsűrűségű ($q_0 < 10 \text{ kW/mm}^2$) és nagy hőáramsűrűségű ($q_0 > 10 \text{ kW/mm}^2$) csoportba sorolják.

A hőforrás sebessége

A hőforrás sebessége ($v_h, \text{ mm/s}$) az a relatív sebesség, amivel a hőforrás a tárgyhoz képest a hegesztési irányban mozog. A hőforrás sebessége álló tárgy esetében megegyezik a hegesztési sebességgel. Álló hőforrás (ív- és ellenállásponthegesztések) esetében a hőforrás sebessége zérus.

A hőforrás sebességét a hegesztési gyakorlatban 3 m/min (50 mm/s) érték fölött gyorsnak, alatta normál értékűnek tekintik. Ennél precízebb az a meghatározás, amikor a hőforrás sebességét a lineáris hővezetés sebességéhez hasonlítják: eszerint egy hőforrás akkor tekinthető gyorsan mozognak, amikor a hőforrás gyorsabban mozog a hő terjedésénél, azaz amikor a hőforrás előtt az anyag nem melegszik. Ez a határsebesség anyag és technológia-függő, ezért konkrét, minden esetre érvényes értéke nem létezik.

Vonalenergia

A hőforrás hőáramából és mozgási sebességéből igen hasznos mérőszámot képezhetünk, amelyet *vonamenti energiasűrűségnek*, röviden *vonalenergiának*, neveznek:

$$E_v = \frac{\Phi}{v_h}, \quad (3.7)$$

ahol:

$E_v, J/mm$: vonalenergia,
 $v_h, mm/s$: a hőforrás haladási sebessége (hegesztési sebesség).

A vonalenergia alkalmas különböző hegesztési eljárások, és azonos eljáráson belül különböző technológiai variánsok összehasonlítására, emellett igen jól használható egyes hegeszthetőségi kérdések megítéléséhez is.

3.1.3.2. A hegesztéshez használt hőforrások

A hegesztő hőforrások mindössze néhány energiafajtát hasznosítanak. Összefoglaló áttekintésük a 3.2. táblázatban található.

A 2.2. táblázatban összefoglalt hőforrások közül a mechanikai energiát és a szilárd anyag ellenállásán fejlődő hőt csak sajtolóhegesztéshez, a plazmaívet, a folyékony anyag ellenállásán fejlődő hőt és a sugárenergiaikat csak ömlesztőhegesztéshez, a többi energiafajtát mindkét hegesztési főcsoporthoz alkalmazzák.

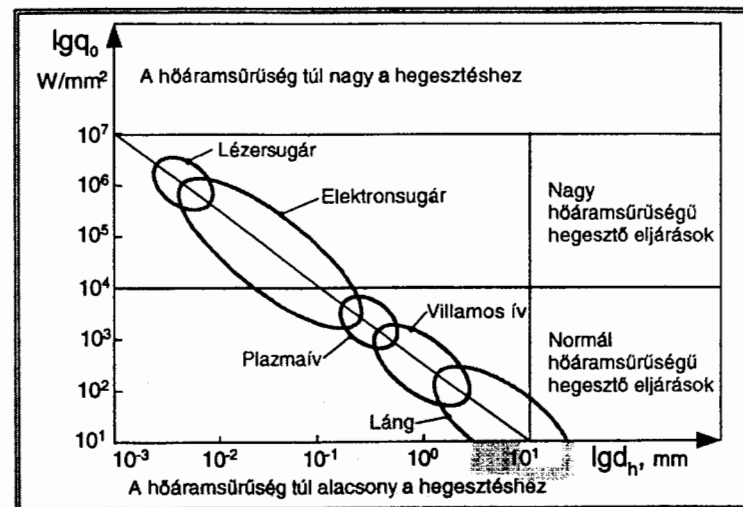
3.2. táblázat

Sorszám	Hegesztő hőforrás	Alcsoport	Példa
1	Exoterm kémiai reakciók energiája	Égés	Lángahegesztés
		Termitreakció	Termithegesztés
2	Villamos ív és	Ív	Védőgáz, fogyó-elektrodás ívhegesztés
	Plazmaívet	Plazmaívet	Plazmaívethegesztés
3	Ellenálláson fejlődő hő	Folyékony anyag ellenállása	Salakhegesztés
		Szilárd anyag ellenállása	Ellenállásponthegesztés
4	Mechanikai energia	Súrlódás	Dörzshegesztés
5	Sugárenergia	Elektronsugár	Elektronsugárhegesztés
		Lézersugár	Lézersugárhegesztés
		Fénysugár	Fénysugárhegesztés

A hegesztéshez használt hőforrások áttekintése

Minden hegesztőeljárás elhelyezhető a hőforrására jellemző hőáram-sűrűség-hőfoltátmérő diagramban. A 3.13. ábrában a hőáram-sűrűség alsó határa 10 W/mm^2 , amely érték alatt a fémek nem hegeszthetők, mivel a hőenergia a hővezetés révén

szétterjed az anyagban és helyi megolvadás nem következik be. A felső határ (10^7 W/mm^2) felett az anyagok helyileg elgőzölögnek; ez a vágás-darabolás területe. A két említett határérték között a hőforrások hőáram-sűrűsége és hőfoltátmérője kettős logaritmusos koordináta rendszerben közel arányosnak vehető. A hőfoltátmérő $1 \mu\text{m}$ és 10 mm között változik.



3.13. ábra

Az egyes hegesztőeljárások helye a hőáram-sűrűség-hőfoltátmérő diagramban

A 3.13. ábrában a hegesztőeljárásokra jellemző területet ellipszissel ábrázoltuk. Az ellipszis mérete az eljárás szabályozhatóságának terjedelmét jellemzi. A stabil tartomány például az elektronsugárhegesztés esetében egészen nagy, a lézersugár, vagy a plazmaívet esetében jóval kisebb. Az ellipszisen belüli helyzet a hegesztő eljárás technológiai paramétereinek és a hegesztendő alapanyag fizikai jellemzőinek a függvénye.

A diagramban szerepeltettük a 10 kW/mm^2 -es elválasztó határértéket is. Fizikailag ennél nagyobb hőáram-sűrűségértéknél az olvasztás és elgőzölögtetés válik a hegesztési folyamat egyik meghatározó elemévé, míg alatta az olvasztás és a hővezetés tekinthető az uralkodó folyamatnak.

3.1.4. A hozaganyag hevítése, megolvasztása és átvitele a hegfürdőbe

Az ömlesztőhegesztés varratai kevés kivételtől eltekintve az alapanyag és a hozaganyag olvadáskor keverékéből kristályosodnak. A hegesztési munkákban az alapanyag általában adott, de a hozaganyagot a hegesztő szakember választhatja meg, és ezzel kedvezően befolyásolhatja a varrat összetételét és tulajdonságait.

A hozaganyagnak a hegesztő eljáráshoz igazodva *pálca, bevonatos elektróda, huzal, szalag, por* és egyéb, ritkán használatos megjelenési formái ismertek.

A hazai kereskedelmi cégek eladási adatai szerint az 1995-2000 években a hozaganyagokon belül a tömör és porbeles huzalok együttes részaránya mintegy 50 %-os, a bevonatos elektródáké 45 %-os, a pálcáké 2 %-os volt, míg a fennmaradó 3 %-on a többi hozaganyag együttesen osztozott.

3.1.4.1. A hozaganyagok hevítése ömlesztőhegesztéseknél

A hozaganyagot a hegesztés hőforrása hevíti. Ömlesztőhegesztések esetében a hozaganyagot az olvadáspontja fölé kell hevítenie, hogy annak anyaga cseppalakban, vagy egyéb módon a hegfürdőbe kerülhessen. A hozaganyagok hevítése három különböző elven lehetséges, aszerint, hogy a hőforrás hője hogyan és hol hevíti a hozaganyagot.

A pálca hevítése

A pálca egy átmérőcsaládnak megfelelő vastagságú, de konstans hosszmetrű (Magyarországon többnyire 1 m hosszúságú) huzaldarab, ami nem része a villamos áramkörnek és amit többnyire kézzel adagolnak az ívbe (SWI), plazmaívbe (PIH), vagy a lángba (LH, keményforrasztás).

A pálca egyik végét a hőforrás energiája a hőforrást körülvevő gázközeg konvekciója és a sugárzás révén hevíti. A hő a pálcában hővezetéssel (a pálca anyagától függő sebességgel), de meglehetősen lassan terjed a pálca másik vége felé. A pálca hevített vége a hőtől megolvad, rajta a súlyerő, a felületi feszültség, és (ha van akkor) a hőforrás fűvőhatása miatt cseppek képződnek, amelyek leválva a hegfürdőbe hullanak. A cseppek méretét a felsorolt erőhatások determinálják.

A bevonatos elektróda hevítése

A bevonatos elektróda egy szabványosított átmérősornak megfelelő vastagságú, rövid (200...450 mm hosszúságú) huzaldarab, amelynek külső felületén nemfémes (kerámia) bevonat található. A nevéből adódóan a bevonatos elektróda a villamos áramkör része és a hegesztési folyamatban leolvad.

A bevonatos elektróda végét a villamos ív konvekció és sugárzás révén hevíti. Ezt a hőközlést egy másik hevítési mód egészíti ki: az elektródán átfolyó hegesztőáram Joule hője. Mivel a fejlődő Joule hő az áramátfolyás idejétől függ, az elektróda egy adott pontjának hőmérséklete az idő függvénye lesz. A Joule hő az elektródákat még az ívközel állapottól előmelegíti, ezért hasznosnak tekinthető. A Joule hő miatt az elektróda (szemben a pálcával, amit a hegesztők csupasz kézzel adagolnak) minden pontja több száz fokra, sokszor vörösizzásig felhevül, ezért hegesztés közben csupasz kézzel nem tanácsos megérinteni.

Az elektróda ívvel hevített végére a pálcánál felsorolt erőkon kívül még a külső és belső gázerők, valamint a hegesztőáram okozta (radiális és axiális irányú) elektromágneses erők hatnak. A cseppleválás az erők eredőjének irányába történik. Kívánatos és szerencsés esetben a cseppek a hegfürdőbe hullanak, de egy részük (1-20 %) attól távolabb esik a hegesztendő munkadarabra, vagy a környezetére: ez utóbbi jelenséget *fröcskölésnek* nevezzük. A fröcskölés a rövidzárlat megszűnése

utáni gyors áramnövekedés, és/vagy a megolvadt hozaganyagvégre ható belső gázerők hatására következik be. A fröcskölés nagyon káros jelenség és mind hozaganyag- és áramforrás-gyártási, mind technológiai fogásokkal törekedni kell a méréséklésére. Teljesen fröcskölésmentes állapot nem érhető el.

A huzalelektróda hevítése

A huzalelektróda olyan (tömör, vagy porbeles) huzal, amely a hegesztés áramkörébe van bekötve, leginkább a pozitív pólusra (DCEP). Huzalelektródát alkalmazunk a VFI, FH és több más hegesztőeljárásnál.

A huzalelektróda hevítése a bevonatos elektródához hasonló, egy nagy eltéréssel: itt az árambevezetés helye a huzalhoz képest nem fix, hanem változó, mivel a pisztoly csúszókontaktusával mindig más huzalpont érintkezik. Ez azt jelenti, hogy a huzalelektróda árambevezető előtti szakasza hideg, az árambevezető és az ívtalpon közötti (többnyire 10...25 mm hosszúságú) részt a hegesztő áram Joule hője előmelegíti, és ehhez adódik hozzá a huzalvégen égő ív hőjének intenzív hevítő hatása.

A huzal megolvadó végére ugyanazok az erők hatnak, mint a bevonatos elektródára, de itt az egyes erőkomponensek abszolút és relatív nagysága különbözik a bevonatos elektródánál fellépőktől. Ennek elsősorban a nagyobb áramsűrűség és a kisebb huzalátmérő a magyarázata.

3.1.4.2. Az anyagátvitel lehetséges módjai ívhegesztéskor

Az anyagátvitel többnyire cseppek formájában történik, de van olyan anyagátviteli mód is, ahol nincs cseppképződés (emiat az anyagátvitel kifejezés a cseppátvitellel nem helyettesíthető). Az IIV nyolc hegesztési anyagátviteli módot különböztet meg. Ezek közül négynek van fontos gyakorlati szerepe, ezért a következőkben csak ezeket tárgyaljuk. Az anyagátvitel a hőtranszfer mellett a hegesztés másik igen lényeges folyamata, ami a hegesztett kötés minőségére és a hegesztés gazdaságosságára jelentős befolyással van.

Az ívhegesztés anyagátmenetét nagysebességű filmfelvételekkel tanulmányozzák. Az anyagátmenet egyes típusaira az áram és feszültség oszcillogramjából sőt kellő gyakorlattal az ív hangjából és a varrat külső megjelenéséből is lehet következtetni.

Rövidzárlatos anyagátvitel

A kis feszültséggel, kis áramerősséggel végzett hegesztéskor az ív igen rövid, ezért a folyamatosan előtolt huzalelektróda megolvadt vége beleütközik a huzalzó felületű hegfürdőbe és rövidzárlat keletkezik, az ív kialszik. A *pinch effektus* okozó elektromágneses erő, amely közelítőleg az áramerősség négyzetével arányos, a zárlati áram hatására megnő, ami a hegfürdő olvadékának felületi feszültségével együtt segíti az anyagleválást. A cseppképződés nélküli anyagátmenet után az ív hevesen újragyullad és a nagyon gyors áramnövekedés szinte szétrobantja a huzalelektróda végén újraképződött folyadékot, ezért ezt az anyagátviteli módot jelentős mértékű fröcskölés kíséri.

A meglehetősen előnytelen, de a legkisebb hőbevitelt eredményező rövidzárlatos anyagátmenetet csak indokolt esetben (vékonylemez ($s < 3 \text{ mm}$) hegesztés, középvastag és vastaglemezek gyökhegesztése, térbeli hegesztés) alkalmazzák.

Nagycseppes anyagátvitel

Közepes áramerősség és közepes, vagy nagy feszültség nagycseppes anyagátvitelt eredményez. A cseppek fő jellemzője, hogy átmérőjük nagyobb, vagy jóval nagyobb, mint a huzalelektrodáé. A cseppek szabálytalan alakúak is lehetnek és röppályájuk nem mindig tengelyirányú (fröcskölés). A cseppképződést és a leválást főleg a gravitációs erő uralja. A d_{cs} cseppfrekvencia alacsony, értéke 1 és 10 Hz közé tehető.

A nagycseppes anyagátvitel az olcsó széndioxid védőgázra vagy a döntően CO_2 bázisú gázkeverékekre jellemző, az ilyen védőgázokban ugyanis finomcseppes átmenet nem hozható létre. Nagycseppes anyagátvitellel találkozunk a bázikus elektrodák és bázikus salakú porbeles huzalelektrodákkal végzett hegesztéskor is.

Finomcseppes anyagátvitel

Az anyagátmenet folyamatossága, a cseppek tengelyirányú mozgásának megtartása, a fröcskölés minimalizálása a finomcseppes átmenetknél valósul meg leginkább, ezért ezeket a cseppátviteli módokat tekinthetjük az ideálist megközelítőnek, és megvalósítandónak. A finomcseppes anyagátmenetek közös jellemzője, hogy a huzalelektroda végén apró ($d_{cs} < d_e$), vagy igen apró cseppek ($d_{cs} < < d_e$) keletkeznek és a cseppfrekvencia jelentős nagyságú ($f_{cs} = 100 \dots 1000 \text{ Hz}$).

A finomcseppes anyagátvitel aletetei a permetszerű cseppátmenet, folyadékcsatornás cseppátmenet, forgóíves cseppátmenet és impulzusíves cseppátmenet.

A finomcseppes anyagátvitel eléréséhez adott huzalanyag- és átmérő esetén egy $J_{cr} = 150 \dots 200 \text{ A/mm}^2$ nagyságú kritikus áramsűrűség elérésére, megfelelő védőgázra és korszerű áramforrásra van szükség.

3.1.4.3. Az anyagátvitel mennyiségi jellemzői

Az időegység alatt leolvasztott hozaganyagtömeget, amely a hegesztés fontos mérőszáma, leolvasztási teljesítménynek nevezzük. Képlete:

$$\dot{m}_{le} = \frac{dm_{le}}{dt} \approx \frac{\Delta m_{le}}{\Delta t}, \quad (3.8)$$

ahol:

\dot{m}_{le} , kg/h:	leolvasztási teljesítmény,
m_{le} , kg:	a leolvasztott hozaganyagtömeg fém része (salak nélkül),
t , h:	hegesztési fődő.

Hasonlóan definiálható az \dot{m}_{be} -vel jelölt beolvasztási teljesítmény, ami az időegység alatt a hegfürdőbe kerülő, majd ott megszilárduló hozaganyagtömeget jellemzi:

$$\dot{m}_{be} = \frac{dm_{be}}{dt} \approx \frac{\Delta m_{be}}{\Delta t}, \quad (3.9)$$

ahol:

\dot{m}_{be} , kg/h:	beolvasztási teljesítmény,
m_{be} , kg:	a varratba beolvasztott fém hozaganyagtömeg,
t , h:	hegesztési fődő.

A leolvasztási és a beolvasztási teljesítmény különbsége a veszteség teljesítmény:

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{le} - \dot{m}_{be}, \quad (3.10)$$

ahol:

\dot{m}_v , kg/h	veszteség teljesítmény.
--------------------	-------------------------

A hegesztő műveletet tervező mérnök számára a leolvasztási tényező ad fontosabb információt, mivel segítségével meg tudja határozni egy hegesztő egyműszakos hozaganyag felhasználását és össze tudja hasonlítani egy adott munkához szóbajöhető hegesztő eljárások termelékenységét.

3.1.5. A hegesztendő tárgy helyi hevítése és megolvasztása

A hegfürdő ömlesztőhegesztéskor az alapanyag megolvadásával jön létre. Hegfürdőknek nevezzük azt az alapanyagrészt, amely éppen olvadt állapotban van, vagyis hőmérséklete nem kisebb, mint az alapanyag olvadáspontja, pontosabban *likvidusz hőmérséklete*. Amennyiben hozaganyagot használnak, a hozaganyag ömledékének hasznosuló része is a hegfürdőbe kerül, vagyis a hegfürdő általános esetben az alapanyag és a hozaganyag ömledékének a keveréként jön létre. A hegfürdő hossztengety irányú párhuzamos eltolásával és folyamatos kristályosodásával kapjuk a varratot.

Egyes hegesztési feladatokban szükség van a varrat és az alapanyag részarányának ismeretére, mivel az alapanyag részarány a hígulásra ad információt. A hígulás (*dilution*) szakkifejezés arra utal, hogy a rendszerint ötvözöttebb és tisztább (vagyis értékeesebb) heganyag ömledékét az alapanyag olvadáka felhígítja.

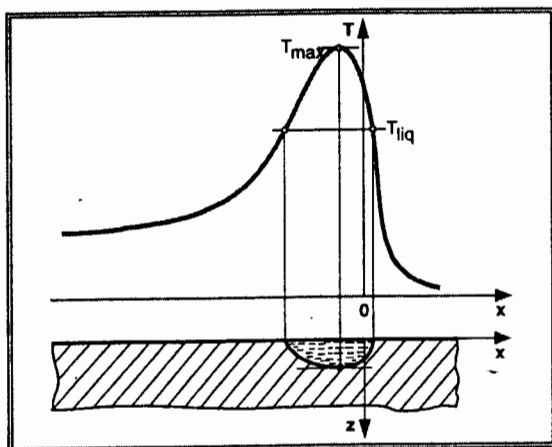
Szilárdfázisú hegesztés során hegfürdő és varrat nem alakul ki, mivel az ilyen hegesztési folyamatban az alapanyag nem olvad meg. A szilárdfázisú hegesztőeljárással készített kötések központi részét kötésfelületnek nevezzük (ez nulla szélességű kvázivarratként fogható fel).

3.1.5.1. A hegfürdő alakja

A hegfürdőt a likvidusz hőmérsékletnek megfelelő izotermfelület határolja. Az izotermfelület méreteinek és alakjának meghatározása mikroszkópi csiszolatokból és a hőterjedési modellek alapján végzett számítással lehetséges.

A hegfürdőalak meghatározásához célszerűen a számítógépes szimulációval legkönnyebben kezelhető nagyttestmodell választjuk. A hővezetési differenciálegyenletének a hegesztés körülményeire konkretizált megoldásával egy adott pillanatban a hőforrás környezetének bármely pontjában a hőmérséklet kiszámítható. A hőforrás haladási irányával, azaz a hegesztési irányval egybeeső x tengelymenti

hőmérsékleteloszlást a 3.14. ábra szemlélteti. Ha az ábrába berajzoljuk a likvidusz hőmérséklet vízszintesét, akkor a hőmérsékletgörbével alkotott metszéspontok kijelölik a hegfürdő orr- és végpontjának helyét. Hasonlóan járhatunk el az y és a z tengely irányában is.



3.14. ábra

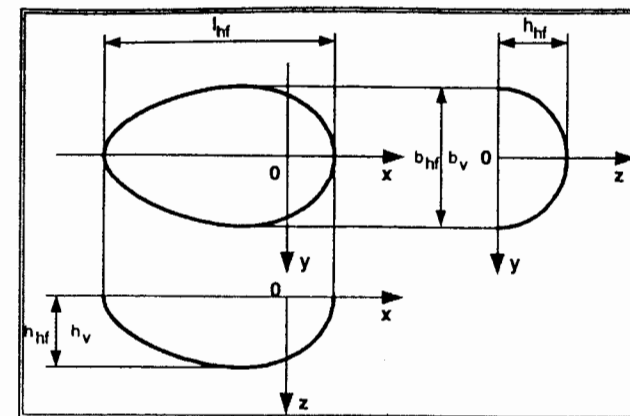
A hegfürdő határoló pontjainak meghatározása az x tengelyen, nagyméretű tárgyban

A hegfürdő alakja álló hőforrás esetén egy forgásellipszoidhoz (lencséhez) hasonlít. A sebesség növelésével a hegfürdő hőforrás előtti mérete zsugorodik, a hőforrás mögötti mérete növekszik, ennél fogva a hegfürdő egy hátrafelé elnyúló félcseppalakhoz kezd hasonlítani. Minél nagyobb a hegesztési sebesség, annál keskenyebb, sekélyebb és elnyújtottabb lesz a hegfürdő.

A hegfürdő alakja azért lényeges, mert a belőle kristályosodó varrat a hegfürdő x tengely irányú eltolásával leírt burkolófelületet örökli, és a varrat tulajdonságok nagy részét (szerkezetfüggő tulajdonságok) a hegfürdő alakja által is befolyásolt kristályosodási folyamat jelentősen befolyásolja.

3.1.5.2. A hegfürdő méretei

A hegfürdő lényeges méreteit a 3.15. ábrán szemléltetjük. Az ábrán feltüntetjük a varrat fő méreteit is, így az összefüggés a hegfürdő és a varratméretek között egyértelműen követhető.



3.15. ábra

A hegfürdő és a varrat meghatározó méretei a három főirányban

A hegfürdő és a varrat lényeges méreteit és jelöléseiket a 3.3. táblázatban foglalkozunk össze.

3.3. táblázat

Irány	Tengely	Hegfürdő		Varrat	
		Méret	Jelölés	Méret	Jelölés
Hosszirány	x	Hosszúság	l_{hf}	Hosszúság	l_v, l
Keresztirány	y	Szélesség	b_{hf}	Szélesség	b_v, b
Vastagságirány	z	Mélység	h_{hf}	Beolvadási mélység	h_v, h_1

A hegfürdő és a belőle kristályosodó varrat fő méretei

A hegfürdő méretei az anyagtól, eljárástól és technológiai beállításoktól függően igen tág határok ($10^{-1} \dots 10^2$ mm) között változnak. A hegfürdő térfogata közvetőlegesen a $10^{-1} \dots 10^2$ mm³ (ml) értékek közé tehető. A hegfürdő térfogata és hőmérséklete a dermedési sebességet erőteljesen befolyásolja. Csak gyors dermedés esetén van reményünk arra, hogy a hegesztést a hegfürdő alátámasztása (*backing*) nélkül végezhessük.

3.1.5.3. A hegfürdő létideje

A hegfürdő egy kiválasztott pontjában az anyag megolvadása és megszilárdulása (kristályosodása) között eltelt időt a hegfürdő létidejének nevezzük. A létidő ismerete fontos a hegfürdőben végbemenő fizikai és kémiai folyamatok feltételeinek megítéléshez. A hegfürdő létidejének kiszámítási módja állandó hegesztési sebesség esetén:

$$t_{hf} = \frac{l_{hf}}{v_f}, \quad (3.11)$$

ahol:

t_{hf} s: a hegfürdő létideje,
 l_{hf} mm: a hegfürdő hossza,
 v_f mm/s: hegesztési sebesség.

A hegfürdő létideje néhány tizedtől néhány tíz másodpercig ($10^{-1} \dots 10^1$ s) terjedhet. Az ilyen rövid idő nem elégséges ahhoz, hogy az oldódási, salak- és gázkiválási, valamint az összetélt homogenizáló folyamatok lejártszódjanak, illetve a kémiai reakciók (pl. dezoxidálás) egyensúlyba kerülhessenek. Ez az oka annak, hogy a varrat amúgy is kedvezőtlen öntött struktúrájához még jelentős heterogenitások is társulnak.

A hegfürdőre ható elektromágneses- és gázerők a hegfürdőt intenzív keverésben tartják, ami a rövid létidőt a folyamatok felgyorsítása révén némiképp kompenzálja. Az erőhatások a fürdő felszínét torzítják, homorúvá alakítják, illetve egyes esetekben a fémolvadékot az ív alól kifűjják.

3.1.5.4. A hegfürdő hőmérséklete

Az állandó mozgásban lévő hegfürdő hőmérsékleteloszlása nem egyenletes, az átlagos hőmérséklet a dinamikus változások miatt még a korszerű módszerekkel is nehezen mérhető. A hegfürdő hőmérséklete az olvadáspont és a forráspont közötti sávban helyezkedik el, az ívhegesztéseknél az előbbihez, a nagy hőáramsűrűségű eljárásoknál az utóbbihoz közelebb.

Megbízható mérések szerint szerkezeti acélok bevontelektrodás ívhegesztésekor a hegfürdő átlaghőmérséklete $1600 \dots 2000$ °C közé, védőgáz, fogyoelektrodás ívhegesztésnél $1800 \dots 2400$ °C közé tehető. Összehasonlításként, a hegfürdőbe kerülő cseppek hőmérséklete ennél néhány száz °C-kal mindig nagyobb.

3.1.6. A hegfürdő kristályosodása

A hőforrás elhaladta, vagy kikapcsolása után a hegfürdő hőmérséklete gyorsan a likvidusz hőmérséklet alá csökken és a körülmények meghatározta túlhűlés után megkezdődik a hegfürdő kristályosodása.

Mint minden fázisátalakulási folyamatot, a hegfürdő kristályosodását is a szabad entalpiák szabályozzák. Egy adott hőmérsékleten az a fázis tekintendő stabilabbnak, amelynek létrejöttéhez szabad entalpia csökkenés tartozik, azaz

$$\Delta G = G_{sz} - G_f < 0, \quad (3.12)$$

ahol:

G_{sz} J: a szilárd fázis szabad entalpiája,
 G_f J: a folyadék fázis szabad entalpiája.

Ha a ΔG negatív, vagyis a folyadék fázis szilárd fázissal való felváltásával a szabad entalpia csökken, akkor a szilárd fázis energetikailag stabilabb, azaz a kristályosodás feltételei megteremtődtek. Ez megfelelő túlhűtés után következik be.

A hegfürdő kristályosodása - hasonlóan a korábban megismert kristályosodási folyamatokhoz – kristálycsírák keletkezésével, valamint a stabil kristálycsírák növekedésével jellemezhető. A kristályosodás során létrejövő kristallitok alakja, mérete és eloszlása nagymértékben kihat a varrat épségére, valamint mechanikai és egyéb (pl. korróziós) tulajdonságaira.

A kristálycsíra szerepét a fémfürdőt határoló fal (pl. tuskóöntésnél a fém kockilla), vagy a hegfürdőben található, a bázisfémnél nagyobb olvadáspontú fázisok (pl. oxidok, nitridek, karbonitridek) tölthetik be. Hasonlóan viselkednek a környezetükhöz képest jobban túlhűlő fémtérfofogatok is.

Ha idegen anyagok nincsenek jelen a fémolvadékban, akkor *homogén kristályosodásról*, idegen anyagok jelenlétében *heterogén kristályosodásról* beszélhetünk.

A *homogén kristályosodás* jellemzően színfémek alakos-, vagy tuskóöntések fordul elő. Nagytisztaságú színfémek hegfürdőjének kristályosodásakor a részben megolvadt alapanyag kristallitok (a szilárd -folyékony fázishatárok) töltik be a kristálycsíra szerepét.

A valós hegesztési feladatokban általában ötvözeteket, esetleg szennyezőket tartalmazó színfémeket kell összekötni. A többalkotós ötvözetek kristályosodása sokkal összetettebb folyamat, mint azt az egyalkotós színfémek esetében bemutattuk. A jelenség fő oka, hogy ezeknek az ötvözeteknek a dermedése nem egy konstans hőmérsékleten, hanem a likvidusz és szolidusz közötti, esetenként elég nagy hőközben megy végbe.

A hegfürdő hűlésekor az elsőként megszilárduló folyadék mennyiség a részben megolvadt alapanyag szemesék kristályosodási főirányát követi. A kristályosodás további menetét az dönti el, hogy milyen a hegfürdő fémének összetétele és milyen a hűlési sebesség. A varrat a kedvező kristálytani irányokban gyorsabban, a kedvezőtlenekben lassabban növekszik. Oszlopos, vagy dendrites növekedés lehetséges. Mindkét esetben a likvidusz-szolidusz görbeágak relatív helyzetéből adódó (a minőségi szabályt követő) kristályosodás következik be, vagyis a varrat összetétele az idő előrehaladtával változni fog, a varratban helyfüggő *heterogén összetétel* alakul ki.

A heterogenitás oka egyes komponensek kiválása, aminek hatására a később megszilárduló olvadék összetétele eltér a korábban megszilárdulttól. Ha az olvadék összetétele jelentősen megváltozik, a dendrit növekedése a főirányban leáll, és arra merőlegesen folytatja a kristályosodást, így jönnek létre a dendritágak. A közel párhuzamos dendrit főágak közötti tér vegyi összetétele el fog térni a főirányban gyorsan kristályosodó ötvözetétől, ezzel kialakul a jellegzetes heterogén varratstruktúra.

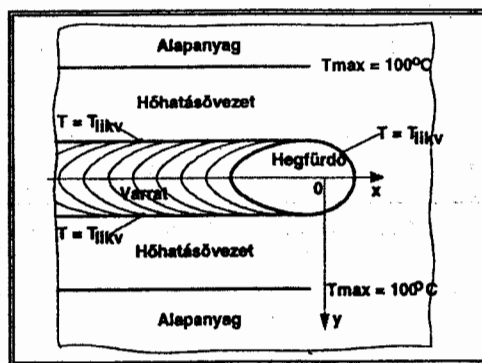
A dendritágak közötti tér nagyságát az ötvözők kiválási sebessége és a kristályosodási sebessége határozza meg. Minél gyorsabb a kristályosodás, annál finomabbak lesznek a dendritek és annál kisebb lesz a dendritágak közötti tér. A kristályosodási sebességet elsősorban a vonalenergia határozza meg, másodlagos szerepe az esetleges vibrációnak és a nagyolvadáspontú zárványoknak, mint kristálycsíráknak lehet.

3.1.7. A hőhatásövezet, mint a szilárd fázisban végbemenő fémtani folyamatok következménye

A hegesztendő alapanyagot a hideghegesztést kivéve mindig éri hőhatás, ami az anyagban szerkezeti és/vagy összetételbeli elváltozásokat okozhat. A hő által befolyásolt és szerkezetében módosított varratmenti sávok ezért tulajdonságaikat tekintve mind a varrattól, mind az alapanyagtól eltérnek.

3.1.7.1. A hőhatásövezet szerkezete és származtatása

Hegesztés közben a hőforrással együtt mozgó hegfürdőt egy, a likvidushőmérsékletet nem meghaladó, nagy hőmérsékletű zóna vesz körül, amit hőhatásövezetnek (*heat affected zone, HAZ*) neveznek (3.16. ábra). A hőhatásövezet alsó határhőmérséklete az a hőmérséklet, ami alatt már nem várható érdemleges mikroszerkezeti (szövetszerkezeti, szemcseszerkezeti) és összetételi változások. Ez acélok esetében 100 °C-ra tehető, de vannak olyan ötvözetek (pl. a szobahőmérsékleten nemesedő Al ötvözetek) amelyekben a hőhatásövezet alsó határa ennél is alacsonyabb.



3.16. ábra

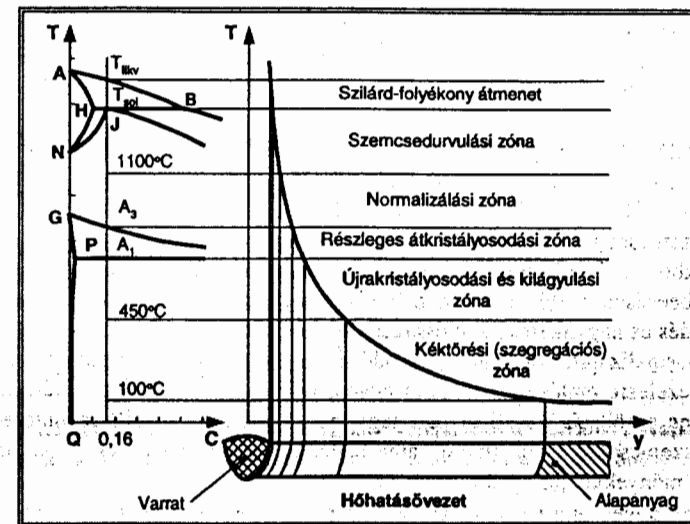
Az ömlesztőhegesztések hőhatásövezetének értelmezése

Régebbi felfogás szerint a hőhatásövezet alsó hőmérséklet-határa az optikai mikroszkópon látható elváltozáshoz tartozik, azaz acéloknál az alsó határ az A_1 hőmérséklet. Mivel hidegen alakított acéloknál a hegesztési hő hatása a megújulás és az újrakristályosodás is végbemegy, sőt az újrakristályosodás 450 °C-os küszöbértéke alatt a kis atomrádiuszú elemek (B, N, C) szegregációjára is sor kerülhet, a régebbi értelmezés ma már nem tartható fenn.

Mínthogy a hőhatásövezetben a hőmérséklet az előzőekben definiált felső és alsó határ között folytonosan változik, ezért a hőhatásövezet a benne lejátszódó folyamatok különbözősége és a fémtani folyamatok különböző sebessége miatt nem lehet homogén szerkezetű, további sávokra (zónákra) való felosztásra van szükség. A hőhatásövezet zónáinak származtatására válasszuk ki a hegesztésnél szokásos 0,1...0,22 % közötti alapanyag-karbondaralom középértékét, a $C=0,16\%$ -ot! Ez azért is előnyös választás, mert ez az $Fe-Fe_3C$ metastabil állapotábra jellegzetes (I)

pontjának karbon-koncentrációja, ahol a jól ismert peritektikus reakció után sem olvadékfázis, sem δ szilárd oldat nem marad vissza.

A 3.17. ábra az $Fe-Fe_3C$ állapotábra $C \leq 0,5\%$ alatti szakaszát és a T_{max} hegesztés közbeni csúcshőmérséklet y (a hőforrás haladási irányára és a vastagság-irányra merőleges koordináta) irányú eloszlását tartalmazza. Az ábra csak kvalitatív elemzésre alkalmas, mivel az acélok a vason és karbonon kívül egyéb elemeket is tartalmaznak, az átalakulások nem egyensúlyi körülmények között mennek végbe és a csúcshőmérséklet-eloszlás az alapanyagon kívül a technológia függvénye. Az elemzés az adott y koordináta-hoz tartozó valós hűlési sebesség és az alapanyag folyamatok hűtésre érvényes C görbéje alapján pontosítható.



3.17. ábra

A hőhatásövezet zónái (alövezetei) és származtatásuk $C=0,16\%$ karbondaralmú ötvözetenlen lágacél esetében

A hőhatásövezet zónáinak elnevezését és a egyes zónák felső és alsó határhőmérsékletét a 3.4. táblázatban foglaltuk össze.

3.4. táblázat

Sorszám	A zóna neve	T_{max} , °C	T_{min} , °C
1	Szilárd-folyékony átmenet zónája (összeolvadási zóna)	T_{likv}	T_{sol}
2	Szemcsedurulási zóna	T_{sol}	1100
3	Normalizálási zóna	1100	A_3
4	Részleges átkristályosodási zóna	A_3	A_1
5	Újrakristályosodási és kilágyulási zóna	A_1	450
6	Kéktörési (szegregációs) zóna	450	100

Ötvözetenlen acélok hőhatásövezeti zónáinak hőmérséklet-határai

A hőhatásövezet tulajdonságairól napjainkban már igen sok információ áll rendelkezésünkre, mert az empirikus megfigyelések és a korábbi vizsgálatok eredményei mellett ma már a hőhatásövezet bármely pontjának hőciklusát direkt erre a célra kifejlesztett hőciklus – szimulátorokkal (*Thermal Cycle Simulator, TCS*) szimulálni lehet. Egy új acél típus hegeszthetőségi tesztelése hőciklusszimulátor nélkül ma már elképzelhetetlen.

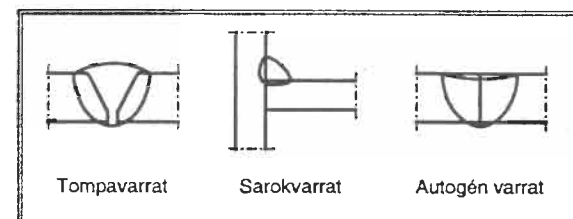
3.1.7.2. A hőhatásövezet zónáinak jellegzetes tulajdonságai

A hőhatásövezet egyes metallográfiaiailag elkülöníthető sávjainak jellegzetes tulajdonságai lehetnek. Ezek a tulajdonságok azonban csak technológiához kapcsolatos és statisztikai szemlélettel értelmezhetők, következésképpen egyik acélfajtáról (vagy általánosabban egyik ötvözetről) nem vihetők át automatikusan egy másikra. A hőhatásövezeti zónák jellegzetességei a szerkezeti acélokban a következők.

1. A szilárd-folyékony átmenet zónája nagyon keskeny sáv a lehető legnagyobb hűlési sebességgel. Edződésre hajlamos acélokban, különösen H jelenlétében a varratfelülettel párhuzamos repedések várható helye.
2. A szemcsedurvulási zóna a nevének megfelelően nagyra nőtt austenit szemcsékből átalakult bomlástermékeket tartalmaz. Kedvezőtlen körülmények egybeesésekor ebben a zónában kismértékű szilárdságcsökkenés, felkeményedés és nagymértékű szívósságcsökkenés fordulhat elő.
3. A normalizálási zónában lejátszódó hőciklus leginkább a normalizálás nevű hőkezelésre emlékeztet. A nem egyensúlyi viszonyok miatt a hűléssebesség ebben a hőhatásövezeti sávban nagyobb, mint a normalizálás léghűtése után. A szemcseszerkezet finom, ami szilárdságnövekedéssel és jó ütőmunka eredményekkel jár együtt.
4. A részleges átkristályosodási zónában az $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ átalakulás nem teljes, emiatt változó szemcseméretű, részben az eredeti szemcséket megőrző, részben új szövétű szemcséket eredményező szemcseszerkezet alakul ki átlagos, vagy annál kissé rosszabb mechanikai jellemzőkkel.
5. Az ötödik zónában csak akkor érzékelhető valamilyen mikroszkópikus változás, ha ezek kiindulási feltételei adottak (innen származik a régi felfogás, ami nem vesz tudomást erről a sávról). Ha az alapanyagot hidegen alakított állapotban (hőkezelés nélkül) hegesztjük, akkor ebben a sávban a hidegalakítás következményeinek megszűnését eredményező megújulási és rekristallizációs folyamat indul meg, (az idő rövidsége miatt azonban nagy valószínűséggel nem fejeződik be). Hasonló a helyzet, ha nem hidegalakítással, hanem hőkezeléssel felkeményített acélt hegesztünk, mivel itt a martensites és cementites (karbidos) szövetek kilágyulása kezdődik el.
6. A legkisebb hőmérsékletű kéktörési zónában kis atomsugarú kémiai elemek diffúziós szegregációja várható, aminek szilárdságnövelő és alakváltozóképeséget csökkentő hatása kedvezőtlen esetben jelentős szívósságcsökkenéshez, sőt repedéshez vezethet. Inkább a régebbi, rossz minőségű, sok N-t tartalmazó levegőfrissítésű acélokra volt jellemző. Főleg akkor érdemes megkülönböztetett figyelmet, ha régi acélokat kell hegesztéssel javítani vagy új alkatrészt kell régihez hegeszteni.

3.2. A LEGFONTOSABB ÖMLESZTŐHEGESZTŐ ELJÁRÁSOK

Az ömlesztőhegesztés olyan folyékony fázisú hegesztés, ahol a szerkezet elemeinek megolvadt állapot közötti kötés közös megolvasztásból való kristályosítással hozza létre nyomóerő alkalmazásával, vagy anélkül. Az ömlesztőhegesztések döntő többségében megolvadó hozaganyagot is felhasználnak, aminek funkciója a két elem közötti hézag kitöltése és/vagy a varratdudorok anyagának biztosítása. (3.18. ábra). Szoros illesztésű elemek dudornélküli kötése hozaganyag nélkül is elkészíthető (autogén hegesztés).



3.18. ábra

Ömlesztőhegesztéssel készíthető varratfajták

Az ömlesztőhegesztések *előnye*, hogy az elemek közötti állandó, vagy változó méretű hézag kitölthető és az így létrehozott varrat még tetszőleges méretű dudorokkal is megerősíthető. Az olvadákfázisból kristályosodó varratot ugyanolyan kötérek jellemzik, mint az alapanyagot, ezért a kötés erőtanilag homogénként kezelhető. A hozaganyag lehetővé teszi a kötés ötvözöttségi és tisztasági fokozatának javítására és az alapanyagok közötti esetleges kompatibilitási problémák feloldására.

Ugyanakkor a *megolvadás* → *olvadék állapot* → *megszilárdulás* körfolyamatból adódik az ömlesztőhegesztések csaknem összes nehézsége és problémája, nevezetesen a megolvadással együtt járó magas hőmérséklet és kísérő tünete, a szemcsedurvulás, az olvadákfázis magas gázfelnyelő képessége, a jellemzően dendrites kristályosodás, rideg vegyületfázisok képződésének lehetősége, a kristályosodási repedésképződési hajlam, az elnyelt gázok szilárd állapotbeli kiválása és az egyenlőtlen hőtágulás – hőszugorodás okozta húzófeszültségek megjelenése.

3.2.1. Ívhegesztések

Az ömlesztőhegesztések a tanult hőforrások közül a kémiai energiát, a villamos ívet, a plazmaívet, a folyadék Joule hőjét és a sugárenergiákat hasznosítják. Legfontosabb hőforrás mindezek között a villamos ív, ami az ipari ömlesztőhegesztési feladatok több, mint 90 %-át uralja.

3.2.1.1. A villamos ív, mint az ívhegesztések hőforrása

A villamos ív a hegesztési hőforrásként azért tett szert nagy népszerűsége, mert energetikai jellemzői megfelelően nagyok, ugyanakkor létrehozása, fenntartása és szabályozása relatíve egyszerű és gazdaságos. Jobban el tudjuk helyezni az ív hőforrást az öt megillető vezető helyre, ha arra gondolunk, hogy bizonyos hőforrasok, mint pl. a láng nem elég nagy hőáramsűrűségűek, mások, mint pl. a lézersugár drágák, nem eléggé jól hordozhatók és kezelésük különleges képzettséget igényel. Az ív ezek szerint a gazdaságos középútnak számít, ami a hőforrástól elvárt tulajdonságok sokszempontú optimumát testesíti meg.

A villamos ív az áramvezetés különleges formája, amely ionizált gázokból és (fém)gőzökből álló áramvezető csatornában, nagy hőmérsékleten alakul ki. Definíciója szerint a villamos ív gázközegben szilárd és/vagy folyékony elektrodok/elektródák között tartósan fenntartott ívkisülés.

A definícióhoz hasonlóan a továbbiakban is megkülönböztetjük az *elektród* és az *elektróda* fogalmakat: az elektród a hegesztés során nem olvadó, a valóságban igen lassan fogyó anyagot, az elektróda leolvadó, a hegesztés során elhasználódó, gyorsan fogyó anyagot jelöl. Pl. elektród az SWI hegesztés volfrámja, elektróda a bevonatos és a csupasz huzal formájú hozaganyag, ha egyik végén hegesztés közben ívtalppont helyezkedik el.

Ívkisülés

Az ívkisülés gázközegben lejátszódó villamos jelenség, amelynek során valamilyen belső vagy külső hatásra az elektródok közötti tér villamos vezetővé válik, vagyis létrejön a gázközegen keresztüli töltésáramlás szükséges feltétele. A meghatározó töltéshordozók az ionok, amelyek keletkezésüket és megszűnésüket illetően dinamikus egyensúlyban vannak.

A töltéshordozók létrejöttének folyamatát *ionizációnak* nevezzük. Az ionok keletkezéséhez szükséges energia erőteljesen függ a gázközeg összetételétől és a gázközeg állapotnyezzeitől (hőmérséklet és nyomás).

Gázközeg

Ionok kis mennyiségben az elektródok elgőzölgése révén az ívtérbe kerülő fémgőzökből is keletkezhetnek, de döntő hányaduk az elektródok közötti térben elhelyezkedő gázokból jön létre, ezért gázközeg nélkül hegesztésre alkalmas ívet nem lehet létrehozni és fenntartani.

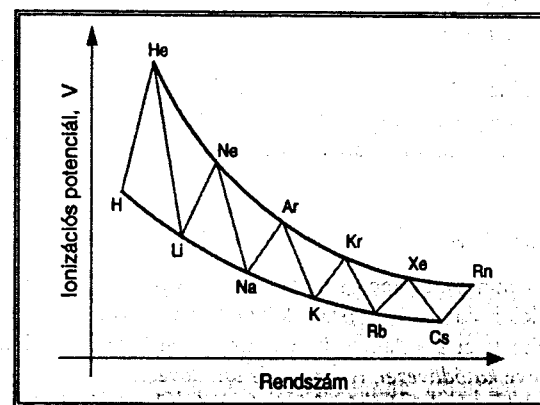
A hegesztőív legkézenfekvőbb gáza a levegő lehetne, amely jól ionizálható komponenseket (nitrogén, oxigén, hidrogén, nemesgázok) tartalmaz. Mivel a levegő alkotói a fémekkel nemkívánatos kölcsönhatásokba (kémiai reakció, oldódás) lépnek, jelenlétük a hegesztéskor nem kívánatos. Hegesztési célra legideálisabbnak a nemesgázok (Ar, He) tekinthetők, amelyek a technikai fémekkel sem reakcióba nem lépnek, sem bennük nem oldódnak. Magas előállítási költségük miatt gyakran olcsóbb gázokkal helyettesítik őket, még akkor is, ha a nemkívánatos aktivitásuk semlegesítésére külön intézkedéseket kell tenni (pl. dezoxidáns elemek és nitridképzők hegfürdőbe juttatása).

A gázközeg ionizációja

Az ionizációs folyamatban semleges atomokból elektronleadással pozitív ionok, elektronbefogadással negatív ionok képződnek. Az elektronok a külső elektrópályákról távoznak, vagy az ionizációs folyamatban oda kerülnek.

A folyamat *endoterm* (külső energiaforrást igényel) és *reverzibilis* (a rekombináció bekövetkezik, ha annak energiakritériuma teljesül).

A kémiai elemek ionizációjához szükséges energia a rendszámmal összefüggő elektronszerkezettől függ. A periódusos rendszer azonos oszlopában található elemek közül legnehezebben a telített külső héjas nemesgázok ionizálhatók, legkönnyebben azok az elemek, ahol a telítettséghez (a nemesgáz-konfigurációhoz) egy elektron hiányzik vagy egy elektrontöbblet van (3.19. ábra).



3.19. ábra

Az elsődleges ionizációs potenciál és a rendszám összefüggése

A hegesztőív gázainak és fémgőzeinek ionizációs potenciálja különböző, az intervallum a céziumhoz (Cs) tartozó legkisebb értéktől (3,89 V) a héliumot (He) jellemző legnagyobb értékig (24,59 V) terjed.

Az ionizáció energiaszükségletét külső sugárzással (*fotoionizáció*), a hőmérséklet növelésével (*termikus ionizáció*), vagy felgyorsított elektronok becsapódásakor átadott kinetikus energiával (*ütközési ionizáció*) lehet fedezni. Ionizáció akkor következik be, ha a közölt energia nagyobb az ionizáció energiagigényénél.

A hegesztéshez használt villamos ívben a legfontosabb a hőmérséklet szerepe, másodlagos forrásként az ütközési ionizáció jelölhető meg.

Plazma, plazmaív

Az ionizált gázt plazmának nevezik. Az elméleti plazmában minden részecske (atom, molekula) ionizálódott, a technológiai plazmában (plazmaív plazmája) és a villamos ív plazmájában az ionokon kívül semleges részecskék is találhatóak. Az ionizáció mértéke az ív fontos jellemzője, mert ettől függ az ív ellenállása, hőmérséklete, áramsűrűsége, hőáramsűrűsége és foltátmérője. Definíciója:

$$d_i = \frac{n_i}{n_0} \cdot 100\% , \quad (3.13)$$

ahol:

- d_i , %: az ionizáció foka,
 n_i , db: az ionok száma,
 n_0 , db: az összes atom és molekula együttes száma az ionizáció előtt.

Ha az ionizáció foka 40 %, az azt jelenti, hogy minden eredeti 100 atom és molekula közül 40 ionizálódott és 60 töltésnélküli maradt. Csak az elsődleges ionizációt tekintve, az elektronok száma azonos a pozitív ionokéval. A hegesztőívben és a plazmaívben az ionizáció foka eltérő, az ívben 30...40 %, a plazmaívben ennek hozzávetőlegesen a duplája.

Az ionizáció és a rekombináció az ív állandósult állapotában kiegyenlíti egymást, ezért az ívben dinamikus egyensúly valósul meg. Mivel a villamos ívszlopban a pozitív és a negatív töltések száma statisztikusan egyenlő, a villamos ív kifelé villamosan semlegesnek tekinthető. A semlegesség nem áll fenn az elektródok közvetlen közelében, ahol valamelyik töltés túlsúlyba kerül és ún. *tértöltés* keletkezik.

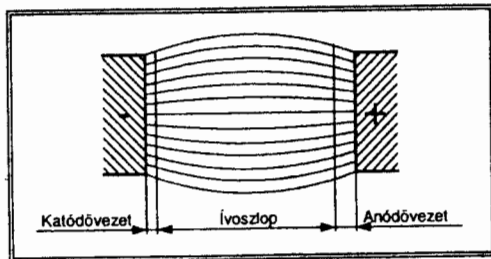
Az ív hosszanti szerkezete

A villamos ív minden esetben szilárd vagy folyékony állapotú elektródok között ég. A két elektróda közötti részt ívköznek, más szóval ívtérnek nevezzük. A 3.20. ábrán is láthatóan a villamos ív hosszirányban három jól elkülönülő részre osztható, ezek neve *katódövezet*, *ívszlop*, és *anódövezet*.

Az ív és az elektróda érintkezési felületét az ív talpfoltjának (kevésbé precízen talppontjának) nevezik. Az ív éghet két elektród(a) között (közvetett vagy indirekt ív) vagy egy elektród(a) és a munkadarab között (közvetlen vagy direkt ív). Hegesztésre jobb hatásfoka miatt az utóbbi terjedt el.

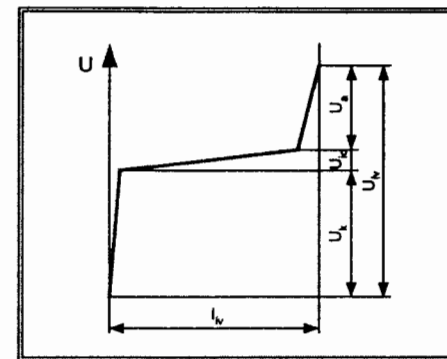
Az ív hosszanti potenciáeloszlása

A villamos ív hossz tengelye menti potenciáeloszlása nem egyenletes, mivel a tértöltésekkel rendelkező keskeny sávok leküzdése nagy energiát igényel, ezért ott a potenciálváltozás (*potenciálgadiens*) is nagyobb (3.21. ábra).



3.20. ábra
A villamos ív részei

Az ív legnagyobb kiterjedésű része az *ívszlop*, amelyben a villamos térerősség állandónak tekinthető. Az ívszlopban az ív normál fogyasztóként viselkedik, amely az *Ohm törvényt* követi. Tértöltés nincs, a pozitív és a negatív töltések dinamikus egyensúlyban vannak. Az ívszlop U_0 feszültségese ennek megfelelően csak az ívszlop l_0 hosszától függ.



3.21. ábra
A villamos ív hosszanti potenciáeloszlása

A feszültséggradiens az ívszlopban átlagos körülmények között 1...3 V/mm-re tehető, ami azt jelenti, hogy egy 4 mm-es ívszlop feszültségese 4...12 V közötti.

Ha az ívszlop hosszát folyamatosan csökkentjük, akkor azt tapasztaljuk, hogy a feszültség nem zérushoz, hanem egy 10...20 V közötti U_c feszültséghez tart. Az U_c feszültség a villamos tértöltésekkel összefüggő U_k katódésés és U_a anódésés összege:

$$U_c \cong U_k + U_a . \quad (3.14)$$

A bevontelektródás ívhegesztésre az EN 60974-1:1998 szabvány által meghatározott feszültségegyenes egyenlete:

$$U_{iv} \cong 20 + 0,04 \cdot I , \quad (3.15)$$

ami azt jelenti, hogy ennél a hegesztőeljárásnál az U_c feszültség statisztikus átlagban 20 V-os.

A katód felületének szűk környezetében, a *katódövezet*ben a pozitív ionok túlsúlya miatt pozitív tértöltés alakul ki, amelynek legyőzésére igen nagy térerősségre van szükség. A katódövezet ívtengely irányú mérete 10^{-5} mm-re tehető. A két számérték szorzata alapján a katódésés nagysága tíz volt nagyságrendben mozog (10...18 V). Egyes nézetek szerint a katódésés megközelítőleg a gázközeg ionizációs potenciáljával azonos értékű.

Az anód felületének szűk környezetében, vagyis az *anódövezet*ben az elektronok túlsúlya miatt negatív tértöltés alakul ki, amelynek legyőzésére jelentős térerősségre van szükség. Az anódövezet ívtengely irányú mérete 10^{-4} mm-re tehető.

A két számérték szorzata alapján a katódcsés nagysága szintén tíz volt nagyságrendben mozog, de értéke kisebb, mint a katódcsésé (6...12 V).

Az ívfeszültség nagysága

A (2.18.) összefüggés szerint katódcsés és az anódcsés összege az ívhossztól függetlenül konstans, az ívoszlop feszültségcsésé ezzel szemben az ívhossztól függ. Ennek alapján könnyen belátható, hogy az ív létrehozásához egy minimális U_c feszültség szükséges, ezen túlmenően az ívfeszültség az ívhossz (jó közelítéssel) lineáris függvénye.

Ha pl. egy adott bevontelektrodás ívhegesztési esetben a katódcsés 12 V, az anódcsés 8 V, az ívoszlop feszültséggradiense 2,0 V/mm és az ívhossz 3 mm, akkor a becsült ívfeszültség:

$$U_{iv} \cong U_k + U_a + \frac{\partial U}{\partial l} \cdot l_{iv} = 12 + 8 + 2 \cdot 3 = 26 \text{ V}.$$

Összehasonlításul ugyanerre az esetre 150 A hegesztőáramot beállítva a (2.19.) képlettel adott feszültségcsésé szerint:

$$U_{iv} \cong 20 + 0,04 \cdot 150 = 20 + 6 = 26 \text{ V}.$$

Összefüggés az ívfeszültség és a hegesztő áramerősség között: a statikus ívjelleggörbe

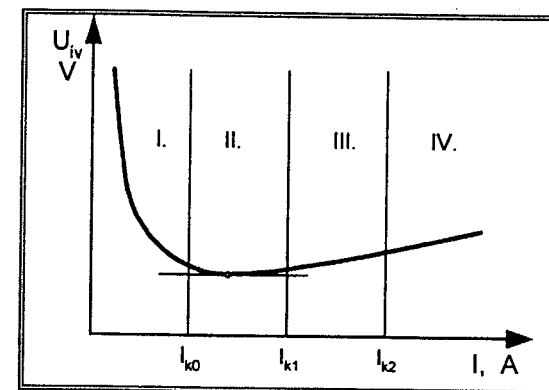
A villamos ív (adott határokon belül) különböző áramerősség és ívfeszültség-tartományokban egyaránt fenntartható. A feszültség – áramerősség görbét az ív *statikus jelleggörbéjének*, más szóval *statikus karakterisztikájának* nevezik. A statikus ívkarakterisztika ismerete fontos információ a hegesztőmérnök, a hegesztőgép-gyártó és a hozaganyagelőállító számára.

A 3.22. ábrán bemutatott ívjelleggörbének több azonosító adata van. A teljes egyértelműség kedvéért egy adott jelleggörbéhez a következő adatok ismeretere van szükség:

- katód anyaga,
- katód geometriája és méretei,
- anód anyaga,
- anód geometriája és méretei,
- elektródok hűtése,
- elektródok távolsága (ívhossz),
- ívatmoszféra összetétele,
- ívatmoszféra nyomása,
- áramfolytonosság,
- áramnem,
- polaritás (egyenáram esetén),
- az impulzus jellemzői (nem folytonos ív esetén),
- áramerősség.

A különböző elektród(a) átmérőkkel létrehozott hegesztőívek összehasonlíthatósága érdekében a be kell vezetnünk a J (A/mm^2) áramsűrűségét:

$$J = \frac{I_h}{A_e} = \frac{4 \cdot I_h}{d_e^2 \cdot \pi} \quad (3.16)$$



3.22. ábra

A hegesztőív statikus jelleggörbéje, az ívkarakterisztika

A hegesztőív statikus jelleggörbéjén az áramsűrűségnek megfelelően négy jellegzetes szakasz különíthető el:

- I. kis áramsűrűségű (eső) szakasz,
- II. közepes áramsűrűségű (közel vízszintes) szakasz,
- III. nagy áramsűrűségű (emelkedő) szakasz,
- IV. igen nagy áramsűrűségű (forgóíves) szakasz.

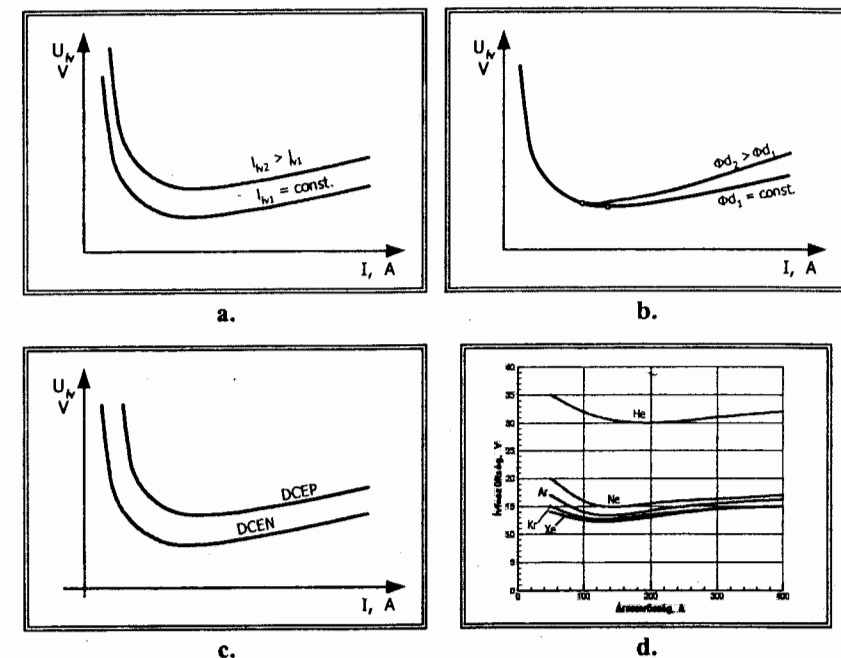
A villamos ív eső szakaszát hegesztésre nem használják. A közepes áramsűrűségű szakaszon működnek a kézi (*SWI* és *BKI*) és a vastaghuzalos gépesített (*FH*) hegesztések. A nagy áramerősségű szakasz a vékonyhuzalos fogyóelektrodás hegesztésekre (*VFI*) jellemző. A múlt század kilencvenes éve óta ismert forgóíves szakaszon igen szoros feltételek betartásával ma már szintén képesek vagyunk hegeszteni.

Az ívkarakterisztika befolyásolása technológiai eszközökkel

A korábbiakban bemutatuk, hogy a villamos ív létesítésének és fenntartásának körülményei milyen tényezőktől függenek. A felsorolt tényezők közül az ömlesztőhegesztés gyakorlati eseteiben az ívhossz, az elektród(a)átmérő, az áramnem és polaritás, valamint az ívtér gázatmoszférájának összetétele játszik elsődleges szerepet.

A 3.19.a. ábra szerint az ívfeszültség az ívhossz lineáris függvénye: hosszabb ívhez nagyobb ívfeszültség tartozik, rövidebbhez kisebb. Azt a leghosszabb ívhosszúságot, amellyel még az ív fenntartható, de amelynél kissé hosszabb ívköznél az ív megszakad, *szakadási ívhossznak* (l_{sz}) nevezzük. A szakadási ívhossz első sorban a hozaganyag jellemzője, de nagyságát a hegesztés további paraméterei és

az áramforrás tulajdonságai is befolyásolják. A szakadási ívhossz általában 10 és 30 mm között változik, de egyéb megfontolásból a hegesztést ennél jóval alacsonyabb (1...5 mm) ívhosszúsággal ajánlatos végezni.



3.23. ábra

A hegesztés technológiájának hatása az ívkarakterisztikára

A 3.19.b. ábra azt szemlélteti, hogy az elektródaátmérő az ív talpójának lehetséges legnagyobb átmérőjét, ezen keresztül az ív viselkedését befolyásolja a telített (vízszintes, emelkedő és forgóíves) karakterisztika szakaszokban. Az ábra szerint kisebb átmérő esetén az ívkarakterisztika gyorsabban emelkedik, mivel azonos mértékű töltéshordozó-növekedéshez nagyobb áramsűrűség-növekedés tartozik. Az ívkarakterisztika meredekebb emelkedése nagyobb ívfeszültségű hegesztést eredményez, ami az ív-hőforrás hőáramát és hőáramsűrűségét növelve a hegesztés teljesítményét is fokozza. A hegesztési gyakorlatban a bemutatott jelenséget a vékonyhuzalos hegesztés előnyben részesítésével és a nemolvadó *W* elektród kihegyezésével igyekeznek hasznosítani. (A *W* elektród teljes hosszúságra kiterjedő átmérőjét áramterhelhetőségi-hűtési okokból nem tanácsos csökkenteni).

Az áramnem és a polaritás hatása a 3.19.c. ábrán követhető. Fizikai kísérletekben a villamos ívet nemesgázban, két jól hűtött *W* elektród között hozzák létre, mivel így a vizsgálatok jól reprodukálható, állandósult körülmények között, hosszabb időn keresztül, kényelmesen végezhetők. A hegesztőív ennél sokkal bonyolultabb viszonyok között ég.

Egyenáramú (*DC*) hegesztésnél a polaritás azért lényeges, mert a katód és az anód anyaga, alakja, mérete, hőmérséklete, felületi szennyezettsége erősen eltérő.

Vegyük azt az esetet, amikor *Ar* gázban, kihegyezett *W* elektród és fémtiszta acéllemez között ég az ív (*AWI* hegesztés). Amikor a *W* elektród a negatív pólusra van kötve (*Direct Current Electrode Negative: DCEN*), akkor a kistömegű, ezért nagyobb hőmérsékletű, jó emitternek számító, kihegyezett elektród emittálja az ütközési ionizációhoz nélkülözhetetlen elektronokat, az ív keltéséhez és fenntartásához a körülmények ideálisak. Ez az ún. *egyenes polaritás* esete. Az egyenes polaritáshoz alacsonyabb ívfeszültség tartozik (2.19.c. ábra).

Fordított polaritáskor (*Direct Current Electrode Positive: DCEP*) a hidegebb, rosszabb emitter acél a katód, ahol az ív talpja is esetleges helyzetű. Ekkor az ív fenntartásához nagyobb energiabefektetésre, következésképpen azonos áramerősség eléréséhez nagyobb ívfeszültségre van szükség.

Váltakozóáramú (*AC*) ív esetén a polaritás félperiódusonként változik, vagyis az Európában szokásos 50 Hz-es hálózat esetén másodpercenként százszor. Az ívkarakterisztika hozzávetőlegesen a *DCEN* és *DCEP* közötti sáv közepén helyezkedik el. A váltakozóáramú ív félperiódusonkénti kialakulása, majd kis szünet utáni újragyulladás a hegesztési folyamatra nézve kedvezőtlen és csak különlegesen indokolt esetben (mint például az alumínium hegesztése) kerül alkalmazásra.

Az ívtér gázatmoszférája fizikai tulajdonságain keresztül befolyásolja az ívjelleggörbét 3.19.d. ábra (*SWI*-nél a gázatmoszféra közel száz százalékban nemesgáz atomokat és ionokat tartalmaz, ezért az ívkarakterisztika azonos egyéb körülmények mellett az adott gázt jellemzi. Argon gáz használatakor (európai gyakorlat) az ív kis feszültséggel tartható fenn, mivel az *Ar* gáz ionizációs potenciálja ($U_i = 15,76 \text{ V}$) viszonylag alacsony.

Ar helyett az Európában mintegy háromszor drágább *He*-ot alkalmazva (amerikai gyakorlat, ott az árak közel azonosak) az ívfeszültség közel duplájára növekszik. A jelenség oka a *He* nagyobb ($U_i = 24,59 \text{ V}$) ionizációs potenciálja. *Ar* és *He* keverékével a két szélső érték között tetszőleges ívkarakterisztika állítható be, amit a hegesztési gyakorlatban egyre több esetben alkalmaznak is. A természetben kis mennyiségben előforduló további nemesgázok (*Ne*, *Kr*, *Xe*) viselkedése az *Ar*-hoz közelálló (2.19.d. ábra).

A villamos ív átlagos hőmérséklete és hőmérsékleteloszlása

A villamos ív átlagos hőmérsékletét először kalorimetrikus méréssel állapították meg. Úgy találták, hogy az átlagos ívhőmérséklet az ívtér gázösszetétele (ionizációs energiaszükséglete), az ionizáció mértéke és az ív átmérője szerint 5 000 és 30 000 °C között változik. Az alacsony ionizációs potenciálú *BKI* ív hőmérséklete az alsó határ közelében van, *Ar* gázban az ívhőmérséklet nagyobb és még tovább növelhető *He* védőgáz felhasználásával. Az ionizáció mértékének növelése és egyúttal az ívoszlop átmérőjének csökkentése a plazmaívré jellemző magas hőmérsékleteket (15 000...40 000 °C) eredményezi.

Korszerű mérési módszerekkel a villamos ív hőmérsékleteloszlása is feltérképezhető. Az ívben a legnagyobb hőmérséklet az ívtengelyben uralkodik, ahol az ionizáció foka a legmagasabb és ez a tengelytől radiális irányban távolodva exponenciálisan csökken. Főleg egyenáramú hegesztésnél a hőmérséklet axiális irány-

ban is változik, pl. magasabb a W elektród csúcsánál, mint a munkadarab felületén. Ez elsősorban a hűlési viszonyok különbözőségével áll összefüggésben.

A villamos ív hőárama és hőáramsűrűsége

A villamos ív hőáramát a (2.3.) összefüggéssel számíthatjuk. Vegyünk egy gyakorlati esetet, amely $d_e=1,2\text{ mm}$ -es tömör huzalos, kevertvédőgázas VFI hegesztésre vonatkozik. Legyen a hegesztő áram (DC) erőssége $I_h=250\text{ A}$, az ívfeszültség $U_{iv}=26\text{ V}$. A termikus hatásfok az EN 1011-1:1998 alapján $\eta_i=0,8$.

Az ív hőárama:

$$\Phi = \eta_i \cdot U_{iv} \cdot I_h \cdot \cos \varphi = 0,8 \cdot 26 \cdot 250 \cdot \cos 0^\circ = 5200\text{ W}$$

A hőáramsűrűség maximuma (a d_h hőfoltátmérőt az elektródahuzal átmérőjével azonosítva):

$$q_0 = \frac{4 \cdot \Phi}{d_h^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 5200}{1,2^2 \cdot \pi} \approx 4598 \frac{\text{W}}{\text{mm}^2}$$

A közölt számpéldában szereplő villamos ívet néhány kW hőáram és néhány ezer W/mm^2 -es hőáramsűrűség jellemzi. A hőáramsűrűség az ívre jellemző tartomány felső részében helyezkedik el, de nem éri el a nagy hőáramsűrűségű megkülönböztető megnevezéshez szükséges $10\text{ kW}/\text{mm}^2$ -es alsó határértékét.

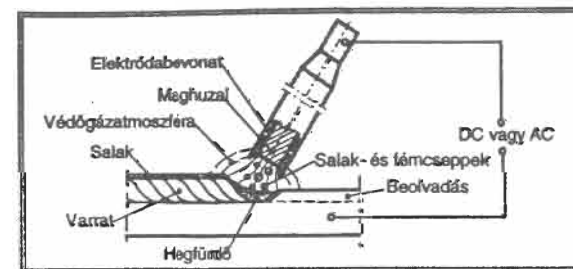
3.2.1.2. Bevontelektrodás kézi ívhegesztés

A bevontelektrodás kézi ívhegesztés (BKI) az egész világon ismert és páratlanul népszerű hegesztő eljárás. A csupasz elektrodás ósváltozat feltalálása (1891) az orosz *Slavianow*, a bevonat felvitelének ötlete és megvalósítása (1904) a svéd *Kjellberg* nevéhez fűződik. Az eljárás nemzetközileg elfogadott mai elnevezése: *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*, de Európában a *Manual Metal Arc Welding (MMAW)* elnevezést is használják. Az eljárás egyezményes kódszáma: 111 (főcsoport: 1. jelű ívhegesztés, alcsoport: 11. jelű nyíltívű hegesztés).

A bevontelektrodás kézi ívhegesztés elve

A bevontelektrodás kézi ívhegesztés hőforrása egy zömében nemfémes bevonattal ellátott, rövid fémelektroda és a munkadarab felülete között létesített villamos ív. Hegesztés közben a bevonatból a védelemhez szükséges gáz és salak képződik. Hozaganyagként maga a maghuzal szolgál, de kisebb-nagyobb mennyiségben a bevonatból is kerülnek fémötvtvők a hegfürdőbe.

A BKI elvét bemutató vázlat a 3.24. ábrán látható. Az ívet az elektróda tárgyhoz érintésével létesítjük. A pillanatnyi idejű rövidzárlat felhevíti az elektróda csúcsát, ahonnan a termikus emisszió révén elektronok lépnek ki és az anód felé tartva ütköznek a gáztér atomjaival. Megfelelő mennyiségű töltéshordozó jelenlétében az ív meggyullad és önmagát fenntartó folyamat révén állandósul.



3.24. ábra

A bevontelektrodás kézi ívhegesztés elvi vázlata.

Az ív hőjének hatására a maghuzal közepes vagy nagyméretű cseppek formájában leolvad. A cseppek (főleg rövid ívhossz és nagy cseppátmérő esetén) rövidzárlatokat is okozhatnak. A nemfémes bevonat hevítése közvetett, a benne található anyagok elégeése vagy megolvadása lassabban következik be, így jellegzetes kúpos bevonatvég jön létre. A bevonatkúp javítja az ív védelmét és csökkenti a fröcskölést.

Az eljárás levegő elleni védelme

A bevonatból keletkező gázok (CO , CO_2 , H_2 , O_2 , SiF_4) és az ív hőmérsékletén elgőzölög fémek (Fe , Mn , Cr , Ni , Mo , V , Ti , Al , Zr , Ca , Mg , Na , K ,...) alkotják a hegesztési atmoszférát. Ahogy a felsorolásból is látható, ez az atmoszféra nem inert, de még semlegesnek sem mondható. A BKI mindig aktív (oxidáló) atmoszférában megy végbe. Ezt a tényt az elektróda-bevonat receptúrájának kidolgozásakor figyelembe kell venni. A védelem másik aktív megvalósítója az elektróda-bevonatból keletkező salaktakaró. A salak a levegőatmoszférától mechanikusan elszigeteli a hegfűrdőt és a hegvarratot, emellett kémiai és fizikai aktivitásával további védelmi funkciókat lát el.

Az eljárás előnyei és hátrányai

A BKI olyan előnyökkel rendelkezik, amelyek mintegy hetven évig az alkalmazási ranglista első helyét biztosították számára:

- olcsó, egyszerű, hordozható hegesztő berendezés,
- könnyen megtanulható hegesztéstechnika,
- csaknem minden anyagféleséghez megfelelő széles elektróda-választék,
- minden hegesztési helyzetben használható,
- minden falvastagsághoz alkalmas,
- infrastruktúrával nem rendelkező, civilizálatlan helyeken is alkalmazható,
- elfogadható leolvadási teljesítmény és hegesztési sebesség, ami speciális elektródákkal még tovább növelhető (megdupláozható).

Az eljárás hátrányai a következőkben összegezhetők:

- az elektródacseré miatt ismételtlen megszakított hegesztés,
- sok mellékidő (elektrodcseré, salakolás, fröccsnyomok eltávolítása),

- egészségre ártalmas gőzök és gázok fejlődése miatt elszívás szükséges,
- a legjobb minőséget adó elektródákat felhasználás előtt szárítani kell,
- kis áramsűrűség, kis beolvadási mélység,
- nehezen gépesíthető, a gépesített változatok elterjedtsége közel nulla.

A BKI eljárás előnyei és hátrányai a minőségi és a gazdaságossági tényezők együttes értékelésével ítéltethők meg. A BKI kommersz, sokoldalú, gazdaságos, mindennapi eljárásnak tekinthető.

A BKI eljárás alkalmazási területei

A BKI a legtöbb acélhoz és néhány nemvasfém hegesztéséhez alkalmas eljárás. Az ötvözetlen és ötvözött szerkezeti acélok, a melegsziárd és hidegálló acélok, az erősen ötvözött különleges acélok és néhány, jobbminőségű öntöttvas egyaránt hegeszthető. A nemvasfémek közül a Ni és Cu ötvözetek hegesztése jól elvégezhető, de Al-t és Al ötvözeteket ma már nem hegesztenek BKI-val.

A BKI a kötőhegesztések mellett a felrakóhegesztések és javítóhegesztések élenjáró, sokoldalú eljárása. Igen nagy tömegben csövezetékek helyszíni varratának készítésére is használják.

Falvastagság, hegesztési hely és hegesztési helyzet tekintetében az eljárásnak nincsenek technikai korlátai. Az 1 mm-nél vékonyabb lemezekhez (pl. gépjármű karosszériamunkák) alkalmazása azonban nem gazdaságos és ezért erre a célra ma már megfelelő hegesztőanyagot, és hegesztőberendezést sem gyártanak. Ugyancsak gazdaságtalan és ezért az utóbbi húsz évben fokozatosan csökkent a nagy falvastagságú szerkezetek bevontelektrodás hegesztésének aránya is.

A BKI gépi berendezése

A BKI egyszerű hegesztő berendezése a következő fő részekből áll:

- áramforrás,
- elektródafogó,
- hegesztő kábelek a csatlakozókkal,
- kiegészítők és biztonsági felszerelések.

Az **áramforrás** a hegesztő berendezés központi eleme. Fő funkciója, hogy megfelelő áramerősséget (50...350 A) és feszültséget (15...40 V) biztosítson a stabil ív fenntartásához. A kézi hegesztés sajátosságaiból következően a szükséges bekapcsolási idő mindig kisebb, mint 50...60 %. (Az áramforrás melegeedésével kapcsolatos bekapcsolási idő [duty cycle] a 10 min alapidő alatt megengedett ív-ideő-részarányt jelenti).

A BKI áramforrása lehet egyenáramot szolgáltató generátor, félvezetős egyenirányító vagy inverter, illetve váltakozóáramú transzformátor. Az egykor nagyon népszerű generátorokat nagy üresjárási veszteségük és magas fenntartási költségeik miatt ma már csak elvétve, mint belsőgésű motorral hajtott gépcsoport részét, helyszíni hegesztéseknél használják.

A hegesztés egyen- vagy váltakozóárammal végezhető. Az egyenáramú hegesztésnél mindkét polaritás alkalmazást nyer. Történelmileg korábban az egyenes polaritás (DCEN) volt az egyeduralgódó, manapság a korszerű elektródák azonban

inkább a fordított polaritást (DCEP) igénylik. A fordított polaritás azért is előnyösebb mivel mélyebb beolvadás érhető el.

A BKI alacsony áramsűrűségéből (10...30 A/mm²) következik, hogy csak eső (áramtartó) áramforrás-karakterisztikával lehet stabil munkaponttal hegeszteni. Az áramerősség beállítása a megfelelő statikus karakterisztika előválasztásával lehetséges, de ez az áramerősség csak adott ívhossznál fog pontosan megvalósulni. Az ívhossz növelésekor az áramerősség kismértékben csökken, az ívhossz csökkenésekor enyhén növekszik (3.25. ábra).

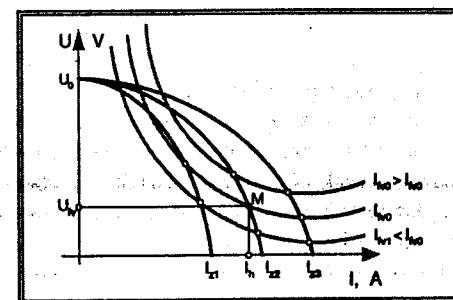
Az ívfeszültség és az áramerősség tájékoztató összefüggését a BKI munkafeszültség-egyenesének egyenlete adja meg:

$$U_{iv} = 20 + 0,04 \cdot I_h; \text{ de } U_{iv} \leq 44 \text{ V}. \quad (3.17)$$

Az áramerősség (A) és az elektródaátmérő (mm) közötti kapcsolatot legjobban a következő regressziós összefüggések fejezik ki:

$$I_{köz} = 60 \cdot d_e - 70, \quad (3.18)$$

$$I_{köz} = 20 \cdot d_e^{1,5}. \quad (3.19)$$



3.25. ábra

A BKI valós munkapontja és megvalósulása

Az **elektródafogó** (a BKI szerszáma) az elektróda fix rögzítésére, vezetésére és az áram hozzávezetésére szolgál.

Az elektródafogók többféle kialakításban kaphatók. Fontos tervezési szempont, hogy a szorítóerőt rugóerő biztosítsa, ezért mára a kézi erővel szorító, a kezét fárasztó emelőszorítású fogók teljesen elavultak.

Az elektródafogók jó villamosvezető képességű, egy bizonyos mértékig kopásálló rézötvözetből készülnek, ezért meglehetősen nehezek. A hegesztés alatt a teljes hegesztőáram átfolyik az elektródafogón, ezért jelentős melegedéssel kell számolni. A villamos és hőszigetelést hőálló gumi, vagy megfelelő szigetelőképes műanyag biztosítja. Az összes alkatrésznek öregedésállónak kell lennie, vagyis hosszabb használat után is meg kell őriznie a hegesztés szempontjából lényeges tulajdonságokat (keménység, szigetelőképeség, vezetőképesség).

Az elektródafogók kiválasztási paramétereit a következők: a maximális áramerősség, a bekapcsolási idő, a csatlakozó kábel mérete és a legnagyobb alkalmazható elektródaátmérő.

A BKI hegesztőgépet egy-egy **hegesztőkábel** kapcsolja az elektródafogóhoz és a munkadarabhoz. A kábeleknél, de különösen a hegesztő által kézben tartott elektródakábelnek flexibilisnek és könnyűnek kell lennie. A flexibilitás miatt a kábelek gumiborítású rézsodratból készülnek.

A hegesztőkábelek keresztmetszetét a melegedéssel összefüggő paraméterek (hegesztő áramerősség és a bekapcsolási idő) határozzák meg. A hegesztőkábelek szokásos hossza 20...25 m, amit a kábelen eső, még megengedett feszültség determinál. A hegesztőkábelek (az elektródafogóval alkotott fix rögzítésű kapcsolattól eltekintve) csatlakozókban végződnek. A hegesztő áramforráshoz jó kontaktust adó csavaros vagy gyorszorítás dugaszos toldattal csatlakoznak. A legkritikusabb csatlakozó a munkadarabkábelben található a hegesztendő darabhoz való fix és gyorsan oldható kapcsolat megvalósítására. A jó csatlakozók excenterszorításúak, vagy mágneses rögzítésűek. Az utóbbiak korlátja, hogy csak ferromágneses anyagokhoz használhatók.

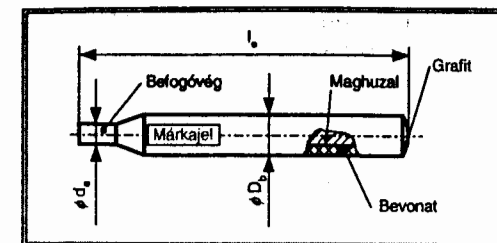
A hegesztő munkáját néhány kényelmi *kiegészítő és biztonsági felszerelés* segíti. A hasznos kiegészítők közül említést érdemel az az egység, amelyik az üresjárási feszültséget a rövidzárlat idejére lecsökkenti. Az áram hegesztés közbeni szabályozására egyes gépekbe távszabályzót építenek be. Kis praktikus műszer szolgál az egyenáramú hegesztés polaritásának kijelzésére.

A hegesztő védőöltözékére országonként eltérő előírások vonatkoznak. A ruhának zártnak, lángállóknak és a szétrepülő fémcseppekkel szemben ellenállóknak kell lennie. A zárt bakancs csak bőr talppal készülhet. Térbeni hegesztéshez bőr védőkalap, vagy az egész fejet befedő zárt fejpajzs szükséges. Az ív hő-, fény- és ultrabolya sugárzása ellen a hegesztő arcát pajzs védi. A szem védelmére sötét üveg, ún. védőszűrő szolgál. Az 51 x 130 mm méretű védőszűrő cserélhető, a fröcsköléstől egyszerű ablaküveg védi. A védőszűrő sötétsége változó, a sötétségi fokozatot 1 és 20 közötti jelzőszámmal jelölik. Az ívhegesztések védőszűrőjének jelzőszáma 8 és 15 között változik. A védőszűrő annál sötétebb legyen, minél nagyobb a hegesztőáram, illetve minél sötétebb a háttér (nagyobb a kontraszt). Az 1990-es években megjelentek az automatikusan sötétedő LC paneles pajzsok, amelyek a pajzsra eső fényt fotoelektromos úton érzékelik és nagyon rövid időn belül az ablakot a kívánt sötétségűre állítják be.

3.2.1.3. Bevont elektródák

A BKI eljárás egyetlen hegesztőanyaga a bevonatos elektróda, amelyet egy rövid (többnyire 450 mm-nél nem hosszabb) maghuzalon elhelyezett bevonat alkot. Nagyon korlátozott mennyiségben és adott (főleg felrakóhegesztési) célokra porbeles és bevonatos-porbeles elektródákat is gyártanak. A BKI gépesített alváltozataihoz 450 mm-nél hosszabb elektródákat is forgalmaznak.

Az elektróda egyik végén a befogásra szolgáló csupasz rész, a másik végén az első ívgyújtást megkönnyítő grafitréteg található (3.26. ábra). Az elektródák azonosítására a befogóvéghoz közeli bevonatfelületre rövid azonosítót (márkajelet) nyomtatnak.



3.26. ábra

A bevonatos elektróda alkotórészei és jellemző méretei

Az elektróda átmérsorozata szabványosított. Többnyire a 2; 2,5; 3,25; 4; 5 és 6 mm átmérőket forgalmazzák. Az elektródahosszakat a túlmelegedés és a kéz remegéséből eredő pontatlanságok mérséklésére korlátozzák és az elektródaátmérővel növekvő nagyságukra tervezik. A vékony elektródák 150...250 mm, a vastagabbak 300...450 mm hosszúságúak. A legnépszerűbbnek tekinthető 4 mm átmérőjű elektródák a legtöbb gyártónál 350 mm hosszúságúak.

Ahogy az a 3.26. ábrán is látható, az elektródaátmérő a maghuzal átmérőjével azonos. A bevonat vastagsága különböző, szokásos csoportosítás szerint az elektródák vékony, normál és vastag bevonatúak lehetnek.

Az elektródák bevonata

Az elektródákat célszerűbb és gazdaságosabb néhány maghuzaltípus felhasználásával bevonatotvözésű kivitelben gyártani. Ez azt jelenti, hogy sokféle bevonatösszetételt kell kifejleszteni és a maghuzalra extrudálással felvinni. A bevonat olyan mint egy szakácművészeti remek: 15...30 féle alkotóelemből titkos receptúra szerint készítik.

A különféle bevonatalkotókat a feladatuk szerint az alábbiak szerint csoportosíthatjuk.

- gázképzők,
- salakképzők,
- ívstabilizálók (ionizálók),
- dezoxidálók,
- nitrogénmegkötők,
- kén- és foszforcsökkentők,
- ötvözők,
- leolvastási teljesítményt növelő fémporok,
- plasztifikátorok,
- kötőanyagok.

A bevonatalkotók általában tisztított ásványok (karbonátok, oxidok, fluoridok, szilikátok,...), egyes komponenseket tiszta állapotban (Al, Cu, grafit,...) vagy ferroötvözet formájában (FeMn, FeSi, FeCr, FeMo, FeV,...) adagolnak a bevonatba. Egy komponens több funkciót is elláthat: pl. a K_2O SiO_2 (káli-vízüveg) elsődleges funkciója szerint kötőanyag, de a K ívstabilizáló, a Si dezoxidáló szerepű,

a maradék szilikát pedig salakképző. Az elektródák minősége a komponensek tisztaságának függvénye: rosszminőségű alapanyagokból a legkorszerűbb gyártóberendezéssel sem lehet megfelelő terméket előállítani.

Az elektródák rendszerezése

Az elektródákat *rendeltetésük* szerint a következő csoportokba sorolják:

- kötőelektródák,
- felrakóelektródák,
- vágó és hornyoló (faragó) elektródák.

A kötőelektródák *heganyaguk összetétele* szerinti osztályba sorolása azért lényeges, mert segíti a felhasználót az adott alapanyaghoz a megfelelő elektróda kiválasztásában. E szempont alapján az elektródák osztályba sorolása kevés kivételtől eltekintve az alapanyag rendszerezését követi. Vasötvözeteknél a legfontosabb elektróda ötvözet-főcsoportok a teljesség igénye nélkül a következők:

- ötvözetlen vagy gyengén ötvözött, finomszemcsés acélok,
- gyengén ötvözött, nagyszilárdságú, különlegesen megalakított vagy hőkezelt acélok,
- melegszilárd (kúszásálló) acélok,
- Ni ötvözésű, alacsony hőmérsékletre szánt acélok,
- erősen ötvözött, korrózióálló acélok,
- erősen ötvözött hőálló (lassan revésedő) acélok,
- minőségi öntöttvasak.

Az elektródák ömledékösszetétele és a velük készített varrat mechanikai (főként szilárdsági) jellemzői szerencsés esetben az alapanyagéval megegyeznek vagy ahhoz nagyon közel állnak (*matching*). Ettől eltérő esetek (*mismatching* vagy *undermatching* és *overmatching*) is előfordulnak, amennyiben az adott alapanyag hegesztése ezt szükségessé teszi (lásd pl. a termomechanikusan kezelt acélok alapanyagánál erősebben ötvözött elektródáit).

Az elektródák különböző bevonatösszetétellel készülnek. Az elektróda bevonattípusa a bevonat megolvadásával képződő salak típusára és/vagy fő jellemzőire utal. A lehetséges esetek és jelölésük az angol szavak kezdőbetűi alapján a következők:

- A savas (*acid*),
- B bázikus (*basic*),
- C cellulózozos (*cellulose*),
- R rutilos (*rutile*),
- RR vastag rutilos (*thick rutile*),
- RC rutil-cellulózozos (*rutile-cellulose*),
- RA rutil-savas (*rutile-acid*),
- RB rutil-bázikus (*rutile-basic*).

Szemben az előbbi felsorolással, ami a rutilbevonat elsődlegességét sugallja, a legjobb mechanikai jellemzőket a bázikus bevonat biztosítja, ezért az elektródák több, mint kétharmada bázikus bevonattal készül.

Magyarországon a jelenlegi hazai felhasználást messze meghaladó kapacitású (25 000 t/év), az *ESAB* csoporthoz tartozó elektródagyár található Mórton.

A BKI technológiai jellegzetességei

A *BKI* kis ($10...30 A/mm^2$) áramsűrűsége miatt az ívkarakterisztika vízszintes-közeli szakaszán elhelyezkedő munkapontban üzemel. A hegesztés jellegzetesen egyparaméteres eljárás, ami azt jelenti, hogy a hegesztő az áramforráson található potencióméterrel kiválaszt egy statikus karakterisztikát és a munkapont két koordinátája (a hegesztő áramerőssége és az ívfeszültség) elsődlegesen az ívhossznak, másodlagosan az elektróda-bevonatnak, elektródaátmérőnek és az áramnemnek, illetve a polaritásnak megfelelően beáll egy adott értékre.

A kézi hegesztés hozzávetőlegesen 4 mm/s körüli sebességgel végezhető. Egy elektróda átlagos leolvastási ideje 1 és 2 min közé esik. A lerakott varratkeresztmetszet a haladási sebesség és a hegesztési technika (keresztirányú ívelés) függvénye. Egy hegesztő egy óra effektív ívidő (kb. 2 óra munkaidő) alatt 1...5 kg elektródát tud leolvasztani. 1 kg elektródából a salaktömeget és a veszteségeket levonva mintegy 0,6 kg hegőmledékre lehet számítani.

3.2.1.4. Védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés

A védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés (rövidítve *VFI*) az első számú hegesztőeljárás a világon. A külső forrásból (palack vagy tartály) származó védőgázal védett ívvel, gépi mechanizmussal adagolt huzalelektródával jellemezhető ívhegesztés első működő berendezése 1936-ból származik (*He* védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés). Az eljárás mai, nemzetközileg elfogadott elnevezése *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*, de Európában (és így Magyarországon is) használják a *MIG/MAG* jelölést is, ami a *Metal Inert Gas / Metal Active Gas* rövidítése. A nem szerencsés korábbi hazai elnevezések (*AFI* és *CO₂* hegesztés) mára már elavultak.

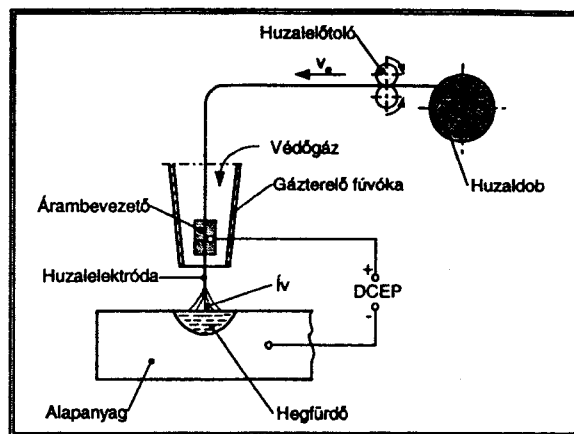
Az eljárás több egyezményes kódszámmal (131, 135, 136, 137) rendelkezik, mivel a tömör- és porbeleshuzalos, illetve a semleges és aktív védőgázos alváltozatokat megkülönböztetik. A legfontosabb és leg többet használt tömörhuzalos, aktív gázvédelmű eljárásváltozat számkódja 135.

A védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés elve

A védőgáz, fogyóelektródás ívhegesztés azt a hőt hasznosítja, amit a folyamatosan előtolt elektródahuzal és az alapanyag közötti villamos ív szolgáltat.

A villamos ív védőgázburokban ég, jellemzői a védőgáz összetételének cél szerű megválasztásával széles sávban befolyásolhatók. Hegesztés közben salak csak elenyésző mennyiségben keletkezik, ami kis foltokban dermed a varrat felületére.

A huzalelektróda 3.27. ábra szerinti fordított polaritású (*DCEP*) kapcsolása általánosnak tekinthető, mivel stabilabb ívet, jobb anyagátvitelt, kisebb fröcskölési veszteséget és kedvezőbb varratbeolvadási alakot garantál. Az egyenes (*DCEN*) kapcsolat mellett csak a nagyobb leolvastási teljesítmény szól, ami azonban a sekély beolvadás és a nagy varratdudor miatt nem igazán előnyös.



3.27. ábra

A VFI hegesztés vázlatja

A VFI hegesztés a végtelen hosszúságúnak tekinthető tekercselt huzal folyamatos adagolása és a huzalelektrodától fizikailag elválasztott védőgázvédelem miatt kiválóan gépesíthető és jól automatizálható, ezzel magyarázható, hogy ma mindhárom (kézi, gépesített és automatizált) változata egyaránt elterjedt.

Az eljárás levegő elleni védelme

Az iv előre megválasztott összetételű védőgázburkokban, annak ionizációjával hozható létre, ugyanakkor a gázatmoszférát úgy kell megválasztani, hogy az iv -tér és az olvadt alapanyag védelmét is elláthassa. Mindkét funkcióra a természetben nagyobb koncentrációban előforduló nemesgázok (Ar és He) a leginkább alkalmasak, de hegesztési előnyök és gazdaságossági okok miatt a legolcsóbb aktív monogáz (CO_2) és a nemesgáz(ok) és aktív gáz(ok) keveréke is gyorsan népszerűvé vált.

Semleges védelem mellett a huzalelektroda összetétele az alapanyagéval közel megegyezik, de metallurgiai aktív (oxidáló) védőgázokhoz az alapanyagtól kisebb eltérést (többnyire ötvözöttebb) hozaganyagra van szükség.

Az eljárás elvéből következik, hogy a hegfűrdő felületén található jelentéktelen mennyiségű salak metallurgiai szerepéről le kell mondani, a többnyire aktív védőgázok pedig metallurgiai inkább károsak, mint hasznosak. Ezen a téren a portöltetű (másnéven porbeles) elektródahuzalok kidolgozása döntő változást hozott, mivel a receptura szerinti portöltet mindazon funkciók betöltésére képes, mint amit az elektródabevonatoknál megismertünk.

Az eljárás előnyei és hátrányai

A VFI azon előnyös tulajdonságai, amelyek az eljárás vitathatatlan elsőségét biztosítják a legfőbb rivállal, a BKI-vel szemben, a következőkben összegezhetők:

- nagy leolvastási teljesítmény (m_{le}),
- mélyebb beolvadás, kedvezőbb varratalak,
- kevesebb hozaganyagvesztés (végmaradék, fröcskölés és salak együtt; 2...8 % a BKI 30...40 %-ával szemben)
- folyamatos hegesztés, (az ívűdő (60...80 %) közel duplája a BKI-vel elérhetőnek (30...50 %),
- a salakeltávolítási művelet elmaradása,
- kevesebb gőz és füst, kisebb egészségi ártalom és elszívási kényszer,
- az eljárás jól gépesíthető és automatizálható,
- könnyebben elsajátítható és végrehajtható kézi hegesztési technika, mint bevonatos elektródával (ívgyűjtés, láthatóság, salakkezelés),
- a sok ismert alváltozat az eljárásnak nagy rugalmasságot kölcsönöz,
- széles védőgáz és hozaganyag választék,
- nagy megbízhatóság, kiváló varratminőség, alacsony hidrogéntartalom,
- minden hegesztési pozícióban használható.

A sokféle előnyös tulajdonság mellett az eljárás alkalmazásakor néhány alkalmazási korláttal és hátránnyal kell számolni:

- összetettebb és drágább gépi berendezés, korlátozottabb hordozhatóság,
- a BKI-hez viszonyított kissé korlátozottabb hozzáférés,
- vékony és lágy huzalok elötölése problematikus,
- szél- és huzatérzékenység.

A kétségtelven meglevő objektív hátrányokat az elmúlt évek fejlesztő munkájával nagymértékben sikerült csökkenteni.

A VFI eljárás alkalmazási területei

Kezdetben a VFI eljárást He védőgázzal alumíniumötvözetek hegesztésére használták ($HeFI$), ma már azonban az acélok elsőszámú hegesztőeljárása, mivel éppen a BKI-vel közel egyező széles felhasználási területen jóval termelékenyebben alkalmazható.

A VFI eljárás a védelem célszerű megválasztásával a legtöbb acélhoz és szinte minden hegeszhető nemvasfém hegesztésére alkalmas eljárás. Az ötvözetlen és ötvözött szerkezeti acélok, a melegsziárd és hidegálló acélok, az erősen ötvözött különleges acélok és a jobb minőségű öntöttvasak egyaránt hegeszthetők. A nikkel-, a réz- és alumíniumötvözetek hegesztése megfelelő huzalelektroda segítségével problémamentesen megoldható, de az ilyen célú felhasználáson vékonylemezek esetében az SWI eljárásokkal kell osztozni.

A VFI a kötőhegesztések mellett a felrakóhegesztésekhez és a javítóhegesztésekhez is használható, ezen a területen részeseleg folyamatosan növekszik és a portöltetű huzalelektrodák megjelenésével a BKI versenytársává vált, különösen a nagytömegű, illetve a nagysorozatú felrakásoknál. Kézi és gépesített változata igen alkalmas csőtávvezetékek helyszíni varratinak készítésére is.

Falvastagság, hegesztési hely és hegesztési helyzet tekintetében az eljárás előtt nincsenek jelentős korlátok. Az 1 mm körüli lemezvastagságokhoz és a vastaglemezekhez gazdaságos alváltozatokat fejlesztettek ki. Az igazi alkalmazási terület azonban ma is a közepes vastagságtartomány (3...15 mm).

Az eljárás szabad téren is alkalmazható, ilyenkor a szél ellen hatékony árnyékolás (pl. sátor) szükséges.

Megfelelő anyagátviteli móddal a *VFI* eljárással tetszőleges térbeli helyzetben lehet hegeszteni. Azt azonban ilyenkor sem szabad szem elől téveszteni, hogy térbeli helyzetekben a hegesztés minősége és termelékenysége egyaránt csökken.

Az eljárás gépi berendezése

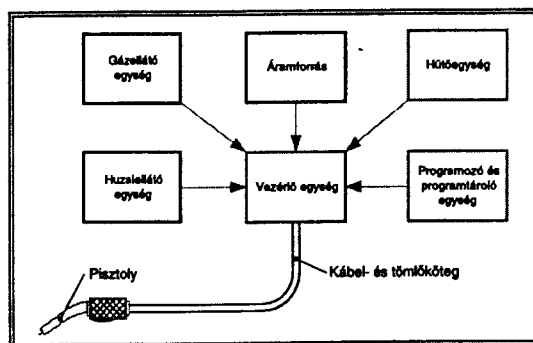
A *VFI* hegesztő berendezése általános esetben a következő fő egységekből áll (3.28. ábra):

- áramforrás a munkakábelrel,
- huzalelőtóló,
- hegesztő pisztoly a kábel- és tömlőkötéggel,
- védőgázellátó egység,
- vezérlő egység,
- hűtőegység (opcionális),
- programozó és programtároló egység (opcionális),
- mozgatókészülék (opcionális, csak gépesített hegesztéshez).

Áramforrás

Áramforrásként az egykor igen népszerű generátorokat ma már egyáltalán nem gyártják. A nagy teljesítményigényű, folyamatos munkához egyenirányítokat, a vékonylemezes alkalmazásokhoz invertereket alkalmaznak.

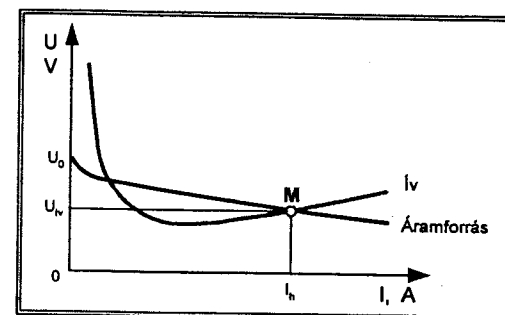
Az áramforrások 50...150 A-es (kisgépek), 150...500 A-es (közepgépek), 500...750 A-es (nagy teljesítményű gépek) áramerősség-tartományban kaphatók. Az áramsükséglet a *BKI*-hez viszonyítva tízszeres áramsűrűség (100...300 A/mm², és a huzalkeresztmetszet alapján könnyen kiszámítható.



3.28. ábra
A *VFI* berendezés fő egységei

Az áramforrások szükséges bekapcsolási ideje kézi hegesztéskor közel duplája (60 %) a *BKI* hegesztőgépekének, de gépesített hegesztéshez az áramforrásokat 100 %-os bekapcsolási időre kell választani. Folyamatos munkához a vízűtésű áramforrások nélkülözhetetlenek.

A *VFI* berendezések statikus karakterisztikája közel vízszintes, más néven feszültségtartó (3.29. ábra). Az ilyen karakterisztika emelkedő ívjelleggörbével együtt belső szabályozásra alkalmas feltételeket biztosít.



3.29. ábra
A *VFI* hegesztés stabil munkapontja

A hegesztés csak az ívjelleggörbe és az áramforrás jelleggörbe metszéspontjában, a munkapontban lehetséges. A két lehetséges metszéspont közül csak az tekinthető stabilnak, amelyben a hegesztőgép bármilyen zavarásra úgy reagál, hogy a zavaró hatás következménye gyengüljön (negatív visszacsatolás).

A negatív visszacsatolás, vagyis a munkapontstabilitás feltétele matematikai formában:

$$\left. \frac{\partial U_{iv}}{\partial I_{iv}} \right|_M > \left. \frac{\partial U_{af}}{\partial I_{af}} \right|_M \quad (3.20)$$

A belső szabályozás a nagy áramsűrűségű, feszültségtartó áramforrásokkal végzett hegesztések fontos önszabályozó folyamata, ami bonyolult és költséges elektronika nélkül is megbízható negatív visszacsatolást tesz lehetővé.

A (3.20) összefüggés más szóval azt jelenti, hogy a stabil munkapontban az ívjelleggörbe érintője meredekebb, mint az áramforrásé. A 3.29. ábrán látható két karakterisztika metszéspont közül az adott feltétel csak az *M* pontban teljesül, ezért ez a stabil munkapont. A munkapont két koordinátája (az U_v ívfeszültség és az I_h hegesztőáram) a hegesztés két fontos, a hőáramot meghatározó változója.

A kisgépeket zártas technikára, a közepgépeket nagyceppes vagy finomceppes anyagátvitelre optimalizált, egyébként változtatható induktivitással tervezik, ami nagymértékben megszabja az áramforrás dinamikus viselkedését. (A dinamikus viselkedés főleg az áramváltási jellemzőkkel [tranziensekkel] van összefüggésben). A jó dinamikus jellemzőkkel rendelkező áramforrással könnyebb az ívgyújtás, váltakozóáramú hegesztésnél az ív-újragyújtás, emellett az ív kedvezőbben reagál a hegesztés közben bekövetkező zavaró jelekre.

Huzaltovábbító berendezés

A huzalokat a kereskedelembe kapható, szabványosított méretű dobról, drótkosárról vagy belső lefejtésű tárolóhordóból kiindulva kell eljuttatni a hegesztőpisztolyba.

A relatíve és gyakran abszolút értelemben is vékony huzalokkal operáló VFI hegesztés egyik elsőrendű gépészeti problémája a huzaltovábbítás megoldása. Kézi hegesztésnél a kényelmes munkavégzés a pisztoly és a huzaltovábbító mechanizmus között legalább 2,5...3 m hosszú kábelt igényel (2.24. ábra). Bár gépesített hegesztésnél a probléma mérsékeltebb, de a huzaltovábbításnál mindenképpen meg kell oldani a karcsú, sokszor lágy huzalok változtathatóan egyenletes sebességű, akadásmentes eljuttatását a pisztolyba.

A huzaltovábbítás nyomó, húzó vagy húzó-nyomó mechanizmussal lehetséges. A nyomott huzalok kihajlási problémája a húzó (*pull*) rendszerű továbbítók alkalmazásának elsőbbségét indokolná, de ilyen esetben a húzó mechanizmust, sőt esetenként a huzaltároló dobát is a pisztolyra kell szerelni, ami csak gépi hegesztésnél elképzelhető, másrészt a méretcsökkentést szolgáló kis átmérőjű előtológörgőket igen nagy fordulatszámú (pl. levegőmotorral) kell hajtani.

Ezzel szemben a toló (*push*) rendszerű huzaltovábbítók a pisztolytól kényelmes távolságban helyezhetők el, terjedelmesebbek is lehetnek és a görgőhajtás egyenáramú villanymotorral könnyen megoldható. A huzalkihajlás ellen flexibilis vezetősövet alkalmaznak, amibe a súrlódóerő csökkentése érdekében (ma már minden esetben) műanyagcsövet húznak be. A tolt huzal így nem tud kihajlani, de a csomóképződés elkerülésére a görgőknél és a pisztolybemenetnél is megfelelő megtámasztást garantáló átmeneteket kell beépíteni.

A toló-húzó (*push-pull*) huzaltovábbítók az előbbi két rendszer kombinációjaként a kényes esetekben (vékony, lágy huzal) is jól működnek, de a húzó rendszerű előtolók problémáit magukon viselik és emellett igen drágák.

Igen perspektivikusnak látszik az a bolgár szabadalom, amely a huzaltovábbításra kitérő tengelyű, egyköpenyű hiperboloid görgőket és bolygóműves hajtást alkalmaz. A bolygóműves huzalelőtolo finoman szabályozható és a huzalt alig deformálja. Ma még nem tekinthető kiforrott, széles körben elterjedt megoldásnak.

Az előtolóerő és változtatási lehetőségei

A huzalelőtolo berendezések legfontosabb alkatrésze a 20...50 mm átmérőjű hajtott görgőpár, ami a huzalt a görgőpálast és a huzalfelület közötti súrlódóerővel továbbítja. A hegesztéskor többféle irányban hajtogatott vezetősőben és a pisztoly árambevezetőjében való súrlódás legyőzésére megfelelő nagyságú előtolóerőt kell elérni. Az előtolóerő nagyságának beállítása a súrlódóerő ismert képletéből következik:

$$F_s = n \cdot \mu \cdot F_n, \quad (3.21)$$

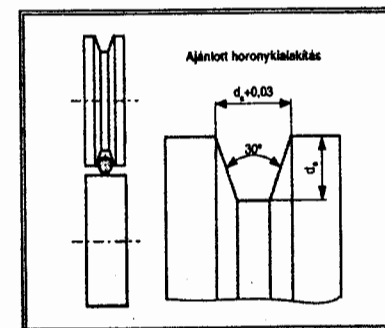
ahol:

- n, db : a hajtott görgőpárok száma,
 F_s, N : súrlódóerő,
 μ : súrlódási tényező (száraz csúszósúrlódás),

F_n, N : normális irányú erő.

A súrlódóerő növelésének egyik módja a μ súrlódási tényező megnövelése a görgőfelület érdesítésével (recézésével). Az egyszerűnek látszó megoldás hibája, hogy a az érdes görgő a puha huzalt (pl. Al ötvözetek), vagy a kemény huzalok rézbevonatát (pl. szerkezeti acélok) bevagdálja és az ilyen sérült huzalfelület nehezen csúszik át a huzalvezetőn és az árambevezető kontaktuson.

Az F_n normális irányú erő növelése másfelől a görgőpárt összeszorító rúgóerő növelésével lehetséges. A nagy rúgóerő a huzalok ellapításával azonban ugyanazt a problémát idézi elő, mint a görgőfelület érdesítése. Ez a nehézség a porbeles huzalelőtoloáknál fokozottan jelentkezik. A normálerő növelésének van egy kedvezőbb lehetősége is, mégpedig a huzalelőtolo horonyban való vezetése, ami az ék erőnövelő hatásával magyarázható (3.30. ábra).



3.30. ábra

A huzalelőtolo görgők ékhornyos kialakítása

Az előtolóerő fokozásának legkíméletesebb, mindazonáltal a legköltségesebb módja a hajtott görgőpárok számának (n) növelése. Ma egy görgőpárt csak a vastag, tömör acélhuzalok lassú ($v_e \leq 10 \text{ m/min}$) előtolásához használnak, a tömör huzalok normál sebességű ($v_e = 10...25 \text{ m/min}$) előtolásához, vagy a porbeles huzalok finomabb, kíméletesebb előtolásához két görgőpárra van szükség, míg a tömör huzalok nagysebességű ($v_e \geq 25 \text{ m/min}$) előtolásához három görgőpárt építenek a huzalelőtolo kba.

Hegesztőpisztoly a kábel- és tömlőköteggel

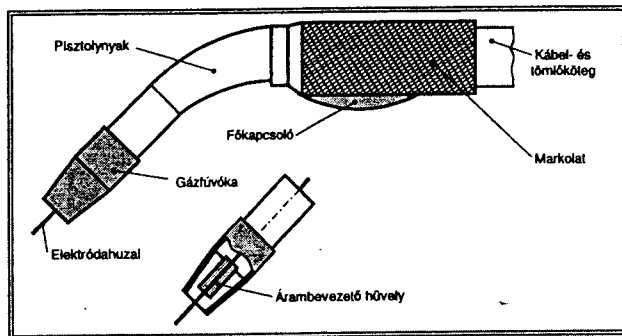
A hegesztőpisztoly a hegesztés szerszáma, amit a hegesztő vezet, vagy mechanizmus mozgat. A pisztoly a hegesztő művelet elvégezhetőségét, könnyű kezelhetőséget, a varratvonalhoz való jó hozzáférést és hatékony baleset elleni védelmet kell biztosítania.

A pisztolykonstrukciók a felhasználási célhoz alkalmazkodnak. Kézi hegesztéshez görbényakú, gépi hegesztéshez egyenestörzsű pisztolyt fejlesztettek ki. A hegesztő robotokat mindig görbényakú pisztollyal látják el, mivel ez jó hozzáférést tesz lehetővé.

A pisztolyok max. 750 A áramerősségre készülnek. A bekapcsolási időtől függően 200...250 A-ig gázhűtéssel, előlött vízhűtéssel működnek. A gázhűtésnél a

védőgáz hűtőhatását mindig figyelembe kell venni: a rossz hővezető Ar védőgázhoz csak 300...350 A-es, a sokkal jobb hővezetőképességű CO₂ gázhoz max. 600 A-es pisztolyokat is gyártanak. A kereskedelemben levegőhűtésű (komprimált levegőárammal hűtött) pisztolyok is kaphatók.

Egy tipikusnak tekinthető kézi hegesztő pisztoly vázlatát a 3.31. ábrán mutatjuk be.



3.31. ábra
Kézi hegesztőpisztoly fő részei

A pisztoly és a hegesztőberendezés kapcsolatát kábel-és tömlőköteg biztosítja. A tolt huzaloknál a kábelköteg hossza limitált, ezért szokásos, hogy a huzalelőtől egységet elválasztják az áramforrástól és hordozhatóra képezik ki. Húzó, vagy toló-húzó rendszereknél a kábelköteg hossza 5...10 m is lehet.

Gázellátó berendezés

A VFI eljárás külső gázvédelemmel működik, ezért a gázellátást minden esetben biztosítani kell. A gázok szállítása és tárolása palackban, palackkötegben vagy cseppfolyós tartályokban történik. A gázkeverékek palackozottan megvásárolhatók vagy helyi keveréssel állíthatók elő.

A védőgázellátó rendszer gáztároló edényből, nyomáscsökkentőből, átfolyásmérőből és gáztömlőből áll. A hegesztőüzemben kiépített vezetékrendszert gáztartályokból párologtatón keresztül vagy palackkötegről táplálják.

A gázpalackok 40...50 literesek, szobahőmérsékleti töltőnyomásuk 150...200 bar. Kis gázfogyasztás vagy hordozhatósági követelmény esetén használják.

A nyomáscsökkentő (regulátor) tetszőleges palacknyomás esetén konstans tápnymást biztosít. A tápnymás a regulátorra jellemző tartományon belül változtatható. Minden gázhoz saját regulátort forgalmaznak.

Az átfolyásmérők a védőgáz térfogatáramának beállítására és mérésére szolgálnak. Európában *l/min*, az USA-ban *köbláb/óra* (cubic feet per hour, *CFH*) egységre kalibráltak. Az átfolyásmérők a gáz fizikai jellemzői által befolyásolt erőegyensúly alapján mérnek, ezért egy átfolyásmérő csak egyféle gázra használható.

A gázok ki-és bekapcsolására mágnesszelepek szolgálnak. A védőgáz műanyag-, vagy gumitömlőkön jut a nyomáscsökkentőből, illetve átfolyásmérőből a rendeltetési helyére, a pisztolyfűvőkába.

Az időegység alatt szükséges védőgáz mennyiség a gáz fajtájától (sűrűségétől) és a pisztoly nagyságától függ. Közepes értéke *He* mentes nemes- és aktív gázkeverékeknél 10...20 *l/min*. A levegőnél jóval könnyebb *He*-ből az *Ar*-hoz viszonyítva két-háromszoros mennyiség szükséges.

Hűtőrendszer

A folyamatosan nagy áramerősséggel üzemelő hegesztőpisztolyok túlmelegedését 1...2 *l/min* vízárammal lehet megakadályozni. A lágyított vízzel üzemelő zártrendszerű hűtőkör 50...100 *l*-es víztartályból, szivattyúból, szűrőből, átfolyásmérőből és csövezetésekből áll. A vízellátás felügyeletét mágnesszelep (vízör) biztosítja.

A hűtővíz korrozív hatását inhibítással, a vízkőlerakódásokat lágyított vagy ioncserélt víz használatával lehet kiküszöbölni. A hűtőrendszert közvetlen csapvízzel nem célszerű táplálni. Téli körülmények között, 0 °C alatti hőmérsékletek előfordulása esetén a vizet hűtőfolyadékokra kell kicserélni.

Vezérlő, szabályzó, programozó és kijelző rendszer

A mai korszerű VFI berendezést összetett elektronikus rendszer szolgálja ki. A rendszerhez tartoznak a kapcsolók, a távszabályzók, a választókapcsolók, a beállító gombok, a különféle kijelzők, figyelemfelhívó eszközök és a gáz-, illetve a vízfelügyelet.

A hegesztés indításakor a gáztömlőben levegővel keveredett védőgáz található, ezért a hegesztést a gázáramlás beindítása után csak egy meghatározott idő után szabad elkezdni. A hegesztőgépek nagy részénél ezt a késleltetést a hegesztőnek kell megtennie, mivel a vezérlő automatika erre a funkcióra nincs programozva. A gázvédelem a hegesztőáram kikapcsolása után azonnal megszűnik és a hegfürdő védelem nélkül dermed meg. Ezen a problémán különböző hegesztői fogásokkal lehet úrrá lenni.

A legmodernebb gépeket programozó és programtároló egység egészíti ki. Egy hegesztési programot $2^4=16$ változóval a legtöbb esetben le lehet írni. A programokból különböző mennyiség tárolására van lehetőség: 10...12 programmal a gyakorta előforduló feladatok már elvégezhetőek.

Huzalelektróda

A VFI eljárás huzalelektródáinak a választott védőgázzal kombinációban a következő követelményeket kell kielégítenie:

- hegeszthetőségi kritériumok,
- elvárt mechanikai jellemzők,
- megkívánt hegesztési tulajdonságok.

A gyakran alkalmazott ipari fémekhez és ötvözetekhez a huzalelektródák széles választékát gyártják. A különféle acélok, alumínium-, nikkell és rézötvözetek a legfontosabb felhasználási területhez tartoznak.

A külső védelmű huzalokat tömör kivitelben gyártják, de Fe és Ni ötvözetekhez porbeles huzalok is kaphatók.

A nemesgázvédelmű huzalelektrodák, amennyiben ennek hegeszthetőségi szempontok nem mondanak ellent, az alapanyaghoz nagyon hasonló összetételben készülnek.

A vasötvözetek huzalelektrodái

Aktív atmoszférában a hegfürdő oxigéntartalma növekszik, ezért a huzaloknak megfelelő mennyiségű dezoxidáló komponenst kell tartalmazni. A legkevesebb ötvözőtartalom, amivel a dezoxidálás megfelelően megoldható, 1,0...1,1 % *Mn* és 0,50...0,55 % *Si*. A védőgáz oxidációs potenciáljának növekedésekor, vagy enyhén oxidos felület hegesztésekor 1,5...1,7 % *Mn* és 0,75...0,90 % *Si* ötvözésre van szükség. Széndioxid vagy szuperaktív (CO_2-O_2) védőgázhoz, vagy a kiegészi veszteségeket megnövelő nagy áramerősségű hegesztéshez 1,8...2,0 % *Mn* és 0,80...1,0 % *Si* tartalmú huzalt gyártanak. Mivel a *Mn* és a *Si* további növelése hegeszthetőségi okokból és főleg a szivósság csökkenése miatt nem kívánatos, ezért előtérbe kerül a szemcsefinomító hatással is rendelkező mikroötvözők *Al*, *Ti* és *Zr* adagolása, amelyek egyszersmind kiváló dezoxidensek is.

A mechanikai tulajdonságok javítására *Ni* és/vagy *Mo*,-a légköri korróziós ellenállás javítására *Cr*, *Ni* és *Cu* ötvözés szokásos.

A *VFI* hegesztéssel alacsony hidrogéntartalmú (*Low Hydrogen, LH*) varratok is készíthetők. Ennek lényeges feltétele, hogy az alapanyagok és a huzalelektroda felülete tökéletesen száraz és fémtiszta legyen.

A különféle rendeltetésű korrózióálló acélok hegesztéséhez nagy választékban gyártanak hegesztő huzalelektrodákat. A huzalok vegyi összetétele a korrózióállási szempont elsődlegessége miatt követi az alapanyagét. Az összetételben időnként fellelhető minimális eltéréssel a hegesztési és hegeszthetőségi tulajdonságokat javítják.

Nemvasfémek huzalelektrodái

A nikkelhuzalok a választott anyagátviteli módnak megfelelően 0,8, 1,2 és 1,6 mm-es átmérővel készülnek. Kémiai összetételüket tekintve a tiszta nikkel, *Ni-Mo*, *Ni-Cr*, *Ni-Cu* és *Ni-Cr-Mo* ötvözeteket gyártják a legnagyobb tömegben.

A 3 mm-nél vastagabb rézötvözetek gazdaságosan *VFI* eljárással hegeszthetők, ezért a kereskedelemben sokféle rézhuzal kapható. A legfontosabb huzalelektrodák a következő alcsoportokhoz készülnek:

- dezoxidált rezek,
- sárgarezek (5...40 % *Zn* tartalommal),
- ónbronzzok,
- alumíniumbronzzok,
- nikkelbronzzok,
- szilíciumbronzzok.

Az alumíniumhuzalok előtolási problémái miatt a huzalokat félkemény vagy kemény fokozatra húzzák, mivel a lágy huzalok csak húzó rendszerű huzaltovábbítóhoz alkalmasak.

Huzalelektroda minden hegeszthető *Al* ötvözethez kapható, függetlenül attól, hogy az alapanyag az alakítható vagy a kiválással keményedő csoporthoz tartozik.

A legfontosabb huzalelektroda ötvözetcsoportok a következők: nagy tisztaságú *Al*, *Al-Mg*, *Al-Mn*, *Al-Si*, *Al-Si-Mg*, *Al-Si-Cu*, *Al-Mg-Zn*.

Védőgázok

A védőgázok a *VFI* hegesztés minőséget és gazdaságosságát befolyásoló fontos hegesztőanyagok. A védőgáz az elsődleges védelmi funkciók kívül befolyással van az ívstabilitásra, az ívhőmérsékletre, a hőmérséklet íven belüli eloszlására, az anyagátmenetre, a varrat beolvadási alakjára és méreteire, a felülettisztítás hatásosságára, a varratban zajló metallurgiai folyamatokra, a varrathibákra, a varrat mechanikai jellemzőire és közvetve a hegesztési paraméterekre, a hegesztés teljesítményadataira és a varrat fajlagos költségeire.

A védőgázok sűrűsége a védelem hatékonysága szempontjából érdekes. Vályúhelyzetben a levegőnél nehezebb gázok, fejeletti helyzetben a levegőnél könnyebb gázok alkalmazása előnyös. Azonos védőhatás kifejtéséhez a könnyebb védőgázból nagyobb térfogatáramra van szükség: 10...15 l/min *Ar* védőgázárammal 25...40 l/min *He* tekinthető egyenértékűnek.

Eredetileg védőgáz minőségben csak nemesgázokat (időrendben először *He*-mot, majd *Ar*-t) és redukáló *H*-t használtak és csak később került sor a kémiaiag aktív (oxidáló) CO_2 és a nemesgáz - aktív gáz (*Ar*, *He* + CO_2 , O_2) keverékek alkalmazására. Ez utóbbiaknál a következő, hegesztés közben jelentkező hatásokkal kell számolni (és ha lehetséges), megelőzni, vagy kompenzálni:

- a hegfürdőben oldódó vasoxidul (*FeO*) dezoxidálása,
- az aktív védőgázban kiégett ötvözők pótlása a hozaganyagból.

A védőgázok rendszerezése

A védőgázok több szempont alapján rendszerezhetők. A legfontosabb osztályozási szempontokat és a hozzárendelt osztályokat a következőkben ismertetjük.

- Komponensek száma szerint

- monogázok,
- kétkomponensű gázkeverékek,
- háromkomponensű gázkeverékek,
- négykomponensű gázkeverékek.

Az egykomponensű, vagy monogázok egyedül képesek a szükséges védőhatás kifejtésére. Védőgáz, fagyóelektrodás ívhegesztést *Ar*, *He*, CO_2 , H_2 és N_2 gázban lehet végezni.

Két, vagy több gáz összekeverésével az előnyös tulajdonságok összegzését kívánjuk elérni, anélkül, hogy a negatív hatások is összegződjenek. A legfontosabb gázkeverékek *Ar* és/vagy *He* nemesgázokból és az O_2 és/vagy CO_2 monogázokból állnak. Egyes gázok korlátlanul keverhetők, mások koncentrációja a keverékben korlátozott lehet. A koncentrációkat mindig térfogatszázalékban mérjük.

- A védőgáz (keverék) kémiai jellege szerint

Kémiai szempontból a védőgázok és védőgázkeverék - komponensek az alap és hozaganyag bázisfémével és ötvözőjével szemben a következő viselkedésük lehetnek:

- redukáló (H_2),
- semleges vagy inert (Ar , He),
- oxidáló vagy aktív (CO_2 , O_2),
- nem reagáló (N_2).

A védőgáztípusok európai jelölési rendszerét az EN 439 szabvány tartalmazza. Az osztályozási rendszer az aktív gázokat aktivitásuk szerint csoportosítja, vagyis megkísérli az ötvözőképzésre gyakorolt hatást sorrendbe állítani.

A besorolási rendszer a redukáló védőgázokat *R* (reducing), a nemesgázokat *I* (inert), az aktív CO_2 gázt vagy CO_2 bázisú gázkeveréket *C* (carbon dioxide), az aktív gázkeverékeket *M* (mixed), a gyökvédőgázokat *F* (forming) betűvel jelöli.

A védőgázokkal szemben szabványban előírt, szigorú tisztasági követelményeket támasztanak. A különböző alapanyagokhoz eltérő tisztasági fokozatú védőgázokat forgalmaznak.

Népszerű védőgázkeverékek

Néhány védőgázkeverék népszerűségénél fogva külön említést érdemel. Ezen védőgázok nagyobb eladott mennyisége nem csak a kedvező felhasználási jellemzőkkel hozható összefüggésbe, hanem a felhasznált alapanyag tömegszerűségéből is adódik (ötvözetlen, gyengén ötvözött, mikroötvözött szerkezeti acélok).

A VFI eljárás legszélesebb körben használt védőgázai a következők:

- 80% Ar + 20% CO_2 , (más forgalmazónál 75% Ar + 25% CO_2 , illetve 82% Ar + 18% CO_2),
- 98% Ar + 2% O_2 ,
- 80% Ar + 15% CO_2 + 5% O_2 .

Különleges gázkeverékek:

- 80% CO_2 + 20% O_2 ,
- 60% Ar + 30% He + 10% CO_2 ,
- 65% Ar + 26,5% He + 8% CO_2 + 0,5% O_2 .

Az utolsóként felsorolt gázkeverék négykomponensű, kereskedelmi márkanévvel T.I.M.E. (Transferred Ionised Molten Energy), amely (az utolsó előtti gázkeverékhez hasonlóan) forgóíves cseppátvitel megvalósítására is alkalmas.

A VFI technológiai jellegzetességei

A VFI univerzialisítása (vékonylemezek kézi hegesztésétől a vastaglemezek robothegesztéséig) a fő technológiai paraméterek széles intervallumát és a beállítási lehetőségek sokféleségét igényli. A különböző áramsűrűségekkel, hőáramsűrűségekkel, vonalenergiákkal és a felsorolt fajlagos hőforrásjellemzőket meghatározó változók beállításának kombinációival nagyon eltérő anyagátviteli módot, varratminőséget és termelékenységet tudunk elérni.

Az anyagátvitel lehetséges módjai fogyóelektródás ívhegesztéskor

Az anyagátvitel többnyire cseppek formájában történik, de van olyan anyagátviteli mód is, ahol nincs cseppképződés, ezért az anyagátvitel kifejezés a cseppátvitellel nem helyettesíthető.

Az ívhegesztés anyagátmenetét optikai projektorral vagy nagysebességű filmfelvételekkel lehet tanulmányozni. Az anyagátmenet egyes típusaira az áram és feszültség oszcillogramjából, sőt kellő gyakorlattal az ív hangjából és a varrat külső megjelenéséből is lehet következtetni.

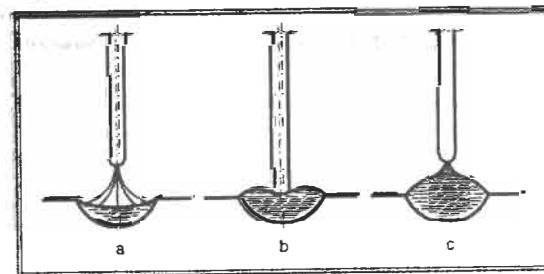
A Nemzetközi Hegesztési Intézet (International Institute of Welding, IIW) által megkülönböztetett nyolc anyagátviteli módból a VFI-nél a következő változatok fordulnak elő: rövidzárlatos, nagycseppes, finomcseppes.

Rövidzárlatos anyagátvitel

A kis feszültséggel, kis áramerősséggel végzett hegesztéskor az ív igen rövid, ezért a folyamatosan előtolt huzalelektróda megolvadt vége beleütközik a hullámzó felületű hegfürdőbe és rövidzárlat keletkezik, az ív kialszik (3.32. ábra). A pinch effektust okozó elektromágneses erő, amely közelítőleg az áramerősség négyzetével arányos, a zárlati áram hatására megnő, ami a hegfürdő olvadékának felületi feszültségével együtt segíti az anyagleválást. A cseppképződés nélküli anyagátmenet után az ív hevesen újragyullad és a nagyon gyors áramnövekedés szinte szétrobbantja a huzalelektróda végén újraképződött folyadékot, ezért ezt az anyagátviteli módot jelentős mértékű fröcskölés kíséri.

A meglehetősen előnytelen, de a legkisebb hőbevitelt eredményező rövidzárlatos anyagátmenetet csak indokolt esetben alkalmazzák. Ilyen, kis hőáramot igénylő hegesztési feladatok a következők:

- vékonylemez ($s \leq 3 \text{ mm}$) hegesztés,
- középvastag és vastaglemezek gyökhegesztése,
- térbeli hegesztés.

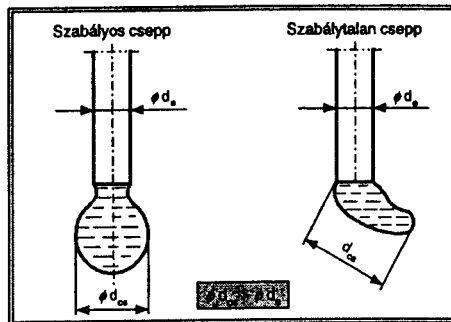


3.32. ábra

A rövidzárlatos anyagátvitel folyamata

Nagycseppes anyagátvitel

Közepes áramerősség és közepes, vagy nagy feszültség nagycseppes anyagátvitelt eredményez (3.33. ábra). A cseppek fő jellemzője, hogy átmérőjük nagyobb, vagy jóval nagyobb, mint a huzalelektródaé. A cseppek szabálytalan alakúak is lehetnek és röppályájuk nem mindig tengelyirányú (fröcskölés). A cseppképződést és a leválást főleg a gravitációs erő uralja. A d_{cs} cseppfrekvencia alacsony, értéke 1 és 10 Hz közé tehető.



3.33. ábra

A nagyceppes anyagátvitel folyamata

A nagyceppes anyagátvitel az olcsó széndioxid védőgázra vagy a döntően CO_2 bázisú gázkeverékekre jellemző, az ilyen védőgázok fontos anyagátviteli módjának tekinthető, mivel a kedvezőbb finomcseppes átmenetek bennük nem hozhatók létre.

Finomcseppes anyagátvitel

Az anyagátvitel folyamatossága, a cseppek tengelyirányú mozgásának megtartása, a fröcskölés minimalizálása a finomcseppes átmenetekenél valósul meg leginkább, ezért ezeket a cseppátviteli módokat tekinthetjük az ideálist legjobban megközelítőnek.

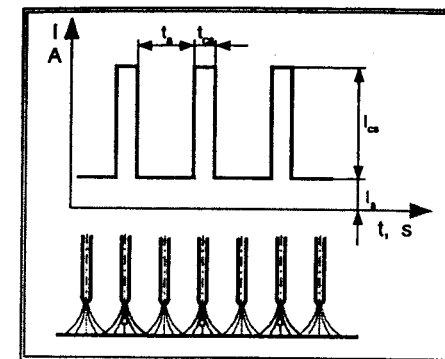
A finomcseppes anyagátvitel közös jellemzője, hogy a huzalelektróda vége apró ($d_{cs} < d_e$), vagy igen apró cseppek ($d_{cs} < < d_e$) keletkeznek és a cseppfrekvencia jelentős nagyságú ($f_{cs} = 100 \dots 1000 \text{ Hz}$).

A finomcseppes anyagátvitel több esetét különböztethetjük meg a következők szerint:

- permetszerű cseppátvitel (*spray transfer*),
- folyadékcsatornás cseppátvitel (*streaming transfer*),
- forgóíves cseppátvitel (*rotating transfer*),
- impulzusív, vagy tervezett cseppátvitel (*projected transfer*).

A permetszerű anyagátvitel a huzal anyagától és átmérőjétől függően hozzávetőlegesen 150 A/mm^2 áramsűrűségnél következik be. Mintegy 300 A/mm^2 -nél az ív saját hossz tengelye körül forgómozgásba kezd és létrejön a forgóíves anyagátvitel. A nagyon apró cseppekkel jellemzett folyadékcsatornás cseppátvitel héliumban, vagy sok He-ot tartalmazó gázkeverékekben alakul ki.

Az impulzusív cseppátvitel a múlt század végéhez kötődő hatalmas elektronikai fejlesztések eredményeként jöhetett létre. Olyan anyagátvitelt jelent, ahol a cseppátviteli frekvencia nem spontán értéket vesz fel, hanem nagysága pontosan tervezhető. Lényege, hogy állandó áramerősség helyett - az egyes impulzusok között megfelelő hosszúságú szünetet tartva - áramimpulzusokkal hegesztünk (3.34. ábra). Mivel minden ciklushoz egy, és csakis egy csepp leválása tartozik, az impulzus- és a cseppfrekvencia megegyezik.



3.34. ábra

A cseppátvitel összefüggése az impulzusáram jellemzőivel

Az impulzusalak a kívánalmaknak megfelelő téglalap-, trapéz-, szinusz- vagy összetett geometriájú. A 3.34. ábrán az egyszerűség kedvéért téglalapalakú impulzusok adtuk meg.

Az impulzusáramot a következő független adatok jellemzik:

- csúcsáram, I_{cs} , A,
- alapáram, I_b , A,
- csúcsidő, t_{cs} , s,
- alapidő, t_b , s.

Az impulzusív technika nagy előnye, hogy a négy független impulzusparaméter beállításával a hőbevitel tetszőlegesen szabályozható (elsősorban csökkenthető), miközben az ív stabilitása nem romlik. Az impulzusívvel megoldható, hogy permetszerű cseppátvitelt hozunk létre a folyamatos áramerősséghez viszonyítottan töredék átlagárammal (hőbevitellel). Az impulzusív hegesztés ennek megfelelően a vékonylemezekhez, a gyökvarrat hegesztéshez és a térbeli helyzetekhez ajánlott. Az impulzusív hegesztés áramváltásának szabályossága a varrat külsején is feltűnően jelentkezik, vagyis nagyon szép varratfelület elérését teszi lehetővé.

A VFI eljárás technológiai paraméterei

A VFI eljárással készített varrat minőségét igen sok számszerű hegesztési változó (ún. paraméter), és egyéb (nem számszerűsíthető) hegesztési körülmény befolyásolja, amelyek a végeredményen kívül egymással is bonyolult kölcsönhatásban vannak. A technológia optimalizálása csak komplex matematikai módszerekkel lehetséges.

A hegesztő eljárás valamennyi paraméterét az eljárás műveleti utasítása (WPS) tartalmazza. A sok változó között a következő rendszerezéssel igazodhatunk el.

- A huzalelektródával kapcsolatos adatok:
 - * a hozaganyag fajtája (tömör, porbeles),
 - * a hozaganyag ötvözési típusa (kereskedelmi márkajele),
 - * a hozaganyag átmérője,
 - * huzalelőtölési sebesség.

- A védőgázzal kapcsolatos adatok:
 - * a védőgáz fajtája, tisztasága,
 - * a védőgáz térfogatárama.
- A hegesztőpisztollyal kapcsolatos adatok:
 - * a pisztoly típusa (kereskedelmi márkajele),
 - * a hűtés módja,
 - * a hűtővíz térfogatárama (vízhűtés esetén),
 - * a fúvóka anyaga, alakja, átmérője,
 - * szabad huzalhossz.
- A varratképzéssel kapcsolatos adatok:
 - * a hegesztés kivitelezése (kézi, gépi, robot),
 - * a hegesztés sebessége (kézi hegesztés esetén csak tájékoztató jelleggel),
 - * a fúvóka és a tárgy közötti távolság,
 - * a pisztolytengely dőlési szögei (a varrat hosszmetzeti szimmetriásk-jához és a szimmetriáskban a felület normálisához viszonyítva),
 - * a keresztirányú ívelés adatai.
- **A hőbevitellel kapcsolatos adatok:**
 - * kiindulási (környezeti vagy előmelegítési hőmérséklet),
 - * áramnem,
 - * polaritás (DC esetén),
 - * áramtípus (folytonos vagy impulzus),
 - * áramerősség (folytonos áram esetén),
 - * ívfeszültség,
 - * alapáram és csúcsáram (impulzushegesztés esetén),
 - * alapidő és csúcsidő (impulzushegesztés esetén),
 - * hegesztési idő (ívponthegesztés esetén).
- A hegesztő berendezéssel kapcsolatos adatok:
 - * áramforrás márkajele,
 - * az induktivitás nagysága,
 - * huzaltovábbító típusa.
- A hegesztőgép és készülék adatai:
 - * hegesztőgép azonosító jele (gépesített hegesztés esetén),
 - * a pisztolyfelerősítés módja, (gépesített hegesztés esetén),
 - * a hegesztőkészülék azonosító jele,
 - * a munkadarab befogásának módja,
 - * hegesztési helyzet,
 - * a hegesztési sebességet eredményező relatív mozgás megvalósítója (hegesztőgép, készülék, vagy egyidejűleg mindkettő).
- A kötés és az alkatrészek előkészítése hegesztéshez:
 - * a kötés típusa,
 - * varratípus,
 - * varratméretek (vastagság és hosszúság),
 - * varratfelépítés (vastagságirányban, hosszirányban),

- * munkadarab előkészítés (leélezés méretei),
 - * felülettisztítás (mindkét oldalon),
 - * illesztési adatok,
 - * alátétezés,
 - * fűzési adatok (fűzővarratok száma, helye, méretei).
- A végrehajtó személyzettel szembeni elvárások:
 - * a hegesztő vagy gépkezelő elvárt minősítése,
 - * sikeres munkapróbakészítés.

A VFI eljárásváltozatai

Az utóbbi évtizedekben a világelső hegesztő eljárásaként ismert VFI-nek számos speciális célzatú eljárásváltozatát fejlesztették ki; ezek valamilyen alkalmazási cél jobb, gazdaságosabb megvalósítását teszik lehetővé. A teljesség igénye nélkül néhány fontosabb variáns ezek közül:

- védőgáz, fogyóelektródás ívponthegesztés,
- elektrogázhegesztés,
- keskenyréshegesztés.

Az alapváltozathoz hasonlóan a három alváltozat tömör és porbeles huzallal, inert vagy aktív védőgázzal is végezhető, így az említett, fontosabb eljárásváltozatok száma többszöröződik.

A VFI gépesíthetősége és automatizálhatósága

A VFI kézi változata a BKI-hoz viszonyítva legalább két-háromszoros termelékenységű. Mivel az eljárás jól gépesíthető, ez a különbség tovább fokozható. Az eljárás elektromos, kinematikai és geometriai paramétere villamos úton jól mérhető és szabályozható, az ív könnyen gyűjthető, stabilan fenntartható és könnyen eloltható. Mindezek miatt a rugalmas ívhegesztő automaták (az ún. hegesztő robotok) csaknem kizárólagos jelleggel VFI berendezéssel vannak ellátva.

A VFI nemcsak az ezredforduló vezető hegesztő eljárása, de a közeljövőben felhasználási részarányának további növekedése várható.

3.2.1.5. Semlegesvédőgáz, volfrámelektródos ívhegesztés

A BKI és a VFI a fogyóelektródás ívhegesztések közé tartoznak, ezzel szemben a semlegesvédőgáz, volfrámelektródos ívhegesztést (SWI) a W elektródja után nemolvadó elektródos ívhegesztésnek nevezzük.

A nemolvadó elektród a leggyakrabban W, vagy W mátrixú kompozit. A ma ismert legfontosabb W elektródos ívhegesztések a következők:

- Hidrogén védőgáz, W elektródos ívhegesztés (HWI),
- Hélium védőgáz, W elektródos ívhegesztés (HeWI),
- Argon védőgáz, W elektródos ívhegesztés (ArWI, az ipari gyakorlatban AWI),
- Argon + hélium védőgázkeverékes, nemolvadó W elektródos ívhegesztés [(Ar+He)WI],
- Plazmaívhegesztés (PI).

A nem aktív (semleges *Ar*, *He*, *Ar+He* keverék és ugyanezen gázok keveréke) kismennyiségű redukáló jellegű *H*-nal) gázokat használó, volfrámelektrodos ívhegesztéseket *semlegesgázdédelmü*, *volfrámelektrodos ívhegesztés (SWI)* gyűjtőnévvel foglaljuk össze. Hivatalos angol elnevezésük: *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*. Alternatív elnevezésként a *TIG (Tungsten Inert Gas)* illetve a német nyelvterületen a *WIG (Wolfram inert Gas)* is gyakori.

A további nemesgázok (*Ne*, *Kr*, *Xe*) kis természetbeli előfordulási koncentrációjukkal összefüggő magas előállítási költségük miatt védőgázként nem jöhetnek számításba. A *HWI* és a *PI* eljárásoknál teljes egészében vagy részlegesen *H*-t tartalmazó, vagyis redukáló hatású védőgázt, vagy gázkeveréket használnak. Ez – szemben az oxidáló, vagy másképpen aktív védőgázokkal – azért nem okoz problémát, mert a *W* elektród hidrogén atmoszférában még igen magas hőmérsékleten sem károsodik.

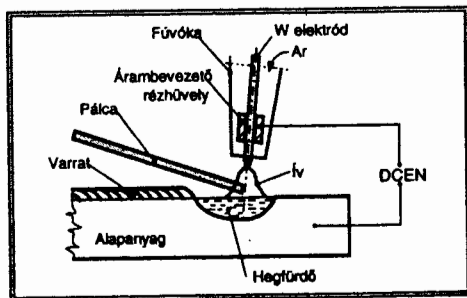
A *W* elektrodos ívhegesztések összegzett részaránya az összes ömlesztő hegesztő eljárásból világátlagban mintegy 3...5 %-ra tehető. Főleg a kézi változatok terjedtek el, de az eljárások kiválóan gépesíthetők és robotizált hegesztésre is alkalmasak.

A semlegesvédőgáz, *W* elektrodos ívhegesztés elve

Az *SWI* olyan hegesztő eljárás, amelyben az egyesítendő fémeket egy nemolvadó *W* elektród és az alapanyagok között semleges (nem aktív) gázban égő ívvel hevítjük. A hegesztéshez pálcát vagy huzalt hozaganyagot használnak, de a hegesztés hozaganyag nélkül is végezhető (autogén hegesztés).

Az eljárás egyszerűsített vázlatát a 3.35. ábrán látható. A *W* elektród és az alapanyag között létesített ívet, a *W* elektród forró végét és a hegfürdőt nemesgáz védi a levegő káros gázaitól (*N₂*, *O₂*, *H₂*).

Vékony lemezek peremvarrataihoz és *I* varrataihoz hozaganyagot nem használnak, de relatíve vastagabb lemezek leélezett varratfajtáihoz pálcát vagy huzalt töltőanyagként szükség van, amit azonban nem kötnek be az ívet tápláló áramkörbe. A hozaganyagot az ív hője hevíti olvadáspontja fölé, ezért viszonylag nagyméretű folyadékseppként kerülnek a hegfürdőbe. A nemesgázban fenntartott *W* ív stabil, jól szabályozható, hegesztés közben alig van fröcskölés és füstképződés.



3.35. ábra

A kézi semlegesvédőgáz, *W* elektrodos ívhegesztés vázlat

Az *SWI* eljárás előnyei és korlátai

Az *SWI* valamennyi ívhegesztő eljárás közül a legideálisabb körülmények között létesített, nagyon rugalmas, stabil és szabályozható ív hőforrással működik, emellett igen jó minőségű varratot eredményez. Az eljárás fő előnyei a következők:

- a *W* ideális, a ma ismert legjobb elektródanyag, kiváló elektronemissziós képességgel, csekély fogyással és jelentős áramterhelhetőséggel,
- a nemesgázok (ezen belül főleg az *Ar*) ideális védőgázok, amelyek az ív meggyújtását, újragyújtását (*AC*) és stabil égését egyaránt támogatják, a héliumot kivéve a levegőnél nehezebbek, ezért a legfontosabb hegesztési helyzetekben a hegfürdő felé áramlanak,
- a *W* ív rugalmas, széles teljesítménytartományban szabályozható, impulzusívű áramforrással, egyenárammal és váltakozóárammal egyaránt táplálható,
- nincs salakképződés, alig van fröcskölés, ezért hegesztés után tisztító műveletre gyakorlatilag nincs szükség,
- nincs füstképződés, ezért a hegesztő az ívet és a hegfürdőt jól látja, egésze nem forog veszélyben,
- a varrat minősége kifogástalan, külső megjelenése esztétikus, mérhető geometriai és mechanikai jellemzői kiválóak,
- az eljárás gyakorlatilag minden ipari fém(ötvözet)hez alkalmazható,
- minden térbeli helyzetben megfelelő eredményt ad.

Az *SWI* kiváló minőségi és folyamatjellemzőit az eljárás nagyobb fajlagos költségei és kisebb teljesítménye ellensúlyozza ki. Az említésre érdemes hátrányok a következők:

- kis áramsűrűség, a *He* mentes védőgázokban alacsony ívfeszültség, kis hőáram, kis beolvadási mélység, kis hegesztési sebesség,
- időegység alatt kis leolvasztott hozaganyagtömeg,
- képzett hegesztőt igényel, kézi változata kétkezes hegesztési technikával végezhető,
- berendezése, elektródanyaga és védőgáza nagyon drága, ezért a varrat-hosszegységre vonatkoztatott fajlagos költsége magas,
- kiépített védőgázellátó infrastruktúrát igényel.

Az eljárás alkalmazási területei

Az eljárás jellemzőiből, valamint az előzőekben felsorolt előnyeiből és hátrányaiból következik, hogy az alkalmazás csak relatíve szűk területen lehet gazdaságos. Az alkalmazási területek tárgyalásakor nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az *SWI* a hegesztőeljárások királya, amit csak indokolt esetben célszerű választani. Az előző nézőpontnak megfelelő tipikus alkalmazási lehetőségekre néhány példa a következőkben található.

Értékes, vagy leolvadó hozaganyagú eljárásokkal nehezen hegeszthető anyagok hegesztése. Erősen ötvözött, korrózióálló, hőálló acélok hegesztése. A drága alapanyag és a magas minőségi követelmények miatt.

Alumínium, titán, réz, nikkel, cirkónium és egyéb nemvasfémek és ötvözeteik hegesztése, főleg olyan esetekben, amikor aktív védőgázzal egyáltalán nem lehet hegeszteni (*Al, Ti*) vagy nem lehet a kívánt magas minőséget biztosítani.

A hegesztés szempontjából nehezen kivitelezhető esetek

Olyan esetekben, amikor szabályozott hőbevitelre, kistömegű hegfördőre és gyors fürdődermedésre van szükség (térbeli hegesztés, vékonylemezek hegesztése és gyökhegesztés). A hőbevitel és a tőle független hozaganyag-adagolásból származó előnyöket használjuk ki, tetszőleges alapanyagok esetén. Pl. helyszíni csőhegesztés gyöksora, vagy a teljes vastagságra kiterjedő varrata. Vékony lemezek peremvarratainál hozaganyag alkalmazása nélkül.

A nehéz hegeszthetőségi esetekben az alapanyagból levágott lemezcik hozaganyag és az SWI kombinációval mindig érdemes kísérletezni.

Igényes felületi bevonatok készítése

Magas olvadáspontú öntött, keramikus vagy kompozit pálcák, esetleg porhozaganyagok ráolvasztása fém alaptestekre a kívánt felületi tulajdonságok (kopásállás, korrózióállás, hőállás, vagy ezek kombinációjának) elérésére.

Az SWI eljárás gépi berendezése

Az SWI eljáráshoz sok részből álló, bonyolult, magas szinten elektronizált, igen drága gépi berendezés tartozik. A költségek csökkentése csak úgy lehetséges, ha a mindent tudó gépek helyett csak korlátozott célra használható, egyszerűsített berendezést vásárolunk. A teljes körű gépi berendezés fő részei a következők:

- áramforrás az AC hegesztéshez szükséges kiegészítővel,
- pisztoly az összekötő kábel- és tömlőkötéggel,
- védőgázellátó rendszer,
- hűtőrendszer,
- vezérlő, szabályzó, programozó és kijelző rendszer,
- huzalelőtoló és előmelegítő rendszer (opcionális),
- hegesztő készülék (elsősorban gépi hegesztéshez),
- védőfelszerelés.

Áramforrás és kiegészítői

A hegesztőberendezés legfontosabb egysége az áramforrás. A korszerű áramforrás egyenirányító, vagy inverter típusú, stabil vagy hordozható kivitelben.

Az áramforrás egyenáramú (DC) és váltóáramú (AC) üzemre egyaránt alkalmas. A csak egyenáramú gépekkel alumínium és hasonlóan stabil oxidokkal borított felületű fémek és ötvözeteik nem hegeszthetők.

A hegesztőgépek eső statikus karakterisztikájú, ún. áramtartó áramforrások. Minél meredekebb a statikus karakterisztika, annál stabilabb hegesztőív tartható fenn. A kézi ívhegesztéseknél óhatatlanul előforduló ívhosszváltozásokor ugyanis a hegesztőáram ilyen esetekben alig változik.

A kézi hegesztésre szánt áramforrások 50 %-ot nem meghaladó bekapcsolási idővel készülnek. Gépi hegesztéshez célszerű 100 % bekapcsolási idejű gépet vásárolni.

A hegesztőgépek áramtartománya 150 A alatti, 150 és 350 A közötti és 350 A feletti alcsoportokra osztható. A 350 A feletti gépeket csak ritkán alkalmazzák. Az áramtartomány alsó határa szokatlanul alacsony, mintegy 5 A-re tehető. A munkaponthoz tartozó feszültségintervallum *Ar* védőgáz esetén 10 és 30 V közé esik, a sok *He*-ot tartalmazó védőgázban ennek mintegy 1,5...2-szerese is lehet. Az áramerősség és a feszültség közötti előírt összefüggés a *National Electrical Manufacturers Association* (USA) szerint:

$$U_{iv} = 13 + 0,012 \cdot I_h \quad (3.22)$$

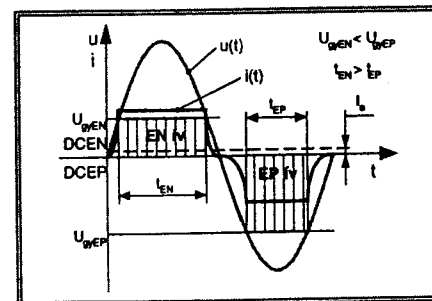
Az áramforrások a hegesztő nagyobb kényelme és a kedvezőbb varratminőség elérése érdekében áramnövekedés és áramcsökkenés távszabályozóval, távolsági áramszabályozóval, sőt a legkorszerűbbek ezen kívül kisméretű (ún. lassú) impulzusegységgel és programegységgel is fel vannak szerelve.

A váltakozó áramú áramforrások kiegészítő egységei

A váltóáramú ívben az áramforrás eredetileg szabályos szinuszhullámmal leírfható szekunder feszültsége eltorzul, mivel az ívgyulladás és ívfenntartási differenciák miatt a kedvezőbb adottságokkal bíró egyenes polaritású (DCEN) félperiódus időtartama a fordított polaritású (DCEP) félperiódus rovására megnövekszik. Az ívégsi aszimmetria hatására az íváram úgy torzul el, hogy a közelítőleg trapézshullám középvonala felfelé tolódik, vagyis a váltakozó áramhullám egy egyenáramú komponensre (I_e) szuperponálódik (3.36. ábra).

Mivel a stabil oxiddal borított könnyűfémek felülettisztítása a DCEP félperiódusban megy végbe, a fordított félperiódus lerövidülése a hegesztés sikerét veszélyeztetné, ezért nem megterhelhető jelenség, ami ellen védekezni kell. A hatékony védelemnek a következő módjai ismeretesek:

- az üresjárás feszültség 5...6-szoros megnövelése (balesetelhárítási szempontból nagyon kedvezőtlen),
- nagyfrekvenciás áram szuperponálása a hegesztő áramra (rádió, televízió és telefonvételi zavarokat okozhat),
- aszimmetrikus négyszöghullám alkalmazása.



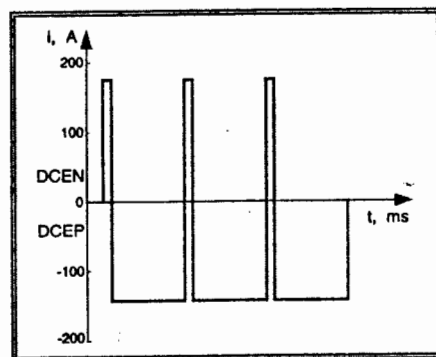
3.36. ábra

Az egyenáramú komponens megjelenése szinuszos váltakozóárammal táplált SWI ívben

Mivel valamennyi módszer közül az utolsó a legkorszerűbb és a legperspektivikusabb, ezt a módszert egy konkrét példán keresztül ismertetjük.

A vezérelt egyenirányított (tirisztoros) áramforrások esetében az egyes, téglalap alakú félhullámokat külön tirisztor szabályozza, ezért lehetőség van a DCEP félhullám idejének meghosszabbítására (vízszintes szabályozás), vagy a DCEP polaritáshoz tartozó áramerősség megnövelésére (függőleges szabályozás). A 3.37. ábrán bemutatott módon arra is lehetőség van, hogy mindkét irányú szabályozást egyidejűleg alkalmazzák.

A fordított polaritású félhullám idejének és/vagy áramerősségének beállítása a hegesztőgépen elhelyezett potencióméterekkel vagy programból oldható meg.



3.37. ábra

Egyidejű vízszintes és függőleges szabályozás az egyenáramú komponens kiszűrésére (jellemző értékek: 3 s, 21 s, 180 A, 140 A)

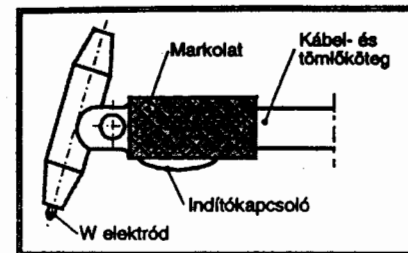
Hegesztőpisztoly

Az SWI hegesztés szerszáma a hegesztő pisztoly. Feladata az ív létrehozásához, fenntartásához, szabályozásához és védelméhez szükséges alkatrészek befoglalása és a szükséges villamos, gáz-, illetve hűtővízáramlás biztosítása.

A pisztolyokat a rajtuk átfolyó áramerősség folyamatosan hevíti, ezért hűtésük-ről gondoskodni kell. A 100 %-os bekapcsolási idő esetén mintegy 150-200 A-ig a védőgáz hűthetősége kielégítő, ezen felül vízűtés kötelező. (Azokban a ritka esetekben, amikor a hegesztőgép hőmérséklete 0 °C alá csökkenhet, víz helyett alacsony fagyáspontú hűtőfolyadékot kell használni). A bekapcsolási idő csökkenésével az adott áramhatár a nagyobb értékek felé tolódik el. A ma a kereskedelemben kapható legnagyobb pisztolyok 600 A-rel terhelhetők.

A gépi pisztolyok lineáris kialakításúak, vagyis a W elhelyezése és a kábelcsatlakozás is tengelyirányú. A biztonságos megfogás a hengeres pisztolytesten könnyen megoldható.

A kézi pisztolyok a kényelmes tartás és vezetés érdekében többnyire pisztoly alakúak, vagyis a 3.38. ábrán látható elrendezésűek (a W és a kábelcsatlakozás kb. 75°-os szöget zár be). Szűk helyekre rövidvolfrám kialakítású pisztolyt, kis áramerősségekhez ceruzaként fogható lineáris típusú is forgalmazzanak. A szűk helyen végzett hegesztéshez és a kényelmes térbeli hozzáféréshez gömbcsuklós fejű, elfordítható kialakítású pisztolyokat gyártanak.

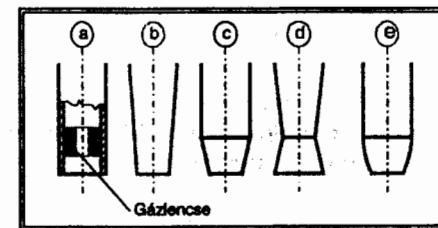


3.38. ábra

Kézi hegesztő pisztoly SWI eljárásához

A hegesztőpisztoly fontos eleme a gáz(terelő) fúvóka, amely a védőgáz irányítását és lamináris áramlását hivatott megvalósítani. Mivel a fúvókából kiáramló védőgáz sebessége a szokásos térfogatáramoknál nagyobb, mint a lamináris áramláshoz tartozó (a Reynolds számból meghatározható) kritikus érték, a fúvóka optimális alakjának és méretének meghatározása komoly fejlesztőmunkát igényel. Néhány fúvókaalakot a 3.39. ábrán mutatunk be.

A vízűtéses fúvókák anyaga Cr bevonatú réz, a gázűtésű fúvókáké Al_2O_3 alapú kerámia.



3.39. ábra

Az SWI pisztolyok szokásos gázfúvóka kialakításai

A 3.39. ábrán feltüntetett gázlencse egy sárgarézből, vagy bronzból gyártott többrétegű szitaszövet, amely a kiáramló gázt párhuzamosítja, ezzel a W pisztolyból való kinyúlásának megengedett maximális méretét a gázlencse nélküli 3... 5 mm-ről kb. 15...20 mm-re növeli meg. Nehéz hozzáférésű helyeken, például vastagfalú cső gyökvarratának készítésekor a hosszabb elektródkinyúlás a munkavégzést nagyon megkönnyíti.

Tömlő- és kábelköteg

A hegesztő pisztolyt az áramforrással egy közös szigetelőburkolattal egybefogott vezeték- és tömlőegység köti össze. A tömlő- és kábelkötegnek nevezett egység a következő elemeket tartalmazza: főáram kábel, nagyfrekvenciás (NF) vezeték, kapcsolóvezeték, távvezeték vezeték(ek), védőgáz tömlő, hűtővíz pisztolyhoz tömlő, hűtővíz pisztolytól tömlő.

Az összekötő tömlő- és kábelköteg optimális hossza 3 m körül van, amely már kényelmes munkavégzést tesz lehetővé, ugyanakkor még elfogadható mértékű fe-

szükségesést, védőgáz- és idővesztéséget okoz. Ennél rövidebb kábelhossz csak gépesített hegesztésnél fordul elő, ahol a hosszúság akár fél m -re is csökkenhet.

Védőgázellátó rendszer

A védőgázellátó rendszer technikailag azonos a VFI-nél megismerttel, vagyis gázátároló edényből (tartály vagy palack), nyomáscsökkentőből, átfolyásmérőből és műanyagtömlőből áll.

A megfelelő védelemhez szükséges védőgáz mennyiség a védőgáz sűrűségétől és a pisztoly nagyságától függ. Átlagos pisztoly méretet feltételezve argonból 5...15 l/min , a levegőnél jóval könnyebb héliumból 20...40 l/min gázáramra van szükség.

A védőgázrendszer fontos részei a mágneses gázszelepek (gázörök), amelyek az ívgyújtást és -fenntartást minden olyan esetben megakadályozzák, amikor a gáz nem áramlik, vagy mennyisége a hatékony védelemhez nem elegendő.

Hűtőrendszer

A folyamatosan nagy áramerősséggel üzemelő hegesztőpisztolyok túlmelegedését 1...2 l/min vízárammal el lehet hártani. A lágyított vízzel üzemelő zártrendszerű hűtőkör 50...100 l -es víztartályból, szivattyúból, szűrőből, átfolyásmérőből és csővezetékéből áll. A vízellátás felügyeletét mágnesszelep (vízör) biztosítja. A hűtőrendszer normális működését rendszeres karbantartással kell elősegíteni.

Vezérlő, szabályzó, programozó és kijelző rendszer

A sokfunkciós hegesztő berendezést összetett elektronikus rendszer szolgálja ki. A rendszerhez tartoznak a kapcsolók, a távvezérlők, a választókapcsolók, a beállító gombok, a különféle kijelzők, figyelemfelhívó eszközök és a gáz-, illetve a vízfelügyelet.

A W elektród védelme miatt a hegesztés indításakor és leállításakor a funkciók csak szigorú sorrendben kapcsolhatók.

Bekapcsoláskor a hűtőkör aktivizálása után a gázáramlást kell megindítani. Ekkor 10...20 s késleltetési idő biztosítja, hogy a több méter hosszúságú védőgáz tömlőből a levegő eltávozzon és az ív csak nemesgázban legyen meggyújtható. Az adott időtartamú öblítés után a NF és a főáram indítható.

Kikapcsoláskor a sorrend fordított: a főáram és a NF kikapcsolása után ismét 10...20 s időnek kell eltelnie, hogy a forró elektródvég nemesgázban hűljön le és levegővel semmi esetre se érintkezessen. A be- és kikapcsolási sorrendet az automatika biztosítja; a hegesztő a folyamatot a pisztolyon elhelyezett főkapcsolóval (*trigger*) csak elindítja.

A legmodernebb gépeket programozó és programtároló egység egészíti ki. Az *on-line* vagy *off-line* programozás és a WPS szerinti programválasztás növeli a rendszer rugalmasságát és egyszerűsíti a hegesztő beállítási tevékenységét.

Huzalelőtoló és előmelegítő egység

Az SWI eljárás alapján véve kézi hegesztés, de nemolvadó elektródjára való tekintettel jól gépesíthető. A gépesített hegesztés céljaira a mindössze 1 m hosszúságú pálcá hozaganyag nem felel meg, ezért a védőgáz, fogyóelektródás hegesz-

tésenként szokásos módon huzalelőtoló berendezés segítségével a hegesztőívbe árammentes (ún. hideg) huzalt adagolnak.

A gépi mechanizmussal folyamatosan előtolt huzallal a fajlagos hozaganyag leolvastási teljesítmény megtöbbszörözhető. A leolvastási teljesítmény a huzal előmelegítésével tovább fokozható. A huzal egy adott (változtatható) hosszúságán csúszóérintkezők segítségével áramot átvezetve az áram Joule hője a huzalt előmelegíti, így az olvadáspontig hevítéshez és leolvastásához a hegesztő ívből kevesebb energiára van szükség. Az előmelegítést külön áramforrásról oldják meg, erre a célra a legegyszerűbb váltakozóáramú transzformátorok is megfelelnek. A meleghuzalos SWI eljárásra jellemző leolvastási teljesítmény legalább kétszerese a hideghuzalosénak, és 6...8-szorosa a pálcás kézi hegesztésnek. Meleghuzalos SWI hegesztéssel szélső esetben szokatlanul nagy, 25...30 kg/h leolvastási teljesítmény is elérhető.

Az SWI hegesztőanyagai

Az SWI hegesztőanyagok közé a különféle hozaganyagok, a védőgáz és az elektród tartoziknak.

Hozaganyagok

Az SWI végezhető hozaganyag nélkül, pálcá vagy huzal adagolásával és csövek esetében gyökbetét alkalmazásával.

Az SWI hegesztés pontosan illesztett, 3 mm -nél nem vastagabb lemezek esetén hozaganyag nélkül is végezhető. Az autogén hegesztés egyszerűen gépesíthető, mivel a hozaganyag adagolásának feladata ilyenkor elmarad.

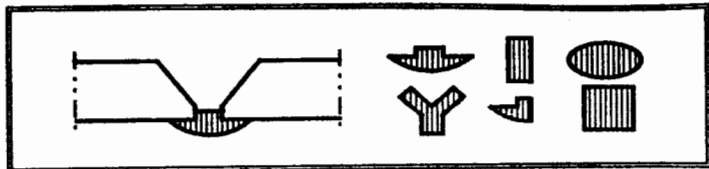
A semleges védőatmoszféra miatt a hozaganyag vegyi összetétele az alapanyagéhoz nagyon közeli lehet. Oxigén okozta kiegészítő hiányában ugyanis ötvözővesztéséget mindössze az elgőzölögés okozhat.

A csövek kritikus gyökértege minél biztonságosabb elkészíthetőségének érdekében különböző beolvadó gyökbetét-típusokat fejlesztettek ki (3.40. ábra). Az alapanyagával megegyező összetételű betét előre felhelyezett hozaganyagként fogható fel.

Védőgáz

A felhevült W elektród oxidációja aktív atmoszférában 1000 °C hőmérséklet felett annyira intenzívvé válik, hogy az elektród gyorsan tönkremegy. A W elektród nemesgázban, esetleg enyhén redukáló (nemesgáz-hidrogén) gázkeverékben viszont hosszú élettartamú, hegesztésre, vágásra alkalmassá válik.

SWI hegesztéshez a többi nemesgáz drágasága miatt csak Ar -t, He -ot, vagy a kettő keverékét használják. Az Ar stabilabb ívet, könnyebb ívgyújtást, a He nagyobb ív feszültséget és hőáramot biztosít. A He jobb hővezetőképessége egyenletesebb beolvadási alakot eredményez. A nemesgázok a hegfürdő fémében nem oldódnak, az alapanyaggal kémiai reakcióba nem lépnek, a hegesztő egészségére nem ártalmasak, nem égnak és nem robbanásveszélyesek.



3.40. ábra

Beolvadó gyökbetétek az egyoldali varratok gyökhegesztése megbízhatóságának javítására

W elektród

A W fémét mai ismereteink szerint a legkedvezőbb elektródanyagként tekintjük, mivel magas olvadáspontja és kis elektronemissziós energiája erre a célra igen alkalmas teszi (lásd még: világítótest izzószála, elektronágyú katódja).

A W-ot magas olvadáspontja miatt hagyományos olvasztásos kohászati eljárással nem lehet kohósítani, ezért a $(FeMn)W_3$ -at tartalmazó wolframit nevű ércből porkohászati úton állítják elő. A W port kötőanyaggal keverik, majd alakra sajtoltják és szinterizálják. A szinterrudakat melegen kovácsolják, melegen méretre húzzák és csúcsnélküli köszörüléssel finiselik. A W elektród különböző átmérekben (1,6; 2,0; 2,4; 3,2; 4; 5 mm) és hosszúságokban (50...600 mm) kerül forgalomba.

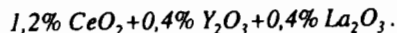
Az ismertetett módon előállított W tisztasága legalább 99,9%. Régi tapasztalat, hogy az idegen anyagot tartalmazó W elektronemissziós energiája csökken (5,2 eV-ről egészen 2,6 eV-ig). Az idegen anyagot tartalmazó W (fém-kerámia) szemcsés kompozit, ezért a nem helytálló ötvözött W helyett helyesebb ezeket kompozit elektródnak nevezni.

A kompozit elektródanyagok W mátrixban egyenletesen elkevert kerámikus anyagot, mégpedig különböző fénoxidokat tartalmaznak. A leggyakoribb kombinációk a következők:

- W-ThO₂ (0,5...2%) ThO₂ tartalommal),
- W-ZrO₂ (0,5...1%) ZrO₂ tartalommal),
- W-CeO₂ (0,5...1%) CeO₂ tartalommal),
- W-Y₂O₃ (0,5...1%) Y₂O₃ tartalommal),
- W-La₂O₃ (0,5...1%) La₂O₃ tartalommal).

Mivel a W-ThO₂ kompozit radioaktív, köszörülésnél a finom por belégzése súlyos egészségkárosodást okozhat. A sugárveszély kiküszöbölése érdekében ThO₂-ot nem tartalmazó elektród használatát javasoljuk.

Természetesen a kompozitban többféle oxidkerámia egyidejű jelenléte is lehetséges. Nagyon ígéretesnek látszik az a kombináció, amely a mátrixfémnél kívül a következő fénoxidokat tartalmazza:

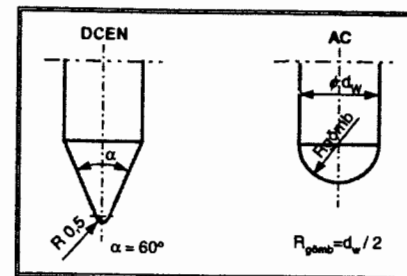


A kompozit W elektródok nagyobb áramterhelhetőséggel, hosszabb élettartammal és jobb ívstabilitási tulajdonsággal jellemezhetők. Váltakozóáramú hegesztéshez a jó ívújragyújtási képességű W+ZrO₂ kombináció szükséges.

A W elektródot egyenáramú hegesztésnél az ívtalpfolt helyének stabilizálása érdekében kúposra köszörülik. A szokásos teljes kúpszög ($R=0,5$ mm-es csúcsu-

gárral) 30...120°, leggyakrabban a 60°-os értéket alkalmazzák (3.41. ábra). A szimmetrikus alak biztosításához egyszerű, kisméretű W célköszörűgépek kaphatók.

A váltakozóáramú hegesztésnél a köszörülésnek nincs értelme, mert a nagy hőterhelés következtében a W elektród vége egy...két min ívűd után közel fél-gömbalakúra módosul. A gömbátmérő normális esetben az elektródaátmérő 1...1,5-szerese lehet.



3.41. ábra

Az elektród végének javasolt kiképzése DCEN és AC ívhez

Normális körülmények között a W elektród átlagos fogyasztása 0,1 mm/min. Ha a W forró fémolvadékkal érintkezik, vele ötvözetet alkotván az olvadáspontja lecsökken és emissziós képessége leromlik. Az ilyen szennyezett elektród hegesztésre alkalmatlan, a szennyezett részt továbbfelhasználás előtt mindenképpen el kell távolítani.

Az SWI hegesztés technológiai jellegzetességei

Az SWI relatíve alacsony ($5...50 A/mm^2$) áramsűrűsége miatt az ívkarakterisztika vízszintesközeli szakaszán elhelyezkedő munkapontban üzemel. A hegesztés jellegzetesen egyparaméteres eljárás, ami azt jelenti, hogy a hegesztő az áramforráson található potencióméterrel kiválaszt egy statikus karakterisztikát és a munkapont két koordinátája (a hegesztő áramerőssége és az ívfeszültség) elsődlegesen a védőgáznak, és az ívhossznak, másodlagosan az elektródaátmérőnek és az áramnemnek, illetve a polaritásnak megfelelően beáll egy adott értékre.

A semlegesvédőgáz, W elektródos kézi hegesztés hozzávetőlegesen 2...4 mm/s körüli sebességgel végezhető. A lerakott varratkeresztmetszet a haladási sebesség, a pálcátmérő, a pálcadagolás és a keresztirányú ívelés függvénye. Egy hegesztő egy óra effektív ívűd (kb. 2 óra munkaidő) alatt 1...2 kg pálcát tud leolvasztani. 1 kg pálcából a nagyon minimális veszteségek miatt közel 1 kg hegőmledékre lehet számítani.

Az SWI jellegzetesen kétkézes hegesztés. A pisztolyt a jobb, a pálcát a bal kézben tartó (jobbkezes) hegesztő jobbra és balra egyaránt hegeszthet. A hegesztő-pajzs a kezek foglaltsága miatt fejre erősíthető kivitelű.

Az SWI hegesztés legismertebb alváltozatai

Az SWI hegesztés sok módosulata közül a legnépszerűbbek az ívponthegesztés, a hideg- és meleghuzalos gépi hegesztés, a keskenyréshegesztés, a (lassú) impulzushegesztés, a gépesített, orbitális csökörvarrathegesztés és ahőcserélő csövek gépesített behesztése a végfalba.

3.2.1.6. Fedettívű hegesztés

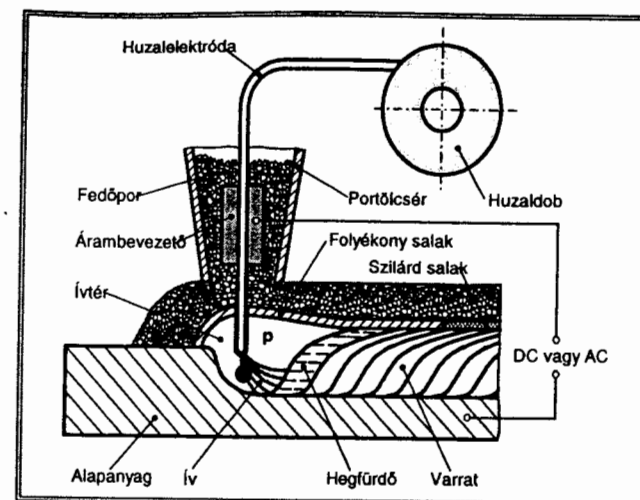
A fedettívű hegesztés, rövidítve *FH* (*Submerged Arc Welding, SAW; Unterpulverschweissen*) az ömlesztő hegesztések salakvédelmű csoportjához tartozik. A salakvédelemhez elenyésző mértékű járulékos gázvédelem is járul, de ennél az eljárásnál (a *BKI*-tól merőben eltérő módon) ez nem tudatosan szándékolt gázképzést, hanem csak a végbemenő hasznos vegyi reakciók melléktermékét jelenti. A *FH*-nél a salakmetallurgiában rejlő lehetőségek pozitív hatását a salakeltávolítás műveletének szükségessége ellensúlyozza.

Az eddig megismert nyíltívű (szemmel látható ívű) hegesztésektől eltérően a *FH* íve zárt salakburokban, az emberi szemtől elzárva ég, ezért a hegesztés követéséhez hegesztőpajzsra nincs szükség. A fedettívű hegesztő eljárás első szabadalma 1930-ból származik (USA). Egyik jelentős korai alkalmazása a vastagfalú csövek hosszvarratának hegesztése volt. A fedettívű eljárás részaránya az összes ömlesztő eljárásból 5 és 8 % közé tehető. A fejlett hajógyártással rendelkező országokban ez az arány magasabb, a többi országban alacsonyabb. Az eljárás egyezményes számkódja 12.

A fedettívű hegesztés elve

A fedettívű hegesztés alapváltozatánál a *VFI*-hez hasonlóan a dobról lecsévélt huzaltolórendszerű huzaltovábbító tolja a pisztolyba. Az árambevezetés csúszó kontaktussal közvetlenül az ív előtt történik (3.42. ábra). Az árambevezető hüvely és a huzalvég közötti szakaszt (szabad huzalhossz) az átfolyó áram Joule hője és az ív sugárzó hője hevíti. A *VFI* hegesztésnél megismert védőgázterelő fúvóka helyén portölcsért találunk, ami a fedőport a huzal körül a tárgy felületére juttatja.

A fedettívű hegesztés azt a hőt hasznosítja, ami a folyamatosan előtolt és a szabad huzalhosszon az átfolyó áram Joule hőjével előmelegített huzalelektroda és az alapanyag közötti villamos ív szolgáltat. Az ív a fedőporkomponensek és kisebb mértékben a hegesztendő tárgy anyagának ionizált alkotóit tartalmazó ívatmoszférában létesül. A tárgy felületére adagolt fedőpor alsó része megolvad és az ívteret, valamint a hegfürdőt felülről határolja. A salak és az ömledékfém szétválása a sűrűségkülönbségen alapszik (a salak sűrűsége az acélénak mindössze negyedötöde). A salak- és fedőporréteg súlyerejével a zárt ívkaverna gáz- és gőzfázisának enyhe túlnyomása tart egyensúlyt.



3.42. ábra

A fedettívű hegesztés elvi vázlata

A nem megolvadó fedőpormennyiség újra felhasználható. A fedőport a tároló tartályba hőálló porszívóval juttatják vissza. A szilíciumdioxid tartalma miatt üvegszerű salakot a benne lejátszódott irreverzibilis kémiai reakciók miatt nem szabad újra felhasználni. Mivel a fedőpor kémiai jellege semleges, bázikus vagy savas lehet, a huzalelektroda csak a salak metallurgiai hatásának ismeretében választható meg.

A huzalelektroda 3.42. ábra szerinti fordított polaritású (*DCEP*) kapcsolása gyakoribbnak és kedvezőbbnek tekinthető, mivel stabilabb ívet, és kedvezőbb varratbeolvadási alakot garantál. Az egyenes (*DCEN*) kapcsolás mellett csak a nagyobb leolvasztási teljesítmény szól, ami azonban a sekély beolvadás miatt csak felrakóhegesztéshez előnyös.

A fedettívű hegesztésnél a többnyire nagyceppes anyagátviteli mód nem játszik a *VFI*-hez hasonlóan lényeges szerepet, mivel az esetlegesen szétfröccsenő cseppek csaknem teljes egészében újra a hegfürdőbe kerülnek.

Az eljárás előnyei és korlátai

A fedettívű hegesztés elsődleges előnye, hogy nagyon termelékeny. A jó fedőpor- és huzalválaszték révén ma már a hegesztett kötéstől elvárt minőségi igények is kielégíthetők. A *FH* eljárás előnyös tulajdonságai a következőkben foglalhatók össze:

- kiemelkedően nagy leolvasztási teljesítmény,
- gyors hegesztés lehetősége (1...5 m/min is lehetséges),
- sima, esztétikus varratfelület, kedvező varratdudor-alak, nagy varratszélhajlásszög,
- nincs (az ívkavernán kívülre kerülő) fröcskölési veszteség,

- a hőforrás termikus hatásfoka egyhez közeli; ez valamennyi ívhegesztő eljárás közül a legnagyobb (lásd a 2.1. fejezetet),
- nincs nyílt ív, kevés gőz és füst, kisebb egészségi ártalom és elszívási kényyszer,
- jól gépesíthető és automatizálható, jól reprodukálható, a berendezés kezelése nem igényel nagy manuális ügyességet vagy jártasságot,
- a jellemzően vastagabb huzal továbbítása nem annyira problematikus, mint a VFI-nél,
- huzatra, szélre nem érzékeny,
- a többhuzalos és szalagelektrodás alváltozatokkal a teljesítmény tovább növelhető,
- széles fedőpor és huzal választék, elsősorban a különböző szilárdsági csoportba tartozó szerkezeti acélokhoz és a különféle korrózióálló acélokhoz,
- bázikus salak esetén alacsony hidrogéntartalom, kis kén- és foszfortartalom és alacsony átmeneti hőmérséklet érhető el.

A fedettívű hegesztés alkalmazásakor az előzőekben felsorolt előnyös tulajdonságok mellett néhány korlátozó tényezővel kell számolni.

- összetett, drága gépi berendezés, korlátozottabb hordozhatósággal,
- a főmozgás gépesítése miatt készülékezést igényel,
- csak vályúhelyzetben alkalmazható,
- helyszíni hegesztésre nem alkalmas,
- a varrathibák javításához BKI, vagy VFI eljárások szükségesek.

A fedettívű hegesztés megjelenésekor és terjedésekor sok (a BKI és VFI eljárásokra nem jellemző) hegeszhetőségi probléma került felszínre; ezek nagy részét hosszú fejlesztő munkával mára már sikerült kiküszöbölni.

A FH eljárás alkalmazási területe

A fedettívű hegesztés a BKI hegesztés nagyteljesítményű, gépesített utódeljárásának tekinthető, és mint ilyen, elsősorban a normál (5...12 mm), a középvastag (12...25 mm) és a vastag ($\sigma > 25$ mm) lemezek vízszintes vályúhelyzetű tompa- és sarokkötéseikhez alkalmazható. Mivel alapesetben a 20...40 mm rétegvastagságú fedőport a súlyerő tartja a tárgy felületén, kényszerhelyzetű hegesztés, vagy nagy görbületű tárgyak hegesztése külön kiegészítő berendezés nélkül nem lehetséges.

A tompa- és sarokvarratokat varratokat vályú- (az EN 287 szerint PA) vagy vízszintes (PB) helyzetben készítik. A többi hegesztési helyzet a nagytömegű fém- és salakfürdő elfolyási veszélye és a fedőpor már említett súlyerős adagolása miatt nem jöhet számításba, bár laboratóriumi körülmények között a hegfürdő és a fedőpor rézlapos megtámasztásával a haránt (PC) és a függőlegesen felfelé (PF) végzett térbeli hegesztés is lehetségesnek bizonyult.

A FH megfelelő hegesztőhuzal és fedőpor párosítással a legtöbb ötvözetlen, mikroötvözött vagy gyengén ötvözött acélhoz és a korrózióálló acélokhoz alkalmas eljárás. A nemvasfémek közül a Ni ötvözetek egy részéhez kereskedelmi hegesztőanyagok kaphatók, az Al és Cu ötvözetek hegesztését csak laboratóriumi szinten vizsgálták. Az extra feladatok megoldhatóságára példaként az uránium fedettívű hegesztését említjük.

Az elérhető nagyobb beolvadási mélység miatt főleg a középvastag és a vastag szelvények hegesztése gazdaságos. Egy lépésben max. 25 mm beolvadási mélység, vagy 10 mm sarokvarratvastagság érhető el, minőségi okokból mégis inkább a többrétegű hegesztést célszerű előnyben részesíteni. A gépesítés praktikus szempontjai miatt a FH főleg az egyenes, kör és csavarvonal alakú varratokhoz előnyös.

A FH a kötőhegesztések mellett a felrakóhegesztésekhez is használható. Igen kedvező eredmény érhető el a nagy felületek és nagyobb rétegvastagságok egyidejűsége esetén, amire példa lehet a felületek bevonása (plattírozása) vagy kemény réteggel való bevonása. A portöltetű huzalokkal és szalagokkal igen rugalmas és gyors összetételváltoztatásra nyílik lehetőség.

A fedettívű hegesztés gépi berendezése

A fedettívű hegesztő berendezés általános esetben a következő fő egységekből áll: áramforrás, huzalellátó egység, hegesztőfej, fedőporellátó egység, vezérlő, szabályozó, programozó és kijelző rendszer, mozgatókészülék.

Áramforrás

A fedettívű hegesztés áramforrása a nagy áramerősségigény miatt kezdetben a transzformátor volt, később az egyenáramú hegesztés előnyeinek felismerése, a félvezetős egyenirányítás elterjedése miatt az egyenirányítók alkalmazása vált meghatározóvá. Európában és Japánban emellett a váltakozó áramú hegesztés is általánosan használt, mivel az egyenáramú hegesztés ívfűvási problémái 1000 A felett nagyon felerősödnek. A váltakozó áramot szolgáltató transzformátorok az állandó ívújragyújtási feladathoz legalább 80 V üresjárású feszültséggel rendelkeznek. Korlátozó tényező, hogy AC-hez csak az arra a célra kifejlesztett fedőporok alkalmasak. Egyenáramú áramforrás alkalmazásakor a huzalelektrodás hegesztésekre jellemző fordított polaritás (DCEP) a jellemző, a kisebb beolvadási mélységet és ezáltal kisebb felkeveredést (hígulást) eredményező egyenes polaritást (DCEN) csak felrakóhegesztéshez használják.

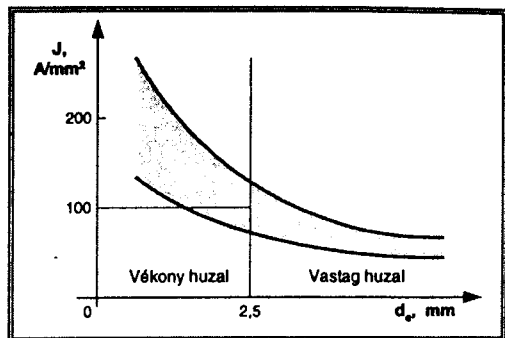
Az áramforrások 300...600 A-es (kisgépek), 600...1200 A-es (középgépek) és 1200...2500 A-es (nagyteljesítményű gépek) áramerősség-tartományban kaphatók. Az áramsükséglet az áramsűrűségek (50...300 A/mm²) és a huzalkeresztmetszet alapján könnyen megbecsülhető.

A FH feszültségének középértékét a salakvédelmi eljárásokra jellemző $U_{\text{FH}} = 20 + 0,04 \cdot I_{\text{H}}$ összefüggés jelöli ki. A nagyobb áramerősségek miatt az ívfeszültség is meghaladja a BKI vagy VFI eljárásokra jellemző feszültségeket. A FH-re jellemző feszültségtartomány a fedőpor által is elsőrendűen befolyásoltan mintegy 30 és 50 V közé tehető.

Az áramforrások bekapcsolási idejét a gépesített hegesztésből és az eljárásra jellemző hosszú varratok készítéséből következően 100 %-ra kell választani. Az áramforrások hatékony hűtéséről (fűjt levegő, víz) emiatt a gyártónak gondoskodnia kell.

A FH áramforrásai vízszintes vagy eső statikus karakterisztikával kaphatók. A 2,5 mm-es, vagy annál kisebb huzalátmérőkkel megvalósított nagy áramsűrűségű vagy más néven *vékonyhuzalos* eljárásváltozathoz közel vízszintes, más néven fe-

szültségtartó jelleggörbe szükséges (3.43. ábra). Állandó sebességű huzalelőtollással belső szabályozásra ad lehetőséget.



3.43. ábra

A fedettívű hegesztés áramsűrűségtartománya a huzalátmérő függvényében

A jellemzően 2,5 mm feletti huzalátmérőkkel végzett alacsony áramsűrűségű, vagy másnéven *vastaghuzalos* fedettívű hegesztés áramforrása a *BKI* és *SWI* eljárások áramforrásaihoz hasonlóan eső (áramtartó) jelleggörbével készül. Itt a belső szabályozás nem eléggé hatékony, ezért az áramforrásokba a feszültségváltozással vezérelt külső szabályozó egységet építenek, ami a huzalelőtollás sebességét változtatja.

Huzalellátó rendszer

A *FH* huzaltovábbító rendszere toló (*push*) típusú. Két változat létezik: az állandó sebességű előtoló a vízszintes karakterisztikájú áramforrásokhoz és a változó sebességű előtoló a vastaghuzalos hegesztéshez.

A változó sebességű előtolók az ívfeszültség változásához igazodó fordulatszámú előtolómotorokkal állandósítják az ívhosszat.

Az állandó sebességű előtolók egyszerűbbek, beállításuk könnyebb és nagyobb ívstabilitást, könnyebb ívgyújtást tesznek lehetővé. Technikai kivitelük megegyezik a *VFI* előtolóival, azzal a különbséggel, hogy a *FH* -nél a nagyon vékony huzalok (1,2 mm alatt) nem nyernek alkalmazást, ezért az előtolás többnyire egy (ritkán két) görgőpárral is megvalósítható.

Hegesztőfej

A mára már múzeumi ritkasággá vált kézi fedettívű hegesztés pisztolya a portartályt is magában foglaló kialakítású, amit 3...5 m hosszú kábel köt össze az áramforrással.

A gépesített hegesztés hegesztőfeje kívül stabil felfogóelemet, belül huzalvezetőt, és árambevezető hüvelyt tartalmaz, a hegesztőfej rövid kábellel csatlakozik az áramforráshoz. A fedőporvezetők cső a hegesztőfejen keresztül a huzalhoz viszonyítottan koncentrikusan helyezkedik el, de sok esetben a fedőport a huzal elé adagolják. Az utóbbi megoldás szerkezetileg egyszerűsíti a hegesztőfejet, de kis sugarú ívknél a fedőport nem a kívánt helyre adagolja.

A többhuzalos technikákhoz kifejlesztett hegesztőfejek a méret-kötöttségek miatt szerkezetileg bonyolult kialakításúak.

Fedőporellátó berendezés

A fedettívű hegesztés salak- és járulékos gázvédelemmel működik. Mindkét védőanyag a fedőporból fejlődik, ezért a folyamatos fedőporellátás a hegesztés sikere és folyamatossága miatt problémamentes kell, hogy legyen.

A fedőpor zsákokban, dobozokban vagy hordókban kerül a felhasználóhoz. A fedőpor tárolására a bevonatos elektródákhoz hasonló szigorú szabályok vonatkoznak. Különösen körültekintően kell kezelni az alacsony hidrogéntartalmú (*LH*) varratok előállítására alkalmas bázikus fedőporokat, amelyeket szükséges esetben felhasználás előtt ki is kell szárítani. A fedőpor egy hozzávetőlegesen öt mm nyílású szűrőn át jut a portartályba, ahonnan egy (kézi vagy mágneses működtetésű) tolózár megnyitásával kerül a surrantócsőbe, ami a hegesztés helyszínére vezeti a fedőport. A fedőporréteg 20...40 mm közötti vastagsága az adagolócső homloklapjának a hegesztendő tárgytól mért távolságával állítható be.

Hegesztéskor a fedőporból 3...5 mm vastagságú salakréteg képződik. A salak aktív anyag, amiben hegesztéskor az acélgépjártáshoz hasonló metallurgiai folyamatok (kémiai reakciók, oldódások és kiválások, salakfelúszás, gázképződés és a gázbuborékok felszínre emelkedése) játszódik le. A folyamatok nagy része íreverzibilis, ezért a salak újraörlés utáni másodszori felhasználása nem engedélyezett. A meg nem olvadt fedőporban nem játszódnak le visszafordíthatatlan folyamatok, ezért (akár többszörösen) újra felhasználhatók. A meg nem olvadt fedőport a hegfürdőtől 100...150 mm távolságban elhelyezett szívócsővel egy hőálló alkatrészekből álló porszívó visszaszívja, vagy a fedőpor más módon összegyűjtethető.

Vezérlő, szabályozó, programozó és kijelző rendszer

A mai korszerű fedettívű berendezést összetett elektronikus rendszer szolgálja ki. A rendszerhez tartoznak a kapcsolók, a távvezérlők, a választókapcsolók, a beállító gombok, a különféle kijelzők, figyelemfelhívó eszközök és a fedőpor-, illetve a vízfelügyelet.

A legmodernebb gépeket programozó és programtároló egység egészíti ki. Az előzetesen kipróbált és minősített programok tárolásával és automatikus előhívásával sok fáradságot lehet megtakarítani, ugyanakkor a hegesztés mindig a legkedvezőbb beállítással végezhető.

A *FH* gépesített eljárás, ami a varrat hosszirányával egyező irányú mozgás gépesítettét feltételezi. A mozgatóberendezés a hegesztőfejet és/vagy a munkadarabot egyenes vonalúan, vagy körpályán mozgatja. Szerencsés esetben a mozgatóberendezés is a vezérlőegység felügyelete alá tartozhat, ami lehetővé teszi a hegesztési sebesség programozását.

Mozgatókészülékek

A hegesztőfej és a munkadarab között szükséges relatív mozgás a hegesztőfej és/vagy a munkadarab változtatható sebességű gépi mozgatásával történhet. Az elmozdulások többnyire egyenes és körmozgással könnyen előállíthatók. Az adott

feladat egyetemes gyári készülékekkel vagy házilag készített célgépekkel oldható meg.

A mozgatókészülék szép példája a tartálygyártáshoz kifejlesztett mechanizmus, ahol a körvarratok hegesztésénél a tarállyalástot forgatják, a hosszvarratok készítésekor viszont a hegesztőfej lineárisan mozdul el.

A FH eljárás hegesztőanyagai

A fedettívű hegesztő eljárásához két, egymástól nem független hegesztőanyag használatára van szükség: a huzalelektrodára és a fedőporra. A hegesztett kötés minősége szempontjából mindkét hegesztőanyag azonos fontossággal bír, mivel a huzal-fedőpor kombinációnak a következő követelményeket kell kielégítenie:

- hegeszthetőségi kritériumok,
- elvárt ömledékösszetétel és mechanikai jellemzők,
- a hegesztési feladathoz (huzalszám, áramnem, hegesztési sebesség, egy- vagy többretegű hegesztés, kötő- vagy felrakóhegesztés) megkívánt hegesztési tulajdonságok.

Huzalelektroda

A fedettívű hegesztés alapanyagválasztéka korlátozott: az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött acélok mellett csak a nikkelbázisú ötvözetekhez gyártanak fedettívű huzalt.

A fedettívű hegesztés huzalait szigorúan megkülönböztetik a VFI huzaloktól, mivel a fedőpor és a védőgáz metallurgiai hatása eltérő. Ez a jelölésben is megnyilvánul: a fedettívű hegesztés huzalait az eljárás angol nevének kezdőbetűje után S-sel (SAW), a VFI huzalt G-vel jelölik (GMAW).

A fedettívű huzalokat (a korrózióálló alcsoporttól és néhány nukleáris alkalmazástól eltekintve) rezegett felülettel gyártják. Az acélhuzalok rezegett felülete korrózióvédő, az áramátadást javító és az árambevezetőt koptatás szempontjából kémélő hatású. A fedettívű huzalok tömör és porbeles kivitelűek lehetnek. Elsősorban felrakóhegesztési célokra tömör és porbeles szalagelektrodák is kaphatók.

A huzalelektrodák 1,6...6 mm átmérővel 10...500 kg-os kiserelésben, dobon tekercsben, vagy hordóban kerülnek forgalomba. A kereskedelemben kapható szalagelektrodák jellemző mérete (25...100)(0,5...1) mm mm, korrózióálló acélokhoz 60 0,5 mm mm, de plattfrozáshoz ennél szélesebb szalagokat is gyártanak.

Fedőporok

A fedőporok a FH minőséget és gazdaságosságot befolyásoló fontos hegesztőanyagok. A fedőpor az elsődleges védelmi funkciók kivül befolyással van az fvstabilitásra, az fvhőmérsékletre, a varrat beolvadási alakjára és méreteire, a hegfürdőben végbemenő metallurgiai folyamatokra, a varrathibákra, a varrat mechanikai jellemzőire és közvetve a hegesztési paraméterekre, a hegesztés teljesítményadataira és a varrat fajlagos költségeire.

A fedőporok gyártási módjai

A fedőporokat természetes ásványokból, vagy szintetikus (ezért nagy tisztaságú) vegyületekből állítják elő olvasztással, vagy porkerámiai eljárással. A fedő-

porok előállítási technológiája alapvető befolyással van a fedőporszemcse alakjára, sűrűségére, pórusosságára, az ötvözés lehetőségére és a hegesztési folyamat paramétereire.

Az olvasztott fedőporok legrégebb és legegyszerűbb előállítási technológiája szerint a porkomponenseket (többnyire ásványi vegyületek) szárazon összekeverik, majd ívkemencében megolvasztják. A homogenizált olvadékokat gyorsan lehűtik, majd őrlés után szitasoron méretfrakciókba osztályozzák.

Az olvasztott fedőpor éles szemcsészetű, nagy sűrűségű, nem porózus; szemcsenagysága néhány tized mm-től néhány mm-ig terjed. Az előállítás 1500 °C feletti hőmérsékletéből következik, hogy a fedőpor sem dezoxidenseket, sem ötvözőket nem tartalmazhat. Az olvasztott fedőporok homogén összetételűek, nem higroszkóposak, porladásra csak kevésbé hajlamosak. Nagy sebességű hegesztésre alkalmasak.

Az olvasztott fedőporokat az angol *Fused* szó kezdőbetűjével, F-fel jelölik. Történelmileg az első fedőportípus volt, amiből igen nagy mennyiséget gyártottak és használtak fel.

A keramikus fedőporok az ipari kerámiákhoz hasonlóan az olvasztási műveletet megelőző előállítási technológiával készülnek. A poralkotókat szárazon keverik, majd hozzáadják a kötőanyagot és a kívánt szemcseméretűre agglomerálják. A porszemcséket szervesetlen kötőanyaggal (Na_2SiO_3 és/vagy K_2SiO_3 , vízüveg) vagy szinterizálással kötik egymáshoz. Szokásos jelölésük a többségi vízüveges kötés-technológia miatt B (*Bonded*). A vízüveges kötésű gyártástechnológia megegyezik az elektrodabevonatoknál alkalmazottal, ezért az ilyen fedőporokat többnyire az elektrodagyárakban állítják elő. A sütési (*baking*) hőmérséklet olyan alacsony (500 °C), hogy a ferroötvözők a többi komponenssel nem lépnek reakcióba, ezért az ilyen fedőporokba ötvözők is elhelyezhetők.

A B jelű fedőporok lekerekített szemcséjűek, porladásra hajlamosak, pórusokat tartalmaznak, nagy felületűek, ezért nedvességmegkötő képességük az olvasztottakénál jóval magasabb. Felhasználás előtt szárítást igényelnek, ennek célja az alacsony hidrogéntartalom (LH) biztosítása. A szárítás irányértéke 300 °C-on 2 h. Az azonnal fel nem használt fedőporokat erre a célra kifejlesztett, kereskedelemben kapható tárolóban 150 °C-on kell tárolni.

A fedőpor salakjának kémiai jellege

A fedőpor megolvadásával létrejövő salak tulajdonságai alapvetően a kémiai jellegükkel kapcsolatosak. A kémiai jelleget a különböző kémhatású komponensek koncentrációiból lehet meghatározni.

- bázikus komponensek: Na_2O , K_2O , Li_2O , CaO , MgO , BaO , MnO , FeO , CaF_2 ;
- savas komponensek: SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 ;
- neutrális komponensek: $NaCl$, KCl .

A salak jellegét a bázikus salakú fedőporok dominanciája miatt a bázicitási indexszel mérik. Többféle ilyen index létezik, a *Bonisevskitól* származó a következő:

$$b = \frac{Na_2O + K_2O + Li_2O + CaO + MgO + BaO + CaF_2 + 0,5 \cdot (MnO + FeO)}{SiO_2 + 0,5 \cdot (TiO_2 + ZrO_2 + Al_2O_3)} \quad (3.23)$$

A salakok savasak, ha $b < 0,8$, neutrálisak, ha $0,8 \leq b \leq 1,2$ és bázikusak, ha $b > 1,2$.

A salakok legkedvezőbb hatásfokkal akkor fejtik ki tisztító funkciójukat, ha bázikus jellegűek. Főleg az O, S és P tartalom csökkentése révén a bázikus fedőporokkal készített varratok szívósabbak a többi fedőporral hegesztetékénél.

A fedettívű hegesztés technológiai sajátosságai

A fedettívű hegesztés kivitelezése sok szempontból jelentősen eltér a nyíltívű eljárásokétól. A gépesített huzalelőtolás és a varrat-hosszirányába eső mozgás, valamint a nem látható ív miatt a hegesztő kezűgyességével kapcsolatos elvárások csökkennek. A fedettívű hegesztést automatakezelő képesítéssel rendelkező személy végezheti, akinek nem szükségszerűen kell manuális hegesztés terén képzetnek lennie.

Huzal és fedőpor kombinációja különböző feladatokra

Minden olyan hegesztő eljárásnál, ahol metallurgiailag két aktív hegesztőanyag gyakorol hatást a varrat összetételére és ezen keresztül a varratulajdonságokra, a két hegesztőanyagot, esetünkben a huzalelektroda anyagát és a fedőport gondosan össze kell hangolni. Az összehangolás a hegesztendő alapanyaggal szemben támasztott követelmények alapján lehetséges, mivel a kötésre ható igénybevételek többnyire az alapanyag megválasztásából levezethetők.

Az összehangolás a következő szempontok alapján végezhető:

- szilárdsági követelmények,
- átmeneti hőmérséklet követelmény,
- összetételi követelmények (korrózió, kopás, sugárhatás ellen).

Az első esetben arra törekszünk, hogy a varrat folyáshatára és/vagy szakítószilárdsága egyezzen meg az alapanyagéval (*matching*). Ha a varrat szilárdsága nagyobb, akkor az *overmatching*, ha alacsonyabb, akkor az *undermatching* kifejezések használatosak. A szilárdsági megfeleltetés a hegesztéssel le nem utánozható kohászati technológiák (pl. termomechanikus vagy hőkezelés) esetén ütközik nehézségbe, mert a varrat szilárdságát javarészt csak ötvözéssel és kisebb mértékben a hegesztési technológiával (pl. vonalenergia nagysága) módosíthatjuk.

A korrózió-, kúszás-, hő- és kopásállási tulajdonságok főként ötvözéssel érhetőek el, bár a technológia szerepe ebben az esetben sem elhanyagolható.

A fedettívű hegesztés esetében a huzal anyagát a fedőpor ötvözési lehetőségeit szem előtt tartva választjuk meg, mivel az ötvözés a fedőporból mindig olcsóbb, mint tömör huzalból.

Metallurgiailag semleges (nem ötvöző) fedőpor esetében minden ötvözőt a huzal tartalmazza. A fedettívű huzalok esetében az ötvöztelen szerkezeti acélok huzaljainak szilárdságát alacsony C tartalom mellett a Mn tartalom fél százalékos lépcsőzésével oldották meg. Ha a Mn tartalom a kívánt cél elérésére önmagában nem elégséges, akkor a szükséges Cr, Ni, Mo, stb. ötvözés a huzalt jelentősen megdrágítja.

Metallurgiailag aktív fedőporokból Mn-t és/vagy Si-t ötvözhetünk a varratba. Ilyen esetekben a huzalelektroda kevesebb ötvözőt tartalmazhat. A közepes és nagy MnO, illetve közepes és nagy SiO₂ tartalmú olvasztott fedőporokat erre az esetre fejlesztették ki. A fedőpor-huzal kombináció ebben az esetben arra irányul, hogy a varrat szilárdságához szükséges Mn és/vagy Si tartalmat a fedőporból és a huzalból együttesen biztosítsák.

A keramikus előállítású, metallurgiailag ötvöző fedőporok szín állapotú (Ni), vagy ferroötvözőket (FeCr, FeMo) tartalmaznak, amelyek valamilyen átviteli tényezővel (több-kevesebb veszteséggel) kerülnek be a hegfürdőbe. Az ötvözőtt fedőpor minden szükséges ötvözőt tartalmazhat. Gyakoribb az az eset, amikor az ötvözés a huzalból és a fedőporból együttesen történik.

A kombinációs lehetőségeket tovább bővíti a porbeles huzalok és a fedőporkeverékek használata.

Előkészítés és varratfelépítés

Mint minden gépesített hegesztés, a FH is fokozott pontosságú előkészítést igényel. Az élszalag méretét az áramerősség meghatározta beolvadási mélységhez kell igazítani. Az illesztési rés elsősorban a huzalátmérő függvénye. A nagy falvastagságoknál fontos a vájatszög nagysága, mivel a hossz- és keresztirányú alakváltozás is a varratszélesség függvénye.

Minden esetben revétlenített, rozsdátlanított felületet kell hegeszteni. Különösen fontos ez a hidrogénszennyezésre érzékeny bázikus fedőporok alkalmazásakor.

Egyoldali varratoknál nagy keresztirányú szögelfordulásra lehet számítani, ezért minden lehetséges esetben kétoldali hegesztésre kell törekedni. Az egyik oldalról bevitt hőmennyiséget ilyenkor a túlóldali hővel egyensúlyozzuk ki. A máj elkészült varrat merevítő hatása (inerciája) miatt az X varratot aszimmetrikusra (kb. 2:1 arányúra) célszerű tervezni. Az is jó megoldás, ha minden sor, vagy minden második sor után átfordítjuk a darabot, vagy a szembenálló varratokat (mint pl. szekrénytartó estében) egyidejűleg, azonos hőbevitellel hegesztjük.

Hosszirányban a varratokat középtől a végek felé célszerű hegeszteni, de néhány m varrathosszáig a végtől - végig végzett hegesztés is megfelelő lehet.

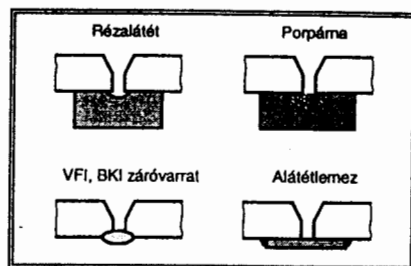
A nagy falvastagságok és varrathosszak miatt a hegesztendő darabokat erős készülékelemekkel rögzíteni kell, hogy a hegesztés okozta hőbevitel ne deformálja el a hegesztési éleket és főleg ne változtassa meg az illesztési rés és vájatszög mértékét.

A hegfürdő megtámasztása

A fedettívű kötőhegesztést gyakorlatilag csak vályúhelyzetű tompavarratok (PA) és fekvő (PA), valamint álló helyzetű (PB) sarokvarratok készítésére használják. Ezekben a pozíciókban a fedőport és a salakot a gravitációs erő a helyén tartja, ezen anyagok megtámasztásáról csak akkor kell gondoskodni, ha kis rádiuszú hengeres gyártmány (cső, tartálypalást) körvarratát hegesztik.

A fedettívű hegesztésre jellemző nagytömegű hegfürdő és esetenként kis hegesztési sebesség miatt a hegfürdő anyagának dermedése olyan lassú, hogy fennáll a folyadék elfolyásának veszélye. Ennek megakadályozására különböző fűrdőmegtámasztási módszereket alkalmaznak (3.44. ábra). Különösen fontos az alsó alátét alkalmazása olyan varratelőkészítési módoknál, ahol az illesztési rés nagy és az

élszalag vékony, mivel ekkor a hegfürdőt alulról semmi nem támasztja meg. Az olvadt salak viszkozitása kicsi és könnyen elfolyik, a salakelfolyást pedig a hegfürdő fémének elfolyása követheti.



3.44. ábra

A hegfürdő megtámasztása a salak és fém elfolyásának megelőzésére

Vékony lemezek hegesztéshez pontos illesztésű rézalátétet célszerű használni. A rézalátét tartalmazhat sekély gyökformáló hornyot. Nagyobb hőterheléskor a megolvadást megelőző vízűtést kell alkalmazni. Vastag lemezekhez fedőpor vagy speciális alátétpor (pl. *ESAB, OK Flux 10.69*) alkalmazása javasolható. Az alátét fedőport a munkadarab súlyereje, vagy a fedőporra alulról gyakorolt (pneumatikus, hidraulikus) erő szorítja a hegesztendő darabhoz. A fedőpor hegesztés közben megolvad és a hegfürdőt alulról ugyanolyan salakréteg védi, mint felülről. Az alsó porpárnás megoldás csak a fedettívű eljárásra jellemző különleges lehetőség, aminek az alkalmazását minden lehetséges esetben célszerű a többi fürdőtámasszal szemben előnyben részesíteni.

Egyedi gyártásban vagy néhány darabos széria esetén BKI vagy VFI eljárással záróvarratot készíthetünk, ami a hegfürdőt megtámasztja. A záróvarratokat utólag célszerű eltávolítani, vagy ennek elmaradásakor a kétféle varratösszetétel kompatibilitását előzetesen megvizsgálni.

Egyoldali varratoknál a beolvadó alátétlemez alkalmazása is szóba kerülhet. Ez a megoldás a hengeres profilok (csövek, edényköpenyek) keresztmetszetét szűkíti és a kifáradási jellemzőket jelentősen mérsékli, ezért alkalmazását csak különlegesen indokolt esetben vegyük számításba.

Az áramnem, polaritás, az áramerősség és áramsűrűség hatása

Fedettívű hegesztéshez 1000 A alatt egyenáramot, 1000 A fölött váltakozó áramot használnak. Ennek az a magyarázata, hogy 1000 A feletti áramerősségeknél az egyenáramú ív mágneses ívfűvő hatása túlzottan zavaróvá válik.

Kötőhegesztéshez *DCEP* (fordított) polaritás az általánosan elterjedt. A fordított polaritás szélesebb varratot, mélyebb beolvadást és nagyobb mértékű felkeveredést (hígulást) eredményez, mint az egyenes (*DCEN*). Egyenes polaritás felrakóhegesztéshez előnyös, mivel ilyenkor a beolvadási mélység csökken, a varratdudor magassága nő és kisebb lesz a hígulás mértéke.

Váltakozó áram esetén a vizsgált jellemzők a *DCEP* és *DCEN* polaritással kapott értékek közé esnek. Váltakozó áram használata a nagy áramerősségek mellett a többhuzalos technikáknál is előnyös.

Az áramerősség a *FH* legfontosabb hegesztési változója, ami a beolvadási mélységre, a leolvasztási teljesítményre és a varrat összetételi hígulására van nagy hatással.

Az áramerősség növelésével (az ívfeszültség változatlan értéke mellett) a fedőpor/huzal fogyasztás viszonyozsáma csökken, ami a fedőpor metallurgiai szerepének csökkenéséhez vezet.

Az áramerősség növelésével az ívstabilitás javul, a beolvadási mélység növekszik, a varratszélesség alig változik. Megnő a hígulás mértéke és a hőbevitel növekedésével arányosan nő a deformáció, ennek gátlásából a belső feszültség értéke.

Az áramsűrűség növelése a varratszélesség csökkenéséhez és a beolvadási mélység növeléséhez vezet. Vastagabb huzal akkor előnyös, ha az illesztési mélység nagy, vagy változó.

Az ívfeszültség és hatása a varratalakra

Az áramerősséggel szemben az ívfeszültség növelése az ívhossznövekedésen keresztül a varratszélesség növekedéséhez és a beolvadási mélység csökkenéséhez vezet. Nagyobb feszültség növeli a fedőporfogyasztást. A több salakból intenzívebb a metallurgiai hatás. Minden egyes áramerősség mellett kb. 10 V nagyságú feszültségintervallumon belül lehet hibamentesen hegeszteni. Túl nagy feszültség hatására az ív instabillá válik, kitör a fedőpor alól és széles, lapos varrat jön létre gyakran szegélykiolvadással párosulva. Túlzottan alacsony hegesztési feszültségnél a cseppátmenet rövidzárlatossá válik és a fröcskölés megnő.

A hegesztési sebesség és hatása a varratalakra

A hegesztési sebesség változatlan hőáram mellett a vonalenergia értékét csökkenti, ezzel a varrat beolvadási mértéke és szélessége egyaránt csökken. Ha a hegesztési sebességet nagyon lecsökkentjük, akkor a hegfürdő az ív alá folyik és mérsékli a beolvadási mélységet. Nagy hegesztési sebességeknél a varratkorona eltorzul és szegélykiolvadás keletkezhet.

Az elérhető hegesztési sebességet a fedőpor nagymértékben befolyásolja. Kiemelten nagy hegesztési sebesség csak erre a célra alkalmas fedőporral valósítható meg. Nagy sebességű hegesztéssel készülnek pl. a spirálvarratos csövek varratai.

A fedettívű hegesztés eljárásváltozatai

A fedettívű hegesztés vályúhelyzetben végzett nagyteljesítményű hegesztés, ezért eljárásváltozatai (ezen belül is a két-, három- és négyhuzalos berendezések) a teljesítmény további növelését kisebb mértékben a hegesztési helyzet bővítését tűzték ki célul.

A fedettívű eljárás nagy felületek felrakóhegesztésére kiválóan alkalmas, az erre irányuló törekvések a tömör és a porbeles szalagelektrodás változat kifejlesztéséhez vezettek.

3.2.2 Sugárhegesztések

A sugárhegesztések a ma ismert legfiatalabb hegesztő eljárások, kifejlesztésük a múlt század ötvenes és hatvanas éveire tehető. A sugárhegesztések az ívhegesztésektől jelentősen eltérnek, mivel jól párhuzamosítható hőforrásuk kis hőfolt-

átmérőre koncentrálható, ezáltal bennük nagy hőáramsűrűség hozható létre. A gyakorlatlanul nagy (10 kW/mm^2 -et is meghaladó) hőáramsűrűség olyan speciálisan gyors varratképzési módot tesz lehetővé, amelyet a hegesztendő alapanyag hővezetőképessége alig befolyásol. Ilyen varratképzés mellett a beolvadási mélység a varratszélességhez mérten nagyon megnövekszik, a varratalak az ívhegesztésnél megszokotthoz viszonyítva nagyon eltérő lesz.

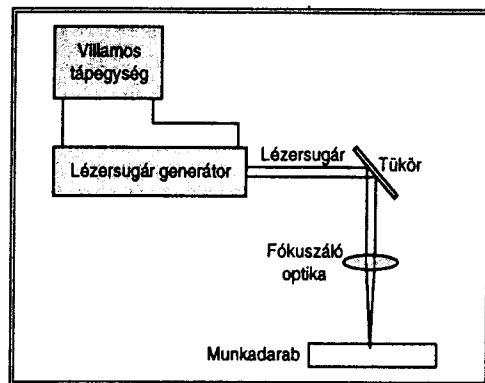
A sugárhegesztések drága, nagy szakértelmet igénylő, bonyolult berendezéssel csak speciális feladatok megoldására alkalmasak. A hegesztett tárgyak kis vagy közepes méretűek és tömegűek lehetnek. A sugárhegesztések részaránya jelenleg az ömlesztőhegesztéseken belül az 1 %-ot nem éri el, ennek az aránynak a jelentős növekedése a jövőben sem várható.

3.2.2.1. Lézersugárhegesztés

A lézersugárhegesztés, rövidítve *LSH* (angol nevén *Laser Beam Welding, LBW*) az ömlesztő hegesztések nagy hőáramsűrűségű, gázvédelmű csoportjához tartozik, amelynek hőforrása monokromatikus, koherens fénysugárnyaláb. Az eljárás egyezményes számkódja 751.

A lézersugárhegesztés kezdeti változatát, az impulzus mikrolézerhegesztést a rendelkezésre álló lézerberendezés (hőforrás) kis teljesítménye miatt kezdetben (az 1960-as és 70-es években) a mm alatti anyagvastagságoknál, főleg mikroelektronikai célokra alkalmazták, pl. lábak és érintkezők forrasztást helyettesítő összehegesztésére. A nyolcvanas évektől állnak rendelkezésre azok a nagyobb teljesítményű (*Nd:YAG* és *CO₂* lézerforrások) amelyek néhány száz *W*-os impulzus, vagy néhány *kW*-os folyamatos teljesítménnyel már alkalmasak voltak mm-es nagyságrendű beolvadási mélységek elérésére (hozzávetőlegesen 1 mm beolvadási mélység eléréséhez 1 kW lézerteljesítmény szükséges).

A lézersugárhegesztés a villamos fűnél kényelmesebb, nagyon jól szabályozható, az ideálist megközelítő tulajdonságú hőforrással precíz, kiváló minőségű hegesztett kötések elkészítésére ad lehetőséget.



3.45. ábra

A lézersugárhegesztő berendezés blokkvázlata

A *LSH*-hez külső gázvédelemre van szükség. A szokásos védőgázok *Ar*, *He*, vagy ezek keveréke. A védőgázt a lézersugár nyalábbal egytengelyűen vezetik a hegesztés helyére. A hegesztési folyamatban salak csak akkor keletkezik, ha valamilyen okból a hegesztéshez portöltetű hozaganyagot használnak. A *LSH* alapváltozatát szoros illesztéssel, hozaganyag nélkül végzik. Az eljárás előnyei a hozaganyagmentes (autogén) esetben érvényesülnek kellőképpen, de ha szükséges, az *SWI*-hez hasonlóan (hideg) huzal hozaganyaggal hagyományos varratok is készíthetők vele.

3.2.2.2. Elektronsugárhegesztés

Az elektronsugárhegesztés (más elnevezéssel elektronsugaras hegesztés), rövidítve *ESH* (angol nevén *Electron Beam Welding, EBW*) az ömlesztő hegesztések nagy hőáramsűrűségű, vákuumvédelmű csoportjához tartozik. Az eljárás hőforrása az elektronikusan felgyorsított, a fénysebesség 30...70 %-ával mozgó elektronok alkotta elektronsugárnyaláb. Hozaganyag adagolása nem jellemző, de alkalmazása nincs kizárva.

Az elektronsugárhegesztést az 1950-es években a nukleáris iparban fejlesztették ki nagy olvadáspontú és oxigén iránt nagy affinitású fémek hegesztésére. Az elektronsugárhegesztés berendezései a kereskedelemben az 1960-as években jelentek meg és azóta folyamatos fejlesztés alatt állnak.

Az első berendezések a nagyvákuumos elven működtek és a röntgensugárcsővet másolták. A röntgensugárcsőben a katódból kilépő és villamos térrel felgyorsított elektronok az anódba ütköznek, amit felhevítenek és röntgensugár kibocsátására készítetnek. Az elektronsugárhegesztéskor az anód helyét maga a hevítendő tárgy veszi át és a röntgensugárkeltés csak káros kísérő jelenségként szerepel.

Az elektronsugárhegesztés a villamos fűnél kényelmesebb, nagyon jól szabályozható, nagy hőáramsűrűségű hőforrás, amivel kiváló minőségű hegesztett kötések készíthetők (az elektronsugárhegesztéssel készített kötés a lézerhegesztéssel azonos értékű).

Az *ESH*-hoz vákuumkamrára és elég jelentős (pl. néhány *Pa*) vákuumra van szükség. A hegfürdőt és környékét a vákuum úgy védi, hogy nincsenek (illetve csak nagyon kis koncentrációban vannak) jelen a levegő komponensei. A közepes vákuum kb. olyan védelmet nyújt, mint a 99,995 % tisztaságú *Ar* védőgáz a *VFI* hegesztésnél.

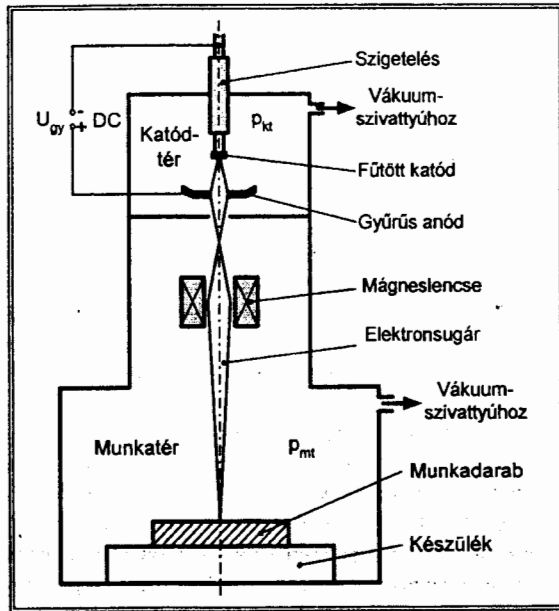
A hegesztési folyamatban salak nem keletkezik, a varratfelület tiszta, szabályos, esztétikus megjelenésű. Az *ESH*-t normál esetben szoros illesztéssel, hozaganyag nélkül végzik. Az eljárás előnyei a hozaganyagmentes esetben érvényesülnek kellőképpen, de ha szükséges, a hegesztés során hozaganyag is alkalmazható.

Az elektronsugár a vákuumkamrában maradt néhány gáztomatot gerjeszt, a gerjesztett atomok fénykibocsátása így láthatóvá teszi a sugárnyalábot, ami a hegesztési folyamat kényelmes követhetőségét lehetővé teszi.

Az elektronsugárhegesztés széleskörű terjedésének legnagyobb akadálya a vákuum alkalmazási kényszere, mivel az atmoszférikus nyomáson, védőgázban végzett elektronsugárhegesztés ma még csak laboratóriumszintű kísérleti állapotban van és a kilátások egyelőre nem túl biztatóak.

Az elektronsugárhegesztő eljárás berendezése

Az elektronsugárhegesztő berendezés három fő részből áll: az elektronágyú, a vákuumozott munkatér a munkadarabbefogó és -mozgató készülékekkel és avillamos tápegység a vezérlő egységgel. Elketronsugaras hegesztő berendezés vázlatla látható a 3.46. ábrán.



3.46. ábra

Az elektronsugárhegesztő berendezés vázlatla

Az elektronsugárhegesztés alkalmazási területe

Az *ESH* kezdetén, az 1950-es években csak a nagyvákuumos berendezések léteztek. Ezeket a berendezéseket a nehezen hegeszthető anyagok (magas olvadáspontú, könnyen oxidálódó fémek, szuperötvözetek) és az értékes rozsdamentes acélok hegesztésére alkalmazták. A varratok keskenyek, mély beolvadásúak és nagyon jóminőségűek voltak.

Az 1960-as években került sor a középvákuumos gépek kifejlesztésére, amely lehetővé tette a nagysorozatú és a tömeggyártás termelékenységének igényeinek kielégítését is.

A mai alkalmazások már nem korlátozódnak a különleges anyagokra. A közönséges acélokat 150 mm-ig, az *Al* ötvözeteket 300 mm-ig, a *Cu* ötvözeteket 100 mm vastagságig lehet hegeszteni. Az *ESH* változatlanul népszerű a nehezen hegeszthető anyagkombinációk hegesztésében. Nagy lehetőségek vannak az integritásában meghibásodott, vagy elkopott alkatrészek javító- illetve felrakóhegesztésében is. Megfelelő hozaganyag alkalmazásával a gázturbina alkatrészek felújítása is megoldottnak tekinthető.

Az *ESH* nagyvákuumos változatát főleg a nukleáris ipar, az űripár, a rakétagyártás, a repülőgépipar, az elektronikai ipar és további high-tech iparágak használják. A varratok keskenyek és mélyek, a jellegzetes belső formatényező 1/20 körüli. Jellegzetes példa a hő- és kopásálló szuperötvözetből gyártott turbinalapátok felhegesztése a rotortestre.

A középvákuumos *ESH* gépeket a közlekedési eszközök szűk tűrésezésű, utólag már nem megmunkált alkatrészeinek (tengelyek, fogaskerekek) tömeggyártásában használják. A vákuumozási idő 40 s alatti, apró alkatrészeknél és speciális munkakamra-megoldásoknál egészen 5 s-ig csökkenhet. A varratok kevésbé mélyek, mint nagyvákuumnál, a jellemző belső formatényező 1/10 körüli.

Az atmoszférikus (vákuum nélküli) elektronsugárhegesztés a vákuumozási művelet elmaradása miatt gyorsabb és olcsóbb, mint a nagy- vagy középvákuumos, de a varrat korántsem olyan keskeny és mély beolvadású, mint az előzőknél, emellett az oxigén és nitrogén szennyeződésre érzékeny anyagokat védőgázban kell hegeszteni. Az elektronsugár a kis atomtérű *He* védőgázban max. 50 mm-ig, levegőben 20 mm-ig hozható ki az elektronágyú vákuumteréből.

A beolvadási mélység az alkalmazott sebességeknél 10 mm alatti, de *He*-ban mintegy kétszerese a levegőben elérhetőnek. Egy jellegzetes termék, amit atmoszférikus körülmények között hegesztenek a benzínmotorok katalizátora.

Az atmoszférikus *ESH* nagy előnye, hogy a hegesztendő darabok méretét csak a sugárkihozatali korlát limitálja, ezért az jóval nagyobb lehet, mint a vákuumos hegesztéseknél.

3.2.3. Lánghegesztés

Az oxigén-égőgázos lánghegesztés, rövidítése *OLH* (angol nevén *Oxyfuel Gas Welding, OFW*) az ömlesztő hegesztések normál hőáramsűrűségű, gázvédelmű csoportjához tartozik. Az eljárás hőforrása oxigénnel kevert éghető gáz (leggyakrabban acetilén) elégésekor keletkező reakcióhő.

Hozaganyaga pálca, de nagyon gyakran hozaganyag nélkül végzik (innen származik az eljárás közkeletű idegen neve, az egyébként rosszul általánosító *autogén* hegesztés is).

Az eljárásnak csak kézi változata van, bár a technika mai fejlettségi szintjén a lánghegesztés ugyanúgy gépesíthető és automatizálható lenne, mint a CNC gépekkel végzett lángvágás.

Az ömlesztő lánghegesztések legnépszerűbbike a legnagyobb hőáramsűrűségű hőforrást eredményező oxi-acetilén lánghegesztés *OALH* (*Oxy-acetylene Welding, OAW*) ezért a továbbiakban csak ennek az eljárásnak az ismertetésére szorítkozunk.

Az oxi-acetilén lánghegesztés első működő változata a lánghegesztő pisztoly 1900-as évek elejére eső kifejlesztésére vezethető vissza. 1902-ben Franciaországban *Fouche* bemutatta a hegesztésre is alkalmas lánghegesztő égőt. Ettől az évtől számítjuk a lánghegesztő eljárás kezdetben diadalmas, majd az ívhegesztések előretörésével erősen hanyatló történetét

Az oxi-acetilén lánghegesztés tetszőleges térbeli helyzetben alkalmazható. Az eljárással kis hőáramsűrűsége miatt főleg a vékony falú ($s \leq 3 \text{ mm}$) termékek (lemezek és csövek, csőszerelvények, öntvények) hegeszthetők gazdaságosan. Az eljárás

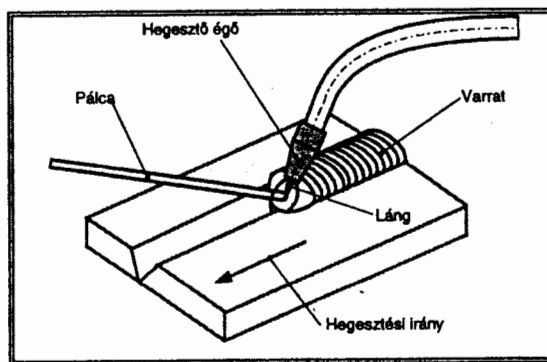
főleg a rossz illesztések esetén és a rosszul hozzáférhető helyeken ma is nélkülözhetetlen (helyszíni csőszerelés).

Az oxi-acetilén lánghegesztés csak korlátozott alkalmazási lehetőségekkel bír, elavult hegesztő eljárás. A jelenleginél nagyobb mértékű elterjedése a jövőben sem várható, sőt az alkalmazási kör további szűkülése valószínűsíthető.

3.2.3.1. Az oxi-acetilén lánghegesztés elve

Az oxi-acetilén lánghegesztés vázlata a 3.47. ábrán látható. A hőforrás a hegesztő kezében tartott hegesztőégő fúvókájából kilépő oxigén-acetilén gázkeverék elégetésével létrehozott és folyamatosan fenntartott láng. A láng felhevíti és megolvasztja az alapanyag egy részét és a hegesztő másik kezében tartott hegesztőpálca (hozaganyag) végét. A két olvadék keverékéből jön létre a hegfürdő, amit a lángban található gázok védenek a levegőtől.

A varratképzés a hegesztő két kezének összehangolt munkájával végezhető. A hőforrás hőenergiájának és a hozaganyag mennyiségének adagolása egymástól független és jól kézben tartható. A hegesztési folyamat a hozaganyag és a pisztoly jellegzetes közelfűtő-távolító mozgásával és a lángnyomás alakító - formáló erejének felhasználásával szabályozható. A lángnyomás alkalmas térbeli helyzetekben a hozaganyag átvitelére és a fürdő felületének formálására.



3.47. ábra

Az oxi-acetilén lánghegesztés vázlata (az ábra az ún. balrahegesztést illusztrálja)

Az oxi-acetilén lánghegesztés végezhető húzott (jobbrahegesztés) és nyomott (balrahegesztés) varratképzéssel. Jobbkezes hegesztőt feltételezve a pisztoly a jobb kézben, a pálca a bal kézben tartandó. Ha a varratképzés olyan, hogy a pálca halad elől és a pisztoly utána (3.47. ábra), akkor balrahegesztésről (*forehand welding*), ha a pisztolyt követi a pálca, akkor jobbrahegesztésről (*backhand welding*) beszélünk. A hegesztési módnak ez a definíciója azért lényeges, mert balkezes hegesztő esetében, vagy pl. alulról felfelé végzett hegesztéskor a balrahegesztés fogalom megtévesztő (a balkezes hegesztő a balrahegesztést jobbra végzi, felfelé hegesztéskor pedig nincs balra vagy jobbra irány).

3.2.3.2. Az oxi-acetilén lánghegesztés előnyei és korlátai

Az oxi-acetilén lánghegesztés nagyon széles körben ismert, de a legkevésbé termelékeny ömlesztőhegesztő eljárásunk, aminek alkalmazása a rövid, vékony, rossz illesztésű és nehéz hozzáférésű varratok hegesztésére szorítkozik. Az eljárásra jellemző speciális előnyök és hátrányok a következőkben foglalhatók össze.

Előnyök

- egyszerű, többcélú, olcsó, könnyen kezelhető, hordozható berendezés,
- minden hegesztési helyzetben alkalmazható,
- a hegfürdő hegesztés közben jól látható, a vonalenergia és vele közvetve a fürdőméret jól szabályozható,
- az égő kialakítása olyan, hogy nehezen hozzáférhető helyeken is lehet vele hegeszteni,
- bármilyen helyszínen alkalmazható, ott is, ahol nincs villamos hálózat,
- nem igényes a varratelőkészítésre (az illesztési résre nem érzékeny, a szerves szennyezők hegesztéskor leégethetők, a víz elgőzölög),
- hozaganyag nélkül is végezhető,
- nem kell salakolni,
- a szemet kevésbé károsítja, mint a nyíltfűvű fűhegesztések, nincs áramütési és sugárzási veszély.

Korlátok és hátrányok

- a berendezés tűz- és robbanásveszélyes, ezért a lánghegesztőnek speciális bizonyítvánnyal kell rendelkeznie,
- a jól tapadó felületi oxidokat csak vegyszeradalékkal (folyasztószer) lehet eltávolítani,
- a termelékenység nagyon alacsony,
- a varratminőség közepes, vagy gyenge.

3.2.3.3. Az oxi-acetilén lánghegesztés alkalmazási lehetőségei

Az *OALH* eljárás alkalmazási lehetőségei erősen korlátozottak. Alacsony hőáramú áramforrása miatt csak vékonylemezekhez és vékonyfalú csövekhez használható, ahol a varrathosszak is minimálisak. Megfelelő folyasztószerrel a legtöbb technikai fém(ötvözet) hegeszthető (acélok, öntöttvas, rézötvözetek, Ni ötvözetek, egy kissé még az *Al* és a *Mg* ötvözetek is). Nem hegeszthetők a magas olvadáspontú (*W*, *Mo*, *Nb*, *Ta*) és az oxigén iránt különösen affin (*Ti*, *Zr*) elemek, míg az alacsony olvadáspontú fémekhez (*Al*, *Mg*, *Zn*, *Cd*, *Pb*, *Sn*) oxigén helyett levegő, acetilén helyett *H*, földgáz (zömében metán), vagy propán-bután (*PB*) gáz használandó.

Az *OALH*-t gyakran alkalmazzák javító és karbantartó munkáknál, helyszíni szereléseknél, de sohasem a termék- és szerkezetgyártásban, ahonnan az ív- és egyéb koncentrált hőforrású hegesztések teljesen kiszorították.

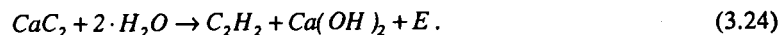
A helyszíni javítómunkáknál nagyon kényelmes, hogy az eljárás hőforrása a hegesztés mellett még előmelegítésre, utóhőkezelésre, egyengetésre, sőt darabolásos vágásra is alkalmas.

3.2.3.4. Az oxi-acetilén lánghegesztés berendezése

Az általánosan használt lánghegesztő berendezést a gázellátó rendszer, a hegesztőégő a tömlőkkel és a biztonsági és védőfelszerelések alkotják:

Az oxi-acetilén lánghegesztéshez az eljárásnévből következően kétféle gázra: acetilénre (C_2H_2) és oxigénre van szükség. A legerjedtebb (kisüzemi) felhasználáskor mindkét gáz palackozottan kerül forgalomba. A gázpalackok 40...50 l térfogatúak. Az oxigénpalack színe kék, nyomása 150...200 bar, töltete legalább 99,5 % tisztaságú komprimált gáz.

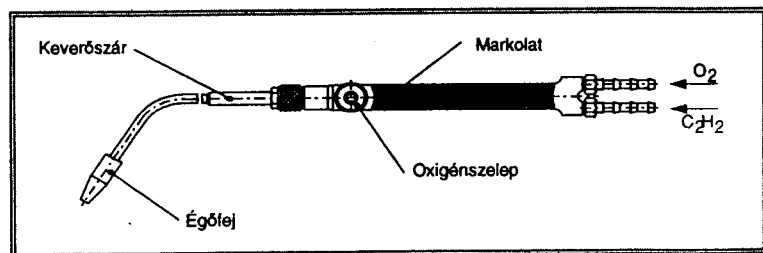
Az acetilénpalack színe sárga, nyomása normál hőmérsékleten 15...17 bar, töltete porózus masszába felszívott aceton (folyadék, szerkezeti képlete: $CH_3-CO-CH_3$) által oldott (*dissous*) gáz. Az acetilént korábban kalciumkarbidból a hegesztő munkahelyeken, helyileg állították elő az alábbi reakció szerint:



Ma már az acetilén előállításával kizárólag csak a gázgyártók és -forgalmazók foglalkoznak.

A palackokban uralkodó, változó nagyságú nyomást a hegesztőégő által megkövetelt alacsony értékre (oxigén: 2,5 bar, acetilén: 0,3...1,5 bar) kell lecsökkenteni és állandó értéken tartani. A feladatot nyomáscsökkentők (*regulátorok*) oldják meg. Az acetilén és az oxigén nyomáscsökkentők a robbanásveszély kiküszöbölése érdekében nem összecserélhető csatlakozási móddal és mérettel szerelhetők a palackokra, vagy a kiépített gázélviteli helyekre.

A láng létrehozására és szabályozására, valamint a hegesztési hely kényelmes elérésére és a hegesztés megkövetelte hevítés és varratképzés elvégzésére szolgáló eszköz a hegesztőégő (hegesztőpisztoly). Egy szokásos hegesztőégő - konstrukciót a 3.48. ábra szerint mutatunk be, amelynek fő részei az égőttest (markolat), az acetilénszelep, az oxigénszelep, a keverőszár és agázfúvóka (égőfej).



3.48. ábra

A kisnyomású oxi-acetilén lánghegesztő égő fő szerkezeti részei

A hegesztőégőbe a tömlőkön keresztül jut be a nyomáscsökkentő által redukált, állandó nyomású acetilén és oxigén, ahol áthalad a szabályozó szelepeken és a keverőtérben összekeveredik. A keverés kétféle elven történik: az eltérő nyomású (más néven az acetilén nyomásából következően kisnyomású) keverőkben nagyobb nyomású (1,0...2,5 bar) oxigén kisebb nyomású (0,1...1,0 bar) acetilénnel keveredik (injektor-elv), az azonos nyomású (más néven közepes nyomású) keverőkben a kétféle gáz egyenlő nyomással ($p=0,75...0,85$ bar) érkezik és keveredik össze. Magyarországon szinte kizárólagos jelleggel csak a kisnyomású, injektoros hegesztőégők vannak használatban.

Az égőképes gázkeverék a keverőszár végén elhelyezett fúvókán keresztül lép ki a szabadba, ahol meggyújtva a láng létrejön. A fúvóka áramlástechnikai megfontolásból (a lamináris áramlás megvalósítása érdekében) megfelelő átmérőjű és sima felületű furattal rendelkezik. A lángerősség változtatása a fúvóka (égőfej) furatának változtatásával és a gázkeverék mennyiségének növelésével lehetséges. Ennek technikai megoldására egy égőttesthez egy készlet cserélhető keverőszárat mellékelnek.

A láng fenntartásához a gázkeverék ugyanolyan v_{gk} kilépési sebességére van szükség, mint amilyen az adott gázkeverék $v_{ég}$ égési sebessége:

$$v_{ég} = v_{gk}. \quad (3.25)$$

Amennyiben $v_{ég} > v_{gk}$, a gáz elfújja a lángot, vagyis a láng kialszik. Ez akkor következik be, amikor az acetilén mennyisége túl nagy. Amennyiben ennek ellenkezője ($v_{ég} < v_{gk}$) következne be (nagy oxigénfeleslegkor), akkor az égés helye folyamatosan a pisztolyba, majd a tömlőbe tevődne át és végül robbanáshoz vezetne. Ennek megakadályozására az égőttestekbe csak egyirányban átengedő szelepeket, ún. *visszacsapószelepeket* építenek be.

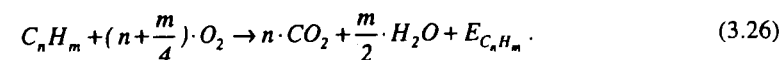
3.2.3.5. Biztonsági és védőfelszerelések

A lánghegesztő munkahely fokozottan tűz- és robbanásveszélyes, ezért a berendezés telepítésére és egyes fő egységeire egyaránt szigorú biztonsági rendszabályok vonatkoznak.

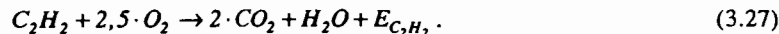
A hegesztőt a láng fényétől sötétüveges szemüveg, a forró munkadarabtól és a fröccsköléstől bőr védőöltözetek (kötény, lábszárvédő, bakancs, kalap, kesztyű) védi. A hegesztéssel együtt járó oxigénfogyasztás miatt megfelelő szellőztetésről kell gondoskodni.

3.2.3.6. A hegesztő láng

A hegesztő láng az oxigén és az égőgáz keverékének égésekor keletkezik, közvetlenül a fúvóka előtt. A lejátszódó exoterm reakció általános alakja:

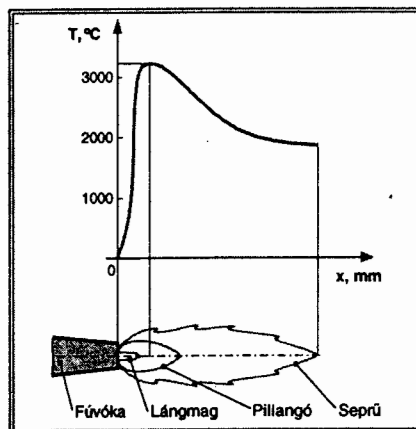


Acetilén égőgáz esetén $n=2$ és $m=2$, így a (3.26) reakcióegyenlet a következő alakot veszi fel:



A (3.27) összefüggés arra mutat rá, hogy egy acetilén molekula teljes elégéséhez 2,5 molekula oxigén szükséges. Mivel hegesztéskor közel ugyanannyi sűrített acetilént használunk, mint oxigént, a hiányzó 1,5 molekulányi oxigént a levegőből kell elvenni.

A hegesztő láng vizuálisan is elkülöníthető különböző részekből áll. A 3.49. ábra szerint a láng legbelső része a nagyon fényes, kékesfehér lángmag (*inner cone*), ezt veszi körül az (acetilénfelesleg esetén különösen jól látható) világoszöld pillangó (*feather*), míg a legkülső rész a lilás-sárga seprű (*envelope*).



3.49. ábra

Az oxo-acetilén láng részei és hossztenyelyirányú hőmérsékleteloszlása

A pillangóban lezajló reakcióban ugyanannyi térfogatú acetilén vesz részt, mint oxigén. A két gáz térfogatáramának (koncentrációjának) hányadosa az R_k keverési arány:

$$R_k = \frac{\dot{V}_{C_2H_2}}{\dot{V}_{O_2}} \quad (3.28)$$

Ha a keverési arány 1, a lángot semlegesnek mondjuk. Az oxigén növelésével az R_k tényező egynél kisebb lesz, ilyenkor a láng oxidálóvá válik. Egynél nagyobb keverési arány acetiléndús, más néven redukáló lángot eredményez.

3.2.3.7. A lánghegesztés hegesztőanyagai

A lánghegesztés hegesztőanyagai közé a pálcák és a folyasztószerk tartoznak.

Pálcák: Ahogy láttuk az előzőekben, a LH hozaganyag nélkül, vagy pálcá hozaganyaggal végezhető. A hozaganyag tekintetében a lánghegesztés leginkább a semlegesgázvédelmű, volfrámelektrodos ívhegesztéshez hasonlítható, de a gyártók a lángpálcákat megkülönböztetik az SWI pálcáitól.

A lánghegesztő pálcák szokásos átmérőtartománya 1,6...4,0 mm, hosszúságuk Európában 1 m, Amerikában 36 in. (914,4 mm). A pálcák előállításukat tekintve húzottak (pl. acélok), öntötték (öntöttvas) és keramikusak (WC szemcsék Co bázisban) lehetnek. Az ötvözetlen acélpálcákat alacsony ($C \leq 0,2\%$) karbon tartalmú és a jobb cseppátmenet érdekében csillapítatlan acélból készítik.

A szerkezeti acélok hegesztéséhez legalább háromféle szilárdságú pálcát gyártanak RG 45, RG 60 és RG 65 egyezményes csoportjelöléssel (minimális szakítószilárdságuk rendre 310, 415 és 460 MPa). A varratszilárdság a pálcá anyagán túlmenően az alapanyagtól, a keverés mértékét meghatározó hegesztéstechnológiától és -technikától, valamint a láng kémiai jellegétől (a metallurgiai hatásoktól) függ.

Az ötvözetlen pálcák mellett a kereskedelmi forgalomban a megfelelő alapanyag típusok kötőhegesztéséhez gyengén ötvözött pálcák is kaphatók.

Folyasztószerk: A folyasztószer (*flux*) feladata, hogy lánghegesztés közben az alapanyag és a hozaganyag felületén elhelyezkedő oxidokat kémiai úton oldja, az oxidokkal alacsony sűrűségű salakfilmet alkosson, ami beborítja a hegesztendő felületet és annak újraoxidálódását megakadályozza. A folyasztószer olvadáspontja alacsonyabb, mint az alapanyagé, így az oxid már oldott állapotú, amikor az alapanyag megolvasztására sor kerül.

Folyasztószer használata szükséges az erősen ötvözött CrNi acélokhöz, a Cu, Ni, Al és Mg ötvözetekhez. A felhasználás szempontjából lényeges az a körülmény, hogy a szerkezeti acélok folyasztószer nélkül hegeszthetők.

Univerzális folyasztószer nincs, minden anyagféleséghez más- és más folyasztószer-összetétel szükséges. Savas karakterű oxidot bázikus, bázikus jellegű oxidot savas folyasztószerekkel oldanak. A leggyakoribb savas folyasztószer bóroxidot (B_2O_3), bórsavat (H_2BO_3) vagy bóroxot ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) tartalmaz. A bázikus folyasztószerek fő komponense a szóda ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$). A folyasztószerek por, paszta vagy folyadék alakban kaphatók. Vannak beles pálcák, ahol a folyasztószer a pálcá belsejében helyezkedik el, sőt egyes esetekben a folyasztószert a pálcá külseő felületére viszik fel.

A folyasztószer használata nemcsak kényelmetlen, idő- és költségnövelő, de emellett a legtöbb komponense korrozív hatású is. A folyasztószer használatának szükségessége nagyban rontotta a LH versenyképességét és hozzájárult ahhoz, hogy az eljárás elveszítette korábbi alkalmazásainak döntő hányadát.

3.2.4. Felrakóhegesztés

A felrakóhegesztés olyan eljárás, amellyel egy alaptestre attól eltérő tulajdonságú hozaganyagot visznek fel. Az ömlesztőhegesztéssel végzett felrakási folyamatban az alapanyag és a hozaganyag egyaránt megolvad. A felrakóhegesztés egyik legnagyobb problémája az olvadákok keveredése, amelynek során az értékebb hozaganyag ömledékét a *kommersz* alapanyag felhígítja. A hígulás (*dilution*) ellen a hegesztő eljárás célszerű megválasztásával és technológiai eszközökkel lehet és kell védekezni. A hígulás csökkentésére a lehető legkisebb beolvadási mélységű hegesztőeljárás- és technológiát kell előírni.

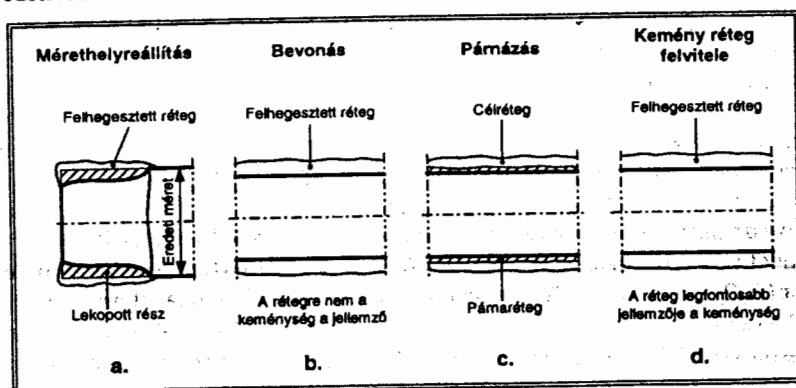
Mai ismereteink szerint a felrakóhegesztésnek négy fontos alváltozatát különböztetjük meg:

- mérethelyreállítás (rebuilding, restoring),
- bevonás (cladding),
- párnaréteggé készítés (*buttering*),
- kemény réteg felrakása (*hardfacing*).

A felsorolt alváltozatok lényegi vonásait a 3.50. ábra szemlélteti.

3.2.4.1. Mérethelyreállítás

Mérethelyreállításra akkor van szükség, ha az alkatrész, vagy a szerszám használat közben helyileg megkopott, és felújításához az eredeti méret helyreállítására van szükség. Arra kell törekedni, hogy a hozaganyag vegyi összetétele a lehető legnagyobb mértékben közelítse meg az alapanyagét. A felrakást méretfelesleggel (ráhagyással) kell végezni, hogy a megmunkálás utáni méret megegyezhessen az eredetivel.



3.50. ábra

A felrakóhegesztés lehetséges alkalmazásai

3.2.4.2. Bevonás

A bevonás célja olyan felületi bevonat hegesztéssel való létrehozása, amely tulajdonságaiban alapvetően eltér az alaptestétől. A *plattírozás* néven is ismert művelet speciális rétegei fizikai (fény- és hőviszaverési, villamos vezetőképességi, mágnességi), kémiai (korrózióállás), mechanikai (szilárdság, alakváltozó-képesség, szívósság) vagy egyéb tulajdonságai (sugárzással szembeni ellenállás) az alkatrész élettartamát és adott célra való alkalmasságát javítják.

A bevonás során igen gyakran az alaptesttől erősen eltérő fémeket, vagy ötvözeteket használnak. Közismert példa a szerkezeti acélból gyártott csövek, karimák, tartályok, tolvázarak és más szerelvények austenites, vagy egyéb szövétű korrózióálló acéllal való bevonása és a különböző csúszófelületek jó siklási tulajdonságú, de ugyanakkor nagy felületi nyomással terhelhető bronzal való felrakása. A bevonás

erős rokonságot mutat a kemény réteg felvitelével, vagy a párnázással, de attól céljában különbözik.

3.2.4.3. Párnázás

A párnaréteg (*buffer layer*) olyan közbenső réteg, amely az alaptest és a célréteg között elhelyezkedve javítja a kötés állékonyságát és minőségét.

Párnázás a repedés elkerülése érdekében

A párnarétegeket leginkább hegesztheségi okokból alkalmazzák, amikor elsődleges célja a réteg megrepedésének, vagy az alaptestről való leválásának megakadályozása. A párnaréteg általában nagy nyúlású, képlékeny fém(ötvözet), amelynek lineáris hőtágulási együtthatója nagyobb, mint az alaptesté és a célréteg anyagáé.

$$\alpha_{\text{párna}} > \alpha_{\text{alaptest}} \approx \alpha_{\text{célréteg}} \quad (3.29)$$

A hőtágulási és hőszugorodási különbségek miatt a célréteg felhegesztése után a párnarétegben húzó-, a vele szomszédos anyagokban nyomófeszültség marad vissza. A nyomófeszültség meggátolja a repedésre hajlamos alaptest és/vagy célréteg megrepedését és a repedés terjedését, míg a párnarétegben a nagy alakváltozó-képesség miatt nem keletkezik repedés.

Párnarétegnek az austenites korrózióálló acélok és a nikkel, vagy a lágy (*Cr mentes*) nikkelötvözetek különösen alkalmasak.

Párnázás az inkompatibilitások elkerülésére

Vannak olyan fémek és ötvözetek, amelyek metallográfiai okokból összeférhetetlenek. Legtöbbször az a probléma, hogy a két összehegesztett anyagban a hegesztés, vagy üzemelés magas hőmérsékletén végbemenő diffúzió következtében rideg vegyület, vagy rideg rendezett rácsú szilárd oldat keletkezik. Ha egy semleges réteget hegesztünk a két összeférhetetlen anyag közé, akkor a repedésveszélyes fázis keletkezésének veszélyét elhárítjuk. A *Ni* ezen a területen is a legkiválóbb párnarétegnek tekinthető.

3.2.4.4. Kemény réteg felvitele

Az ismertett négy felrakóhegesztési terület közül a kemény réteg felrakásának, vagy röviden keményfelrakásnak is nevezett művelet a leggyakoribb. A felrakás után kemény (vagy utókezeléssel még tovább) keményíthető hegyanyagot elsősorban a kopásellenállás javulását várjuk el. A sokféle kopásfajta közül itt most csak az abrazív szemcsék okozta koptatásra utalunk, ami az alkalmazások közül a vitathatatlan első helyen áll. A földet, ásványokat, kőzeteket fejtő, daraboló, szállító és mozgató eszközök, gépek és szerszámok éppen ilyen abrazív koptatásnak vannak kitéve.

Abrazív koptatás ellen az ötvözött, nagy karbon tartalmú martensit nem ad elegendő védelmet (keménységet), ezért a szövetet egyenletes eloszlású stabil karbidokkal (pl. *WC, VC, NbC, TaC, Cr₃C₂*) kell feljavítani. Gyenge szívóssága ellenére

jó eredmény várható a több, mint 30 % Cr-ot és eutektikumközeli karbont tartalmazó öntöttvasból. Mivel az acélötvözetekben a karbid mennyisége 30...35 % fölé nem növelhető, a szemcsés kompozitok jobb megoldást kínálnak. A szemcsés kompozitokban a karbid mennyisége akár a 95...98 %-ot is elérheti. A Co, Ni esetleg Fe mátrixba ágyazott WC és W₂C karbidokkal nagyon jó kopásállóságot lehet elérni.

3.3. A LEGFONTOSABB SAJTOLÓHEGESZTŐ ELJÁRÁSOK

A sajtolóhegesztés (*Pressure Welding*) elve már az ókorban is ismert volt, amikor a különböző fémtárgyakat kovácshegesztéssel (más néven tűzi hegesztéssel) kötötték egymáshoz. A kovácshegesztés igazi szilárd fázisú sajtolóhegesztés, amelynek történelmi elsősége szükségszerű volt, mert már akkor alkalmazást nyert, amikor a magasabb olvadáspontú fém(ötvözet)eket (mint a vasötvözetek) még nem tudták megolvasztani, tehát ömlesztő, vagy ömlesztve-sajtoló hegesztésről eleve szó sem lehetett.

3.3.1. A sajtolóerő szerepe a hegesztésnél

A sajtolóhegesztések a kötés létrehozását nyomófeszültséget ébresztő statikus vagy dinamikus erőhatással segítik. A nyomófeszültségnek minimálisan akkora nagyságúnak kell lennie, hogy az érdességgel összefüggő kiemelkedéseket képlékenyen alakítsa. A sajtolóhegesztő eljárások többségében azonban ennél jóval nagyobb, makroméretű alakításra is sor kerül, aminek benyomódás és kitérkedés formájában szemmel is jól látható jelei vannak. A sajtolóerő okozta képlékeny alakításnak a hegesztési folyamat sikeréhez és a minőségi kötés létrehozásához elengedhetetlen, a következőkben részletezett feladatokat kell ellátnia:

- az érintkezési felületről a szennyeződések el kell távolíttatnia (ez többnyire úgy történik, hogy a szennyeződéssel együtt az alatta elhelyezkedő (szilárd vagy megolvadt) felületi fémréteget is eltávolítjuk),
- szilárd fázisú hegesztéskor a felületi réteg anyagának kristálytani irányait egymáshoz közelíteni, hogy a kedvező orientáció következtében erős kötés jöheszen létre,
- az üregeképződés elhárítása a hegfürdő (folyékony fázisú sajtolóhegesztéskor hegfürdő is kialakul) kristályosodásának és teljes lehűlésének folyamán,
- a levegő gázai elleni, ún. mechanikus védelem fenntartása a teljes hegesztési művelet alatt.

Bár a sajtolóhegesztett kötés az alapanyagok hideg állapotában is létrehozható, a sajtolóerő nagyságának csökkentése érdekében az anyagokat szinte minden esetben hevítik. Az ömlesztőhegesztő eljárásokhoz hasonlóan a sajtolóhegesztő eljárásokat is többnyire a hőforrásukról nevezik el. A sajtolóhegesztések hőforrásai a következők lehetnek:

- reakcióhő (pl. sajtoló lánghegesztés, sajtoló termithegesztés, robbantásos hegesztés),
- villamos *I*v (pl. forgóíves csőhegesztés, villamos csaphegesztés),
- ellenálláshő (*Joule* hő) (pl. az összes villamos ellenálláshegesztés),
- mechanikai energia (pl. dörzshegesztés, ultrahanghegesztés).

Mivel az ipari felhasználást tekintve az összes felsorolt hőforrás közül az ellenálláshő a legjelentősebb, a következőkben csak ezt ismertetjük.

3.3.2. A sajtolóhegesztő eljárások legfontosabb hőforrása: az ellenálláshő

A *Joule-Lenz* törvény értelmében a szilárd fázisú villamos vezetőt a rajta átfolyó áram teljes térfogatában hevíti:

$$E = \int_{t=0}^{t_h} I(t)^2 \cdot R(t) \cdot dt, \quad (3.30)$$

ahol:

$E, J:$	a villamos ellenálláson fejlődő energia,
$I, A:$	az ellenálláson átfolyó áram erőssége,
$R, \Omega:$	az ellenállás nagysága,
$t, s:$	idő,
$t_h, s:$	hegesztési idő.

A hegesztési folyamatban szerepet játszó villamos ellenállás alapján kétféle lehet: a vezető belső ellenállása, illetve a vezetők érintkezési ellenállása.

3.3.2.1. A vezetők belső ellenállása

A fémek villamos ellenállása a szabadelektronok számával és mozgási lehetőségével kapcsolatos. Az ismert képlet szerint az A keresztmetszetű, l hosszúságú vezető villamos ellenállása:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}, \quad (3.31)$$

ahol:

$\rho, \Omega \text{ mm}:$	a vezető anyagának fajlagos ellenállása,
$l, \text{mm}:$	a vezető hossza,
$A, \text{mm}^2:$	a vezető keresztmetszete.

Az anyagok fajlagos ellenállása különböző. Néhány, a hegesztési gyakorlatban fontos szerepet játszó fém(ötvözet) szobahőmérsékleti villamos ellenállása a 3.5. táblázatban található.

3.5. táblázat

Fém(ötvözet)	Rendszám	Fajlagos ellenállás $T=20\text{ °C-on}$ $\mu\Omega\cdot\text{mm}$
Vas	26	0,90...1,00
Alumínium	13	0,27...0,28
Réz	29	0,17...0,18
Nikkel	28	0,74...0,90
Ötvözetlen szerkezeti acél	—	1,20...1,50
Austenites CrNi acél	—	7,00...7,50
NiCr ellenállásötvözet	—	10,0...11,0

Néhány technikai fém(ötvözet) fajlagos villamos ellenállása szobahőmérsékleten

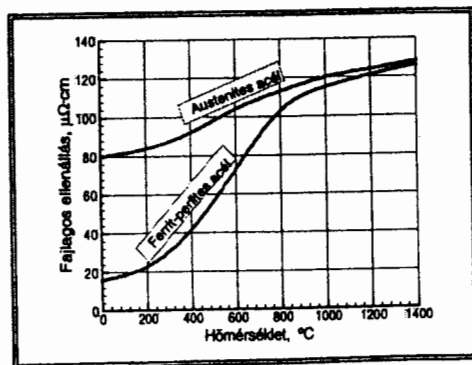
A rácsszerkezettel szoros összefüggésben lévő fajlagos ellenállás a hőmérséklet függvénye: minél nagyobb a hőmérséklet, annál nagyobb a fajlagos ellenállás. A nem-ferromágneses anyagok (Al, Cu, austenites acél) esetében a fajlagos ellenállás a hőmérséklettel másodfokú függvény szerint növekszik:

$$\rho_T = \rho_0 \cdot (1 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot T^2), \quad (3.32)$$

ahol:

- ρ_T , $\Omega\cdot\text{mm}$: a fajlagos ellenállás T hőmérsékleten,
 ρ_0 , $\Omega\cdot\text{mm}$: a fajlagos ellenállás szobahőmérsékleten,
 β_1 , β_2 : a fajlagos ellenállás hőmérsékletfüggésének,
 T , $^{\circ}\text{C}$: hőmérséklet.

Lágyacélok esetén a β_1 tényező értéke hozzávetőlegesen $0,004\text{ 1/}^{\circ}\text{C}$. Ferromágneses anyagok fajlagos ellenállása ettől eltérő, szintén nemlineáris hőmérsékletfüggést mutat, amit az allotróp átalakulással rendelkező fémeknél és ötvözeteknél a fázisátalakulások is bonyolítanak (3.51. ábra). Vannak olyan fémötvözetek, amelyek ellenállása a hőmérséklettel alig változik.



3.51. ábra

A fajlagos villamos ellenállás hőmérsékletfüggése

3.3.2.2. Érintkezési (átmeneti) ellenállás

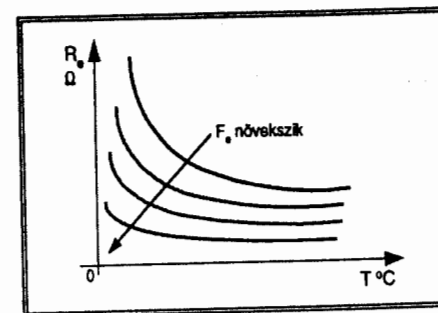
Összenyomott felületeken áthaladó áram az érintkezési helyen feszültségesést okoz, vagyis a nem tökéletes érintkezés ellenállásként szerepel. Az érintkezési, vagy más néven átmeneti ellenállás a körülményektől függően jóval szélesebb sávban változik, mint a vezetők belső ellenállása.

A kontaktusok fémes érintkezési felülete adott anyagpárosításnál az érdességétől, az érdességet deformáció révén megváltoztatni képes összeszorító erőtől és hőmérséklettől, valamint a felületi szennyezés jellegétől és vastagságától függ leginkább.

A 3.52. ábra a hőmérséklet és a felületeket összeszorító erő érintkezési ellenállásra gyakorolt hatását mutatja be. Az R_c érintkezési ellenállás nagysága néhány $\mu\Omega$ -tól a $m\Omega$ -os nagyságrendig terjed. Különösen nagy a reveréttel borított (melegen hengerelt) termékek érintkezési ellenállása. A felületi szennyezés erős befolyása miatt reprodukálható hegesztett kötések csak tisztított felületeken lehet készíteni.

3.3.2.3. Az ellenállásponthegesztés energiaforrása

Ellenállásponthegesztésnél a vékony lemezek átlapolat kötését hengeres elektródokon átfolyó áram segítségével hozzák létre. A rézötvözetből készült (tehát jó villamosvezető) elektródokat a kN -os nagyságrendű F_c elektróderő szorítja a lemezekhez. Az összeszorítás után az áramkörben t_h ideig nagy-áramerősségű, kisfeszültségű áram folyik, amely az egyes ellenállásokon hő fejlődést okoz. Az eljárás sikerének feltétele, hogy a kívánt hegesztési helyen a hegesztéshez elégséges hőenergia fejlődjön, emellett más ellenállások ne hevüljenek túlzott mértékben.



3.52. ábra

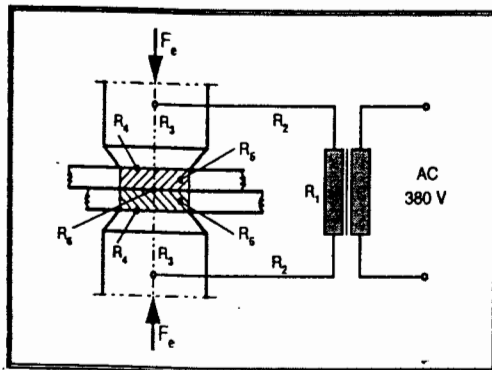
Az érintkezési ellenállás változása a hőmérséklet és a felületeket összeszorító F_c erő függvényében

Teljesen hasonló elven, de eltérő geometria mellett valósítható meg rúdanyagok ellenálláshevívése, amelynek részleteire itt nem térünk ki.

Az ellenálláshőforrás annyiban különbözik a villamos fűtől, hogy a villamos energia éppen a legmegfelelőbb helyen, magában a hegesztendő darabban, ott is a kívánt térfogatban alakul át hőenergiává. A hőforrás ennél fogva térfogati hőforrásként kezelendő.

A hegesztőkör villamos ellenállásai

A 3.53. ábra a ponthegesztőgép szekunder körében levő ellenállásokat mutatja. Az ellenállások közül az R_1 , R_2 , R_3 és R_5 vezetők belső ellenállása, az R_4 és R_6 átmeneti ellenállás.



3.53. ábra

Az ellenállás-ponthegesztőgép szekunder körében található ellenállások vékonylemezek állapot kötéseinek hegesztésekor

Az ellenállások megnevezése és relatív nagysága a 3.6. táblázatban található.

3.6. táblázat

Az ellenállás jele	Az ellenállás megnevezése	Az ellenállás relatív nagysága
R_1	A transzformátor szekunder tekercsének ellenállása	Igen kicsi
R_2	Nagykeresztmetszetű rézvezető a szekunder tekercs és az elektród között	igen kicsi
R_3	Az elektród ellenállása	kicsi
R_4	Érintkezési ellenállás a lemez és az elektród között	közepes
R_5	A lemez ellenállása (hengeres rész az elektródok között)	nagy
R_6	Érintkezési ellenállás az összehegesztendő lemezek között	legnagyobb

Az ellenállás ponthegesztés jellegzetes ellenállásai

A szekunder kör R_e eredő ellenállása ezek összege:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (3.33)$$

Az ellenállások összegzésekor a 3.6. táblázatban közölt relatív értéke miatt az R_1 és R_2 ellenállások figyelmen kívül hagyhatók. Az R_3 ellenálláson fejlődő hő az

elektródot hevíti, a fejlődő hő elvonásáról vízűtés gondoskodik. Az elektród vízűtésével, a tárgy- és az elektródfelszín tisztaságával, simaságával és kellő összenyomóerővel védekezünk az ellen, hogy az R_4 átmeneti ellenállás nagyra nőjön, különben az elektród a lemezhez hegedne, mint az durva hibás technológia mellett be is következhet. A hegesztés szempontjából hasznos ellenállások (R_5 és R_6) a legnagyobbak. Az összes befolyásoló tényezőt (köztük elsősorban a felületi állapotot és az összenyomó erőt) úgy kell beállítani, hogy ez a relatív nagyság-sorrend fennmaradjon.

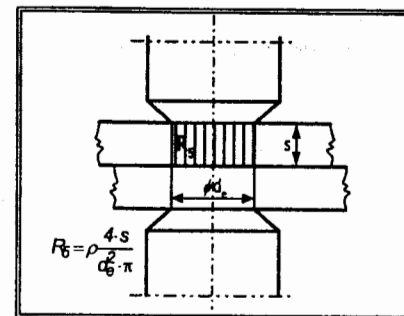
Ha a nagyon kis értékű R_1 és R_2 és a kis R_3 ellenállásokat elhanyagoljuk és az R_4 ellenállást tudatosan korlátozzuk, akkor az R_e eredő ellenállás a következő alakúra egyszerűsödik:

$$R_e \cong R_5 + R_6 \quad (3.34)$$

Az R_5 ellenállás azzal a közelítő feltételezéssel számítható, hogy az összenyomított lemezek csak az elektródatmérő által meghatározott hengeres térfogaton folyik áram (3.54. ábra). Az ábra jelöléseivel:

$$R_5 \cong \rho \cdot \frac{4 \cdot s}{d_e^2 \cdot \pi} \quad (3.35)$$

A hegesztési folyamat közben a hőmérséklet exponenciális jelleggel növekszik. A hőmérséklet növekedése az R_5 ellenállásra a 3.51. ábrának megfelelően növelő hatással van.



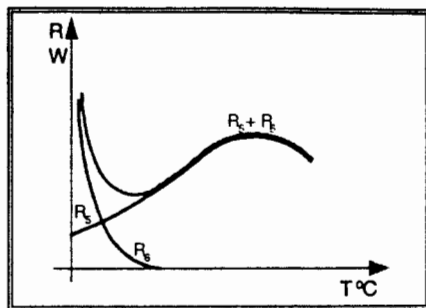
3.54. ábra

Az R_5 ellenállás meghatározása

Az R_6 érintkezési ellenállás szobahőmérsékleten nagy értékű, a hőmérséklet növekedésével azonban a képlékeny alakváltozás feltételei javulnak, a makroemelkedések fokozatosan deformálódnak, a szennyezők összetöredeznek, egy részük elgöyög, ennek következtében az érintkezés egyre jobb lesz és az R_6 ellenállás értéke gyorsan csökken.

A 3.55. ábra szemléletesen mutatja a két ellenállás értékének hőmérsékletnövekedés okozta változási tendenciáját. A folyamat kezdetén kisebb R_5 értéke a hőmérséklettel nő, a kezdetben jelentős R_6 nagysága gyorsan csökken. A két ellenállás eredője maximumos görbét ad ugyan, de a két ellentétes változási tenden-

cia nagyjából kiegyenlíti egymást, ezért a teljes hegesztési folyamatban az ellenállás azonos nagyságrendje fenntartható.



3.55. ábra

A hőforrás hőáramát meghatározó ellenállások változása a hegesztési folyamatra jellemző hőmérsékletnövekedés közben

Az ellenálláshegesztés energiaforrásának hőárama és hőáramsűrűsége

Az ellenálláshegesztés hőáramát az ellenállásokon átfolyó áram villamos teljesítményével azonosíthatjuk, mivel az energiaátalakulás hatásfoka egyhez közeli:

$$\Phi = U \cdot I \cdot \cos \varphi = I^2 \cdot R \cdot \cos \varphi. \quad (3.36)$$

Vegyük azt az egyszerű esetet, amikor $s=2 \text{ mm}$ -es acéllemezeket $d_e=7 \text{ mm}$ -es elektródával hegesztünk, $I_2=10 \text{ kA}$, $U_2=10 \text{ V}$, $\cos \varphi=0,5$ adatokkal. A (3.36) egyenlettel számolva:

$$\Phi = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 10 \cdot 10\,000 \cdot 0,5 = 50\,000 \text{ W}.$$

A kör átlagos eredő ellenállása:

$$R_e = \frac{\Phi}{I^2 \cdot \cos \varphi} = \frac{50\,000}{10\,000^2 \cdot 0,5} = 0,001 \Omega = 1 \text{ m}\Omega = 1\,000 \mu\Omega.$$

Az elektródátmérőre vonatkoztatott hőáramsűrűség:

$$q_0 = \frac{4 \cdot \Phi}{d_e^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 50\,000}{7^2 \cdot \pi} \approx 1\,299 \frac{\text{W}}{\text{mm}^2}.$$

A közölt egyszerű számpélda szerint az ellenálláshegesztésnél (rövid ideig) néhány száz kW hőárammal és néhány száz, vagy ezer $\mu\Omega$ nagyságrendű eredő ellenállással lehet számolni. A hőáramsűrűség nagyságrendje megfelel az ívhőforrás közepes és felső tartományának, de nem éri el a nagy hőáramsűrűségű megkülönböztető megnevezéshez szükséges 10^4 W/mm^2 -es alsó határértékét.

3.3.3. Lemezek villamos ellenálláshegesztése

Az előzőekben ismertetett ellenálláshőforrást jól lehet használni átlapolt, vagy tompán illesztett lemezek összehegesztésére. A hegesztés ponttal, különálló pon-

tokkal, vagy egymást részben átfedő, ezért hermetikusan záró pontsorról oldható meg. A lemezek villamos ellenálláshegesztésének ismert alváltozatai a következők:

- Ellenállásponthegesztés (*Resistance Spot Welding*),
 - * Dudorhegesztés (*Projection Welding*);
- Ellenállás-vonalhegesztés (*Resistance Seam Welding*),
 - * Fóliás-vonalhegesztés (*Foil Butt Seam Welding*).

A felsorolt ellenálláshegesztő eljárásokat elsősorban a vékonylemezekből ($s \leq 3 \text{ mm}$) álló, vagy ilyeneket tartalmazó szerkezetek szerelésekor alkalmazzák, főként az autókárrosszériák és -vázszerkezetek, háztartási gépek és eszközök, konténerok, gép- és járműburkolatok készítésére.

Az ellenálláshegesztés nagy előnye, hogy reprodukálhatóan jóminőségű kötések készítésére alkalmas, emellett a hegesztési idő rövid, a termelékenység nagy, az eljárás jól gépesíthető, jól automatizálható (robotok), az ellenálláshegesztő gépek a gyártó- és szerelősorokba nehézség nélkül beilleszthetők.

3.3.3.1. Ellenállásponthegesztés

Az ellenállásponthegesztés a legszélesebb körben használt sajtolóhegesztés. A 2.53. ábra szerinti elrendezésnek megfelelően az egymásra helyezett (átlapolt) lemezeket két elektróddal helyileg összeszorítanak és az így létrehozott érintkezési felületet és szűk környezetét rövid ideig ($t < 1 \text{ s}$) átfolyó, kisméretű ($U < 10 \text{ V}$), de nagy áramerősségű ($I = 1 \dots 20 \text{ kA}$) árammal hevítik. A lokális hevítés hatására a két lemez egy, nagyjából az elektródátmérőnek megfelelő átmérőjű, mindkét lemeznek a fél vastagságára kiterjedő lencsényi térfogatban megolvad, majd az áramátfolyás megszűnte után a két lemezből származó olvadék együtt kristályosodva összeköti a két lemezt. A kristályosodás a vízűtésű, jó hővezető elektródok hatására gyorsabb az ívhegesztésnél megszokottnál, a kristályosodás közben fenntartott szorítóerő pedig a szívódási üreg képződését elhárítja.

3.3.3.2. Az ellenállásponthegesztés gépi berendezése

Az ellenállásponthegesztő berendezések teljesítményüket, szerkezeti megoldásukat, méretüket, automatizáltsági mértéküket tekintve sokfélék lehetnek, de mind-egyik berendezés rendelkezik a következő fő részekkel: áramforrás, elektródegyiség és vezérlőegység.

A berendezéseknek két fő típusa ismert, mégpedig a helyhez kötött, stabil berendezések, és a mozgatható elektródafogók (ollók). Vannak olyan ritkán használatos gépi megoldások is, amelyek a relatíve jelentős helyigényt hozzáférési okokból az egyik oldalon jelentősen mérséklik.

Áramforrás

Az áramforrás rendszerint egy egyfázisú transzformátor, amely a hálózati áramot kisméretű, nagy áramerősségű árammá alakítja át. Léteznek egyenirányítóval felszerelt egyenáramú hegesztő berendezések is, de elterjedtségük az egyenárammal együtt járó csekély előnyök miatt alacsony.

Az áramforrások eső karakterisztikájúak, mivel a hegesztés a rövidzárlattól alig eltérő munkapontban megy végbe. Amennyiben a szekunder körben zárt geometriájú áramkör (ún. ablak) alakul ki, a mágneses veszteség jelentős értéket érhet el, amit a paraméterek megválasztásánál kompenzálni kell.

Az átfolyó nagy áramerősségek miatt a transzformátort rendszerint téglalap szelvényű tekercsekből építik fel.

Elektródegység

Az elektródegység az elektródokból, az elektródbefogókból, a mozgató mechanizmusból, az elektróderőt megvalósító részegységből és a hűtőkörből áll. Az elektródokkal fontosságuk miatt a későbbiekben külön foglalkozunk.

Az elektródbefogó az elvárt jó villamos és hővezető-képesség miatt minden esetben rézötvözetből készül. Az elektród morse kúppal csatlakozik az elektródbefogókba, ami az áram- és erőátadás mellett a hűtővízzel szembeni tömítést is megvalósítja.

Az elektródbefogók közül az egyik (rendszerint az alsó) rögzített, a felsőt közvetlen erőhatással vagy erőszorozó emelő elven egy (pneumatikus vagy hidraulikus) munkahenger mozgatja. A gyors megközelítés és ütközés után ugyanez a mechanizmus fejt ki a néhány, vagy legfeljebb néhány tíz *kN* elektóderőt.

Az elektródokat, a transzformátorokat és a tirisztorokat a túlhevüléstől intenzív vízárammal hűtik. A lágyított vízzel működő zártrendszerű vízkör kevésbé vízkövesedik, mint a hálózatra kötött, aminek ráadásul a vízfogyasztása is jelentős. A hűtővíz térfogatáramát (*4 l/min* felett) úgy kell megválasztani, hogy a bemenő és kilépő vízhőmérséklet különbsége ne haladja meg a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Az elektródok hűtőköre független a transzformátorokétól és a tirisztorokétól.

Vezérlőegység

A vezérlőegység egyik fő feladata, hogy a hegesztési ciklushoz tartozó időket a lehető legnagyobb pontossággal valósítsa meg. Mivel az előszortási idő, a hegesztési főidő és az utánszortási idő az esetek többségében jóval egy másodpercen belüli érték, a reprodukálható és pontos kapcsolás pontos elektronikát igényel.

A vezérlőegység másik feladata az áramerősség(ek) ki- és bekapcsolása. Itt a feladat bonyolultságát az okozza, hogy igen nagy áramok kapcsolásáról van szó és a kapcsolásnak adott időpontban és rendkívül rövid idő alatt kell megtörténnie. A tirisztorotechnika lehetővé teszi, hogy a hőáram finom beállítását a félperióduson belüli gyújtásszög változtatásával oldják meg (ún. vízszintes szabályozás).

A hegesztőgépeket egy választókapcsoló segítségével egyponthegesztésről sorozatponthegesztésre lehet átállítani: az utóbbi esetben (stabil gépeknél) a munkadarab vagy (a hegesztőollónál) a hegesztőgép új pozícióba állítását a szünetidő alatt kell elvégezni.

3.3.3.3. Elektródok

Az elektródok az ellenállásponthegesztés nemolvadó hegesztőanyagai, leginkább az *SWI* volfrám vagy kompozit elektródjaira emlékeztető funkciókkal.

Az elektródok anyagai

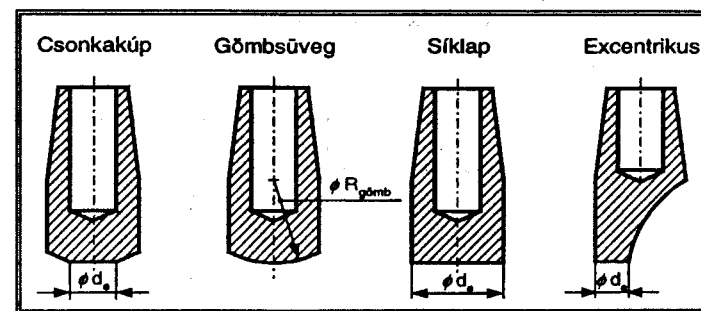
Az elektródoknak a jó villamos hővezetőképesség mellett jó hővezetőknek, lágyulással szemben ellenállóknak és a mechanikai terhelés miatt kopásállóknak kell lenniük. Mivel a felsorolt igények egymásnak ellentmondóak, következképpen nincs olyan anyag, amely valamennyi szempontnak egyaránt eleget tenne, ezért az elektródokat kompromisszumként réz helyett rézötvözetből készítik. A legismertebb elektróanyag a krómbronz, a cirkóniumbron, a kobaltbron és a berilliumbron. Különösen nagy terhelésre rézötvözet – mátrixú *W* vagy *Mo* betétes kompozitokat használnak. Az elektróanyagokkal kapcsolatos információkat az ISO 5182 számú szabvány tartalmazza.

Az elektródok geometriai kialakításai

Az elektródok különböző geometriai kialakítással készülnek (3.56. ábra). A legelterjedtebbek a csonkakúp végű elektródok, amelyek homloklapjának átmérőjét (d_e) a lemezvastagság függvényében választják meg:

$$d_e = 5 \cdot \sqrt{s} \quad (3.37)$$

A (3.37) összefüggés szerint 1 mm-es lemezvastagságok összehegesztéséhez 5 mm-es, 2 mm-esekhez 7 mm-es elektródatmértőt használnak.



3.56. ábra

Különböző kialakítású ponthegeztő elektródok

Különböző lemezvastagságok hegesztésekor a képletbe a kisebbik lemezvastagságot, három lemez hegesztésekor a második legnagyobb lemezvastagságot kell behelyettesíteni.

A csonkakúp végű elektródok hegesztés közben kopnak, ezért az átmérő folyamatosan növekszik. Amikor az elektródatmértő eléri a névleges értéket 1,3-szorosát, az elektródot fel kell szabályozni. A felszabályozás az elektród kiserelésével vagy anélkül is elvégezhető.

A gömbsüveg végű elektródok íves benyomódást hoznak létre, ami esztétikailag kevésbé zavaró. A gömb sugarát a hegesztendő lemezvastagság függvényében kell megválasztani: 1 mm-es lemezvastagsághoz 50 mm, 2 mm-eshez 75 mm-es rádiust kell használni.

A síklapvégződésű elektródokat elsősorban dudorhegesztéshez használják. Hozzáférási problémák (peremek, sarkok) esetén az elektródvégződéseket excentrikusan alakítják ki, vagyis a munkadarabbal érintkező felületet az elektród tengelyvonalától valamelyik irányban eltolják.

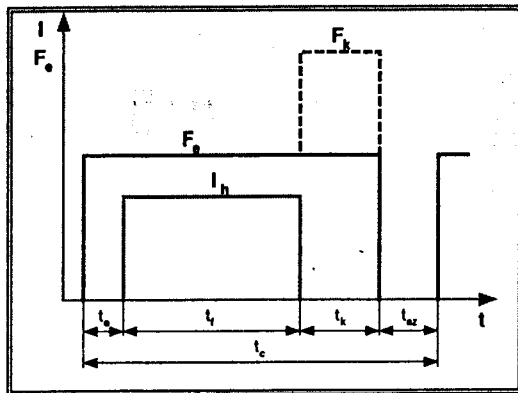
3.3.3.4. A ponthegeesztés ciklusdiagramja

Tételezzük fel, hogy a kötendő alkatrészeket egymásután készített, egymástól t osztástávolságra elhelyezett pontokkal hegesztjük össze. Egy ponthegeesztés elkészítésének lépéseit a ciklusdiagramból olvashatjuk le (3.57. ábra).

Az első fázisban (előszorítás, ideje t_e) az elektródok összezárnak és a beállított szorítóerővel kontaktust létesítenek a két előzetesen megtisztított felületű lemez között.

A kontaktus létrejötte után az I_h hegesztőáram szikrázás és elektródkárosodás veszélye nélkül bekapcsolható. Az áramátfolyás t_f ideje a hegesztési főidő.

A kristályosodás közbeni térfogatcsökkenés miatt az áramátfolyás kikapcsolása utáni hűtést összeszorított elektródokkal végzik. A hegesztés harmadik szakaszát a gyors elektródelmozdulás miatt kovácsolási fázisnak (kevésbé precízen utánszorításnak) nevezik. A kovácsolás idejét t_k -val jelöljük. A kovácsolási szakasz érdekessége, hogy még az áram kikapcsolása előtt megkezdődhet, és az F_k kovácsoló erő nagyobb lehet az előző két fázisban alkalmazott F_e elektróderőnél.



3.57. ábra

A ponthegeesztés ciklusdiagramja

Többponthegeesztésnél a munkadarab (hegesztő ollónál a hegesztőgép) léptetését a t_z szünetidő alatt végzik el.

3.3.3.5. A ponthegeesztés munkarendje

A ponthegeesztés közben képződő ellenálláshót a hőáram idő szerinti integrálja adja meg. Időben állandó áramerősség esetén az integrálás egyszerűen elvégezhető:

$$E = \int_{t=0}^{t_f} \Phi \cdot dt = \int_{t=0}^{t_f} U \cdot I_h \cdot \cos \varphi \cdot dt = U \cdot I_h \cdot \cos \varphi \cdot t_f \quad (3.38)$$

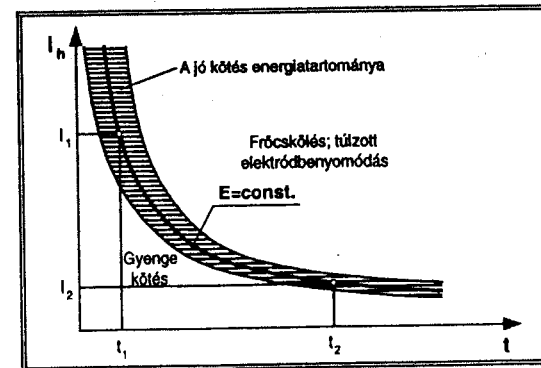
Az összefüggés szerint ugyanazt a hőenergiát rövidebb ideig ható nagyobb hőárammal (nagyobb hegesztőárammal) és hosszabb ideig ható kisebb hőárammal (alacsonyabb hegesztőárammal) is elő lehet állítani (3.58. ábra). Az előbbi kombinációt kemény, az utóbbit lágy munkarendnek nevezik. Minden olyan esetben a kisebb veszteségekkel járó és rövidebb ideig tartó, tehát gazdaságosabb kemény munkarendet kell használni, amikor ennek feltételei fennállnak.

Lágy munkarend használatára kényszerülünk edződő anyagoknál a hűléssebesség csökkentésére, valamint ha nincs elég nagyteljesítményű hegesztőberendezés a kemény munkarend használatához.

3.3.3.6. A ponthegeesztés alkalmazási területe

A ponthegeesztés elsősorban a vékonylemezek kötése technológiája, mivel az 5 mm-nél vastagabb lemezek hegesztéséhez (különösen a kemény munkarendhez) igen nagyteljesítményű gépek szükségesek. Ezek jelentős primer áramfelvétele különleges nagykeresztmetszetű hálózatot igényel, sokszor önálló transzformátorral. Megfelelő hálózat és hegesztőgép birtokában az 5 mm-nél vastagabb lemezek is ponthegeeszthetők, a ma ismert rekordvastagság 25 mm.

Adott gépteljesítménnyel vastagabb lemezek is hegeszthetők, ha egy hevítő ciklus helyett több ciklust alkalmazunk (impulzus ponthegeesztés).



3.58. ábra

A ponthegeesztés kemény (egyes indexű) és lágy (kettes indexű) munkarendje

Az anyagféleségek tekintetében a fém(ötvözetek) és a fémbázisú kompozitok ponthegeeszthetők. Az autópárházban pl. hegesztenek olyan réteges kompozitot is, ahol két acéllemez között vékony rezgéselnyelő polimerreteg helyezkedik el.

Az acélok közül az ötvözetlen, vagy gyengén ötvözött szerkezeti acélok, az erősen ötvözött (ferrites, duplex és austenites) korrózióálló acélok egyaránt jól hegeszthetők.

Az edződésre hajlamos acéloknál a karbon tartalom és a lemezvastagság felülről korlátozva van, ennek túllépésekor megeresztés válik szükségessé.

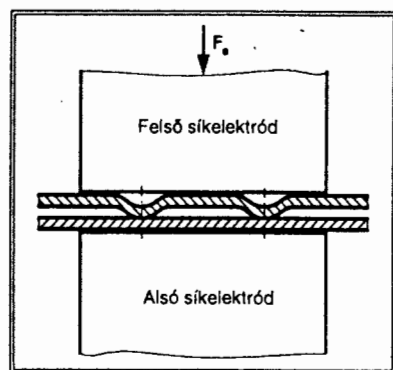
Az ón és cinkréteg az elektród élettartamát csökkenti, de a bevont lemezek hegesztése eltérő villamos és mechanikai paraméterekkel lehetséges.

Az elmúlt években (az autópárból) erőteljes igény jelentkezett az alumínium-ötvözetek ellenállásponthegesztésére. Az alumíniumok hegesztés szempontjából kedvezőtlen tulajdonságai (nagy hővezetőképesség, lunker- és repedésképződési hajlam, nagy hidrogénelnyelés, a képlékenységi küszöb és az olvadáspont közelsége) ellenére a hegesztés megfelelő hegesztőgépek és technológia birtokában kivitelezhető. A hegesztés kemény, vagy extrakemény munkarenddel lehetséges, ez utóbbi kondenzátorokban tárolt energia (igen rövid idejű) kisütésével állítható elő. Az alumínium fokozottan igényes hegesztéséhez (repülőgépipar) egyenáramú gépeket és invertereket gyártanak. Igen gyakori a hevítési elektróderőhöz képest megnövelt kovácsolóerő alkalmazása is (lásd a 3.57. ábrát).

3.3.3.7. Dudorhegesztés

Az ellenállásponthegesztés gyenge pontja, hogy a lemezek közötti optimális helyi kontaktust az elektródok összeszorításával kell létrehozni. A jó kontaktus a lemezek deformációját igényli, ami a különböző alakváltozási lehetőségek (kötöttségek) miatt pontról-pontra változó nagyságú erőt igényelne. Más probléma adódik abból, hogy a lemezeket deformálni hivatott elektróderő növelésével a lemezek közötti ellenállás a kívánt érték alá csökkenhet, az elektród élettartama megrövidülhet. Az adott nehézségek kiküszöbölésére fejlesztették ki a dudorhegesztést, ami a ponthegesztés javított alváltozatának tekinthető.

Dudorhegesztésnél a kontaktus a hegesztendő lemezek kívánt helyeken természetesen és előre elkészített, vagy természetes kiemelkedéseinek valósul meg, síkfelületű elektródok között. Mesterséges dudorok esetében rendszerint csak az egyik lemez alakítanak ki kiemelkedéseket, a másik sík marad (3.59. ábra).



3.59. ábra

Dudorhegesztés mesterséges dudorokkal

A dudorgeometria többféle lehet, legkedvezőbbek a göbmsüveg és csomkaküpszelvényű szerszámmal készített kiemelkedések. Gyártási tapasztalatok

szerint 1 mm-es lemezvastagsághoz kb. 3 mm dudorátmérő és 1 mm dudormagasság a legkedvezőbb, ugyanezek a méretek 2 mm-es lemezhez 5 mm és 1,25 mm.

Vannak olyan elempárosítások, ahol a dudorok (természetes kiemelkedések formájában) képlékeny alakítás nélkül is rendelkezésre állnak. Ilyen eset fordul elő a huzalok és köracélok merőleges kötéseinél vagy a lemez-körhuzal és a lemez-körcső párosításoknál.

A dudorhegesztés nagy kiterjedésű, síkfelületű elektródjai lehetővé teszik egyszerre több pont dudorhegesztését is, mivel az áramátfolyás helye a dudorok révén előre programozott. A robusztus kialakítás az elektródok élettartamát jelentősen megnöveli.

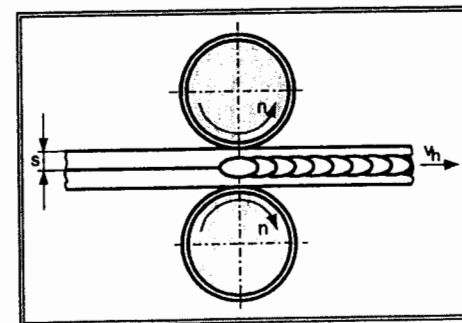
A dudorhegesztőgépek elektródegységével szemben a technológiából következő elvárás, hogy a dudorok alakítás okozta összeomlását a hegesztőgép nagy sebességgel kövesse, hogy a hegesztési folyamatban az összeszorítóerő egy pillanatra se csökkenjen.

Dudorhegesztésre alkalmasak a különféle acélok, nikkel- és rézötvözetek, de az alumínium- és titánötvözetek a felületi oxidhátyájuk és egyéb nehézségek miatt ipari körülmények között nem dudorhegeszthetők.

3.3.3.8. Vonalhegesztés

Egymást részben átfedő pontok sorozatával hermetikusan záró vonalvarrat hozható létre. Ilyenre van szükség pl. a lemezzárak és különféle szárítógépek gyártásához. A vonalvarrat megvalósítására a ponthegesztő elektródpár sokpontvarrata drágasága és lassúsága miatt technikailag alkalmatlan. A vonalvarrat gazdaságos elkészítése a görgős elektródok kifejlesztésével vált lehetővé.

A diszkrét pontok sokaságát szaggatottan forgó elektródgörgőkkel és folytonos árammal, vagy folytonosan forgó görgőkkel és szaggatott (impulzusos) áramfolyással lehet elkészíteni (az utóbbi, a 3.60. ábrán bemutatott megoldás technikailag egyszerűbben kivitelezhető, ezért gyakoribb). Az elektródgörgők többféle palástprofilal készülnek: legjobban az íves profilok váltak be.



3.60. ábra

A vonalhegesztés elvi vázlata

A ponthegesztés szakaszosságával szemben a vonalhegesztés a hegesztés kezdetétől a végéig folyamatosan fenntartott elektróderővel, az elektródok eltávolítása

nélkül történik. A görgős elektródok forgás közben hűlnek, az árambevezetés mindig újabb felületen megy végbe, ezért az élettartamuk összehasonlíthatatlanul nagyobb, mint a ponthegeztésnél alkalmazottaké. Az elektródok vízűtése ennek ellenére ugyanolyan fontos, mint a ponthegeztésnél.

A vonalhegesztés az ISO 4063 szerint a 2. jelű *Ellenálláshegesztések* főcsoport tagja, számkódja 22.

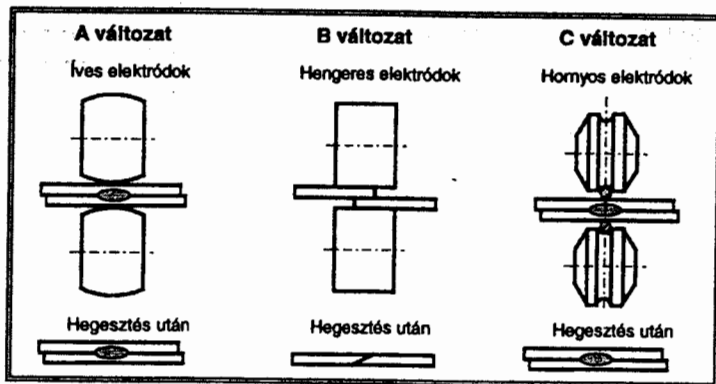
A vonalhegesztés geometriai korlátozottsága

A vonalhegesztés jelentős hozzáférési nehézségekkel jellemezhető. A görgős elektród szélessége és átmérője számottevő helyigénnyel jár. Ehhez járul a hegesztendő lemezek varrathosszirányú mozgása, ami a hegesztőgép homlokfelületével párhuzamos és arra merőleges lehet. Mindkét megoldásnak szerkezeti korlátai vannak és a munkadarab méretei is korlátozottak, mivel a hegesztőgépre jellemző munkatérben el kell férniük.

A vonalhegesztés alváltozatai

A vonalhegesztésnek három egymástól jelentősen különböző alváltozata van (3.61. ábra).

Az A változat szerint (*lap seam welding*) az összehegesztendő lemezek átlapolat helyzete a hegesztés után is megmarad. Ez a megoldás a legáltalánosabban használt. Különösen széles körben használja az autóipar (üzemanyagtartályok, katalizátorok, hangtompítók, karosszéria csatlakozások) de az egyéb iparágak is (hőcserélők, víztartályok, kannák, hordók).



3.61. ábra

A vonalhegesztés legfontosabb alváltozatai

A B változat (*mash seam welding*) esetében az átlapolás csak a lemezvastagság egy-kétszeresére terjed ki és a hegesztés közben felhevített lemezszélek intenzív képlékeny alakítással (kovácsolással) egy síkba kerülnek (a folyamat a kézi kovácsolás hegesztésre emlékeztet). A B változat tehát átlapolt lemezekkel indul és tom-paillesztéssel fejeződik be. A B változatot az autóipar a lemeztáblák tompakötésére használja (*tailored blank manufacturing*), mivel kevésbé érzékeny a pontos illesz-

tésre, mint a lézersugarhegesztés, de alkalmazást nyer aerosolos flakonok, vödörök, hordók hegesztésénél és hengerdei szalagok toldásánál is.

A C változatot alacsony olvadáspontú fémekkel (Zn, Al, Sn) bevont acéllemez-hegesztésre lehet használni, ahol a görgős elektródokat a bevonat okozta szennyeződéstől folyamatosan adagolt, egyszer használatos rézhuzallal védik. Az elektródok ennél az alváltozatnál a huzalátmérőnek megfelelő hornyot tartalmaznak. Mindkét elektródhoz egy pár csévetest tartozik: a rézhuzal egyik dobról lefejtve áthalad az elektród palástján és a másik dobra csévélődik fel.

Az áram söntölődése

A vonalhegesztés egyik érdekes jellegzetessége az igen nagy söntáram, ami az előzetesen meghegesztett, átfedésben lévő hegpontok közelségéből adódik. Von-alhegesztésnél akár a hegesztőáram fele is a söntön haladhat keresztül; ezt a jelenséget a technológia tervezésekor mindenképpen figyelembe kell venni.

Görgős elektródok

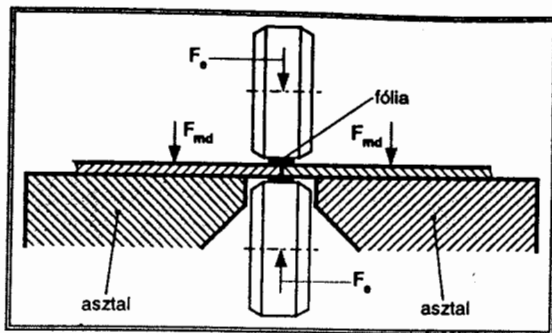
Az elektródok geometriai kialakítását a 3.61. ábra kapcsán ismertettük. A görgők átmérője és szélessége igen változatos, a hegesztési feladathoz rendelt. A görgők átmérője leggyakrabban 50 és 600 mm (ezen belül legnépszerűbb a 100...300 mm intervallum), vastagsága 5 és 25 mm között változik.

A görgők anyaga többnyire a ponthegeztő elektródokkal azonos (hidegen alakított, vagy kiválással keményített rézötívözet, de ettől eltérő új anyagokat is kifejlesztettek (pl. a porkohászati úton előállított $Cu-A_2O_3$ diszperziós kompozitot).

3.3.3.9. Fóliás-vonalhegesztés

A lemeztáblák jó minőségű tompakötésére régen igényt tart az ipar. Ennek oka, hogy a hidegen hengerelt vékonylemezeket nem lehet nagy táblaméretben előállítani, ugyanakkor az alkatrészek méretigénye igen nagy is lehet. Egy közép-kategóriájú személygépkocsi felső karosszériájának felülete meghaladja a legnagyobb gyártott lemeztábla-méretet is. A mélyhúzás előtt ezért esetenként több táblát össze kell hegesztetni, de olyan minőségben, hogy a hidegalakítást repedésmentesen elviselje, a két lemez egysíkúsága biztosítva legyen és ne legyenek felületi szabálytalanságok. A fóliás vonalhegesztést az autóiparon kívül a különféle háztartási gépek és kannák, tartályok, tárolóedények gyártásában, közúti járművek és vasúti személyvagonok oldalfalainak vagy tetőrészeinek elkészítésekor is előszere-ttel használják.

A fóliás vonalhegesztés a 3.62. ábra szerint az autogén (hozaganyagmentes) vonalhegesztés hozaganyag (exogén) változata. A hozaganyag néhány tizedmilliméter vastagságú és néhány mm szélességű lágyacél fémfóliacsík, amit hegesztés előtt a tompán illesztett lemezek élére helyeznek. A fólia részben beleolvad a kötésbe, kiálló részei pedig enyhe csiszolással könnyen eltávolíthatók. A fóliás vonalhegesztéssel a vékonylemezek tökéletes tompakötése állítható elő, ami mechanikai tulajdonságait és esztétikai megjelenését illetően is teljes értékűnek tekinthető.



3.62. ábra
A fóliás vonalhegesztés vázlata

A fóliás vonalhegesztés tompavarratának kialakulása a következő: az elektród-erő bekapcsolása után a fóliák és az alapanyagok közötti ellenálláson hő fejlődik, ami a lemezek hőmérsékletét helyileg megnöveli. A hőmérsékletnövekedés következtében a szorosan illesztett lemezek kitágulni igyekeznek, de a leszorító erő miatt oldalirányban elmozdulni nem képesek. Így a hőtágulásból az illesztési síkra merőleges nyomófeszültség (nyomóerő) alakul ki, ami a lemezek között a megfelelő kontaktust (érintkezési ellenállást) létrehozza. A lemezek ezen követően átfolyó áram hatására hő fejlődik, ami a lemezeket összeolvasztja. A kötés a hegyűrdő nyomás alatti lehűlésével jön létre.

A fóliás vonalhegesztéssel létrehozott kötés szilárdságát főként a tompavarrat és nem a hevederként szereplő gyenge fóliák biztosítják.

Mivel a fólia a lemezfelületen látható és kissé egyenetlen kiemelkedést okoz, sima felület csak a kötés utólagos abrázív megmunkálásával (köszörülésével vagy csiszolásával) hozható létre.

3.3.4. Szilárd fázisú sajtolóhegesztések

Ahogy azt a 2.3.3. alfejezetben láttuk, az ellenálláshegesztések minden esetben olvadákfázisból kristályosodó varratot hoztak létre, ezért az ellenálláshegesztések a folyékony fázisú sajtolóhegesztések (*liquid phase pressure welding*) csoportjába tartoznak. A sajtolóhegesztések másik csoportjában ezzel szemben az anyag sem makro-, sem mikroméretben nem olvad meg, ezért az ilyen hegesztéseket szilárd fázisú sajtolóhegesztéseknek (*solid phase pressure welding*) nevezzük.

A szilárd fázisú hegesztések sikere azon múlik, hogy az adott eljárás megkövetelte felületelőkészítés és hegesztési atmoszféra megválasztása mellett az alkalmazott sajtolóerő, az előírt kívánt hőmérséklet és a hegesztési idő értékeit sikerült-e megfelelő értékre beállítani és összhangjukat biztosítani.

A szilárd fázisú sajtolóhegesztés régen (néhány ezer éve) ismert, mivel a (tűzi) kovácshegesztés a szilárd fázisú hegesztések őseinek tekinthető.

A szilárd fázisú hegesztések legszélesebb körben használt eljárása a dörzshegesztés, ezért a csoport tipikus eljárásaként a következőkben ezt ismertetjük.

3.3.4.1. Dörzshegesztés

A dörzshegesztés (*DH*) erősen összenyomott felületek relatív mozgásával létrehozott súrlódási hőforrással működik. A relatív mozgás leggyakrabban forgó, de lehet vibrációs és bolygó is. Az eljárás során az érintkező felületeket és szűk (0,1...5 mm) környezetüket normál levegő atmoszférában a T_m olvadáspont közelébe, a (0,7...0,9) T_m hőmérséklet-tartományba hevítik és makroméretű, kovácsoló nyomással segített képlékeny alakítás után lehűlni hagyják. A képlékeny alakítás a szennyezőket a kötésfelületről eltávolítja, ezért az eljárás a felületelőkészítésre nem különösebben érzékeny.

A dörzshegesztés angol neve *Friction Welding*, német elnevezése *Reibschweissen*, ISO 4063 szerinti számkódja 42 (a 4. jelű *Sajtolóhegesztés* főcsoport tagja).

A forgó főmozgású dörzshegesztésnek két alapváltozata alakult ki. Az 1940-es években az USA-ban fejlesztették ki a *folyamatos hajtású dörzshegesztést* (*FHD*), ami 1956 után az akkori Szovjetunióból kiindulva vált ipari eljárássá. Az *energia-tárolós dörzshegesztés* (*ETD*) az 1960-as évek elején az USA-ban került kifejlesztésre. A két alapváltozat néhány vonatkozásban erősen eltér egymástól; az *FHD* egyetemes jellegű, az *ETD* inkább célfeladatok megoldására alkalmas. Ebből adódik az *FHD* kb. 80 %-os és az *ETD* 20 %-os alkalmazási részaránya.

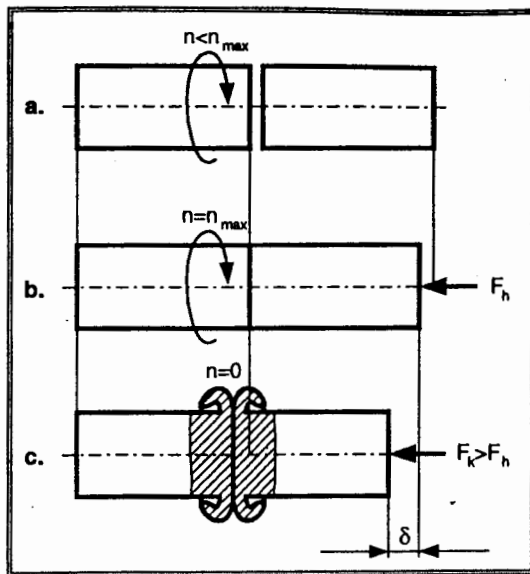
3.3.4.2. A folyamatos hajtású dörzshegesztés folyamata

A dörzshegesztés leggyakoribb alkalmazásának az azonos átmérőjű hengeres darabok kötése számít, ezért a folyamatos hajtású változat fontosabb sajátosságait erre az esetre mutatjuk be.

A 3.63. ábra szerint a nagyolésztergált hengeres darabokat a hegesztőgépp munkadarab-befogóiba (tokmány, patron, párhuzamsatu) fogják be. A kihajlásvesztély elkerülése és a tokmány homlokfelületeinek védelme érdekében a munkadarabok befogóból kiálló (ún.) szabad hosszát az átmérővel azonosra választják. Indításkor az egyik darabot a hajtómotor a kívánt fordulatszámra gyorsítja. A fordulatszám elérésekor a másik szán tengelyirányban előre mozdul, a munkadarabot a forgó ellendarabhoz nyomja és a nyomást beállított ideig fenntartja.

Az erősen összenyomott felületek között intenzív súrlódás keletkezik (a súrlódási tényező 0,5 és 1 közötti), aminek hője a rúdvégeket gyorsan hevíti. A hevítési sebesség nagyon gyors, leginkább 300...3000 °C/s között változik. Amikor a rúdvégek melegegése folytatódik a folyáshatár az axiális nyomófeszültség alá csökken, makroméretű melegalakítás kezdődik, ami az érintkező felületekről a szennyeződést kisodorja. A fémtiszta felületek kialakulásával hatni kezdenek az atomos kötéserők, amiket azonban a forgó mozgás szétszakít.

A hevítési idő elteltével a hajtómotort az automatika kikapcsolja és a forgó mozgást erős fék segítségével megállítják. A fékezési fázisban a kötésminőséget kovácsoló nyomás alkalmazásával javítják. A növelt nyomást egy rövid ideig a forgó darab megállása után is fenntartják. A kötés tehát nyomófeszültség alatt hűl le, eközben a képlékeny alakítás sebessége maximumot ér el. A vékony hevített térfogat melletti hideg anyag intenzív hűtőhatása miatt a hűlési sebesség nagyon gyors, 100...1000 °C/s tartományban változik.



3.63. ábra

A dörzshegesztés folyamata (a.: gyorsítási szakasz; b.: a hevítési fázis kezdete; c.: a kovácsolási fázis vége.)

A kialakult kötést a jellegzetes forgásszimmetrikus sorjáról könnyű felismerni. A sorja térfogata a két munkadarab δ nagyságú összcsoportosulással arányos. Teljesen szimmetrikus esetben az összehegesztendő darabok rövidülése azonos, méret vagy anyag aszimmetria esetén a két rövidülés eltér egymástól.

3.3.4.3. A folyamatos hajtású dörzshegesztés folyamatábrája

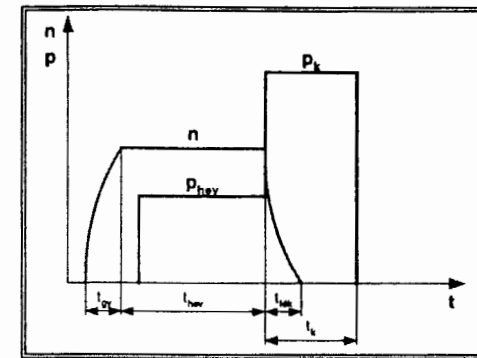
Az ellenálláshoz hasonlóan rajzolható meg a dörzshegesztés folyamatábrája is. A 3.64. ábra szerint a hevítési idő a kívánt fordulatszám elérésekor, vagyis a gyorsítási idő után kezdődik és a fékezési időig tart. A nyomásdiagram kétlépcsős, a hevítési és a kovácsolási nyomásból áll. A két nyomásérték között fennálló viszonyszám acélok hegesztésekor a következő:

$$p_k = (2 \dots 3) \cdot p_{hev} \quad (3.39)$$

A hevítési nyomás a súrlódási erő, ezen keresztül a súrlódásos hőforrás hőáramát befolyásolja. Szokásos értéke ötvözetlen acélokánál 25...50 MPa, ötvözött acélokánál 35...70 MPa. Kisebbségi nyomás elhúzó hővezetéshez és a hőmérsékletgradiens csökkenéséhez vezet, ami különösen edződő acélok hegesztésénél lehet előnyös. Nagyobb hevítő nyomás a munkarendet keményíti.

A kovácsoló nyomás szerepe, hogy a hevítési szakaszban felhevített rúdvegeket erőteljesen alakítsa, a kötés létrejöttét elősegítse, majd biztosítsa, hogy a kötés lehűlése nyomás alatt menjen végbe. Minél nagyobb a kovácsoló nyomás, annál alacsonyabb hőmérsékletű anyagrészek is alakváltóznak. Ez az oka annak, hogy a túl-

zottan nagy kovácsoló nyomással hegesztett kötések alakváltozóképesége és szívóssága alacsonyabb, mint a (3.39) összefüggéssel adott kovácsoló nyomás alkalmazása esetén.



3.64. ábra

A folyamatos hajtású dörzshegesztés ciklusdiagramja

3.3.4.4. A dörzshegesztés alkalmazási területe

A dörzshegesztés geometriailag rudak, csövek, lemezek és rúdszerű tárgyak tompakötéseihez alkalmazható. A fontosabb geometriai kombinációk a következők: rúd-rúd, cső-cső, rúd-cső, rúd-lemez, cső lemez.

A dörzshegesztendő munkadarabok hengerléssel, kovácsolással, öntéssel és porkohászati technológiával készülhetnek.

A dörzshegesztés méretkorlátját a rendelkezésre álló hegesztőgép merevsége, motorteljesítménye és legnagyobb axiális ereje határozza meg. Tömör tengelyeknél 1 mm-től 250 mm-ig terjed a méretskála, csöveknél 1000 mm átmérő és 20 mm falvastagság a megvalósított felső mérethatár.

Dörzshegesztést a geometriailag lehetséges termékeknél általában két fő céllal alkalmaznak; mindkét megoldáshoz komoly mérnöki -gazdasági előnyök társulnak:

- gyártási okokból részekre bontott alkatrészek összehegesztése (nyeles fogaskerék, fogaskeréktömb, lépcsős tengely, dugattyú- és dugattyúrúd, forgattyús tengely, nagyméretű csavar - csavarfej, szemescsavar, tárcsa - tengely, cső - csőkarima);
- igénybevételi okokból különféle anyagokból gyártott termékek összehegesztése (anyagkombinációk, mint gyorsacél szerszám, szerkezeti acél szerszámnyél, motorszelep fej és szár, réz - alumínium kapcsolat).

Sok dörzshegesztett alkatrészt tartalmaznak a mezőgazdasági gépek, repülőgépmotorok, személy- és teherautók, földmunkagépek, villamos berendezések és a petrokémiai termékek. A szerszámgyártó iparág dörzshegesztett kivitelben készíti a száraz szerszámokat (csigafúrók, szármarók, dörzsárok, egyes esztergakések).

A rúdvegek ellenkező kúpos kialakításával a kötésfelület megnövelhető, ezzel a kötéstudajdonságok tovább javíthatók.

3.4. A HEGESZTÉS ROKONELJÁRÁSAI

A hegesztés rokoneljárásai a kötőhegesztés, vagy a felrakóhegesztés funkcióját a hegesztéstől eltérő alapelven valósítják meg.

A kötőhegesztés rokoneljárásai a keményforrasztás, a lágyforrasztás és a ragasztás. Mindhárom felsorolt eljárás az ún. szilárd-folyékony kötések csoportjába tartozik, mivel kötőfunkciójukat az alapanyagok megolvasztása nélkül, de a hozaganyag megolvasztásával fejtik ki.

A felrakóhegesztés rokoneljárása a termikus szórás.

Egyes vélemények szerint a termikus vágások is rokoneljárások, bár azok éppen nem az anyagok kötését, hanem a szétválasztását valósítják meg.

3.4.1. Keményforrasztás

Az időszámítás előtt kb. 3 ezer évvel már ismert keményforrasztás (*Brazing*): az anyagok hőközléssel végzett oldhatatlan kötése az alapanyag megolvasztása nélkül, de a mindig használt, az alapanyagénál alacsonyabb olvadáspontú forraszanyag megolvasztásával (ún. szilárd-folyékony kötés). A forrasz megolvadása után az alapanyaggal diffúziós kötés jön létre.

A keményforrasztott kötések hozaganyaga 450 °C-nál magasabb olvadásponttal rendelkező ötvözet. Sokféle forraszanyag ismert, amelyekre 3.7. táblázatban adunk példákat.

A forraszanyagok sokféle formában (pálca, huzal, gyűrű, fólia, alakos forrasz) kaphatók. A felületi feszültséget csökkentő folyasztószerek, amelyek másik fontos szerepe az oxideltávolítás és az újraoxidálódás megelőzése, külön por vagy paszta formájában, vagy a forraszanyag külső felületére felhordva, esetleg furatában elhelyezve, portöltétként nyernek alkalmazást.

A keményforrasztott kötések nagyobb felületet és a kapilláris erők növelése érdekében igen vékony (0,025...0,25 mm) illesztési rést és forraszréteget igényelnek, ezért a legelterjedtebb kötéstípus az átlapolt kötés, amire egy cső-cső kapcsolat esetében a 3.65. ábra mutat jellegzetes példát.

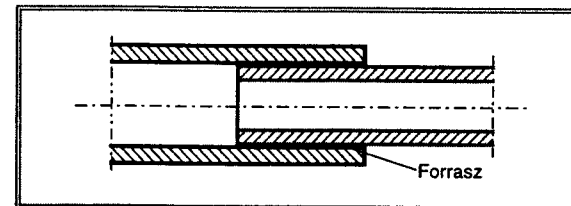
3.7. táblázat

Alapanyag	Forraszanyag	Forrasztási hőköz
Alumínium és ötvözetek	Al-Si ötvözet	570...620
Magnéziumötvözetek	Mg-Al ötvözet	580...625
Réz és ötvözetek	Cu-Sn ötvözet (ónbronz)	700...925
Ötvözetek néhány könnyűfém (Al és Mg) kivételével	Ag és Cu ötvözetek Cu-Sn ötvözet (ónbronz)	620...1150
Fe, Ni és Co bázisú ötvözetek	Au	900...1100
Austenites acélok	Ni-Ag ötvözet	925...1200

Tipikus forraszanyagok különféle ötvözetekhez

3.4.2. Lágyforrasztás

Lágyforrasztásról (*Soldering*) olyan forrasztások esetében beszélhetünk, ha a forraszanyag olvadáspontja kisebb, mint 450 °C. A legismertebb lágyforrasztások ónbázisúak (első alkalmazás kb. ie. 3500...3000 év). A lágyforrasztást ma elsősorban a gyengeáramú elektronika alkalmazza, mint az alapanyagot kémföld, de fémes kapcsolatot létesítő kötéstechnológiát. A lágyforrasztott kötések mechanikai teherbírása alacsony, de az alkalmazások jelentős részében nem is ez, hanem a jó villamos-vezetőképesség az elérendő cél.



3.65. ábra

Tipikus kötéalak keményforrasztáshoz

A lágyforrasztók legismertebb típusa az eutektikus, vagy ahhoz közeli *Sn-Pb* ötvözet ($Sn_{eut}=63\%$), de a kötészilárdság javításához vagy más különleges tulajdonság eléréséhez *Sn-Zn*, *Pb-Ag*, *Cd-Ag*, *Zn-Al* ötvözeteket is kifejlesztettek. A lágyforrasztáshoz folyasztószereket kell használni. A legismertebbek ezek közül a cink-ammónium-klorid, a különféle gyanták és szerves savak.

Mivel a forraszanyag mindkét forrasztásnál jóval lágyabb, mint az alapanyag, a forraszréteg vastagságát csökkenteni kell. Az ipari tapasztalatok szerint elsősorban a néhány mikrométer vastagságú forraszoktól várható jelentős nyírósilárdság.

3.4.3. Ragasztás

A ragasztás (*Adhesive Bonding*) olyan kötőeljárás, amelyben a kötendő felületek közé helyezett ragasztóanyag megszilárdulás után az elemek között adhéziós kötést hoz létre. A mai követelményeknek megfelelő, vékony rétegű, jól kivitelezett ragasztott kötések (a második világháborútól felgyorsított fejlesztésük következtében) egyre jobb mechanikai jellemzőkkel rendelkeznek. A ma ismert ragasztók alapvetően három csoportba tartoznak:

- természetes ragasztók (gumioldat, szójaliszt, állati eredetű anyagok),
- szerves ragasztók (nátrium-szilikát [vízüveg], magnézium-oxy-klorid),
- szintetikus, szerves ragasztók (hőre lágyuló és hőre keményedő polimerek).

A ragasztott kötések nagy hátránya, hogy üzemi hőmérsékletük a ragasztó keményedési hőmérséklete által determináltan erősen korlátozott (20...200 °C). A tipikus ragasztott kötések nyomásnak, nyírásnak jól, húzásnak, hajlításnak rosszul állnak ellent.

A ragasztástechnológia az acélok hegesztéséhez viszonyítottan nagy technológiai fejelemet igénylő, korlátozottan alkalmazható, viszonylag drága eljárás. A

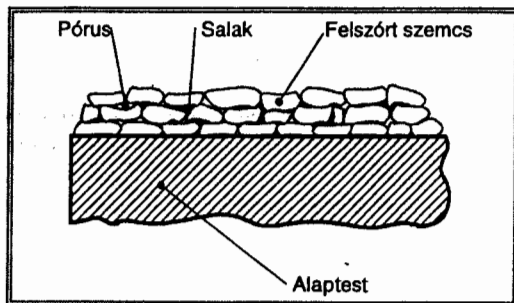
felületelőkészítés eredménye (érdesség, tisztaság) az eljárás sikerét döntő módon befolyásolja.

3.4.4. Termikus szórás

Felrakóhegesztéskor kevés (szilárd fázisú) hegesztő eljárástól eltekintve az alaptest felülete megolvad és összekeveredik az olvadt heganyaggal. Az eljárás-csoportnak számos korlátja van, amelyek feloldására fejlesztették ki a termikus szórásokat.

A termikus szórás (*Thermal Spray*) olyan eljárások gyűjtőneve, amelyben igen apróra porlasztott folyadékceppeket, illetve teljesen, vagy részlegesen megolvasztott finom szemcséket szórnak (röpítenek) rá a bevonandó felületre. A szórt anyag nem csak fém lehet, hanem kerámia, polimer, vagy kompozit. (A régebbi fémszórás elnevezés teljesen elavultnak tekintendő).

Az alaptest és a felszórt réteg közötti kötés mechanikus és diffúziós jegyeket egyaránt tartalmaz, ezért a kötésszilárdság az alaptest és a réteg anyagának, valamint a technológia függvényében az általános néhány MPa-tól akár a különleges esetekre jellemző többszáz MPa-ig terjedhet. A kötésszilárdság korlátozza a mechanikai igénybevételt, ami kisebb kötésszilárdságoknál csak nyomó- vagy nyíró lehet. Lényegét tekintve a termikus szórás a réteges kompozitok előállításának egyik lehetséges technológiája (3.66. ábra).



3.66. ábra

Termikus szórással kezelt darab keresztmetszete

A termikus szórás célja, hogy elkopott alkatrészek méreteit az alaptesttel azonos anyag felszórásával helyreállítsa, illetve, hogy szerkezeti acél alaptestre különleges tulajdonságú (kopásálló, hőálló, korrózióálló, jó villamos vezető, stb.) réteganyagot vigyen fel.

A termikus szórás a felrakóhegesztésnél sokszorta költségesebb technológia, ezért alkalmazása csak olyan esetekben tekinthető gazdaságosnak, amikor vele különleges, más módon nem előállítható alkatrésztulajdonságok érhetők el.

3.5 HEGESZTETT SZERKEZETEK GYÁRTÁSA

A hegesztett szerkezetek gyártása az erre a tevékenységre szakosodott gyártótól komoly felkészülést igényel. Ez a felkészülés kiterjed a megfelelő szakképzettségű személyzet meglétére, a tárgyi eszközök biztosítására és a minőségbiztosítást is támogató szervezeti rendszer működtetésére. A hegesztés *különleges folyamat*, mivel a hegesztett kötések csak megfelelő módon ellenőrzött körülmények között készülhetnek és a hegesztett termékeket részletesen ellenőrizni kell (az *ISO 9000 (EN 29000)* szabványsorozat szerint) annak tanúsítására, hogy a kívánt minőségi előírások a gyártás során teljesültek.

3.5.1 A hegesztés rendeltetése: kötő- és felrakóhegesztés

A hegesztést két (nagyon ritkán kettőnél több) elem oldhatatlan kötésének létrehozására használva kötőhegesztésről (*fusion welding*), egy elem felületére egy célszerűen megválasztott anyagot felhegesztve felrakóhegesztésről (*surface welding*) beszélünk. A kétféle rendeltetés becslült alkalmazási aránya 95 / 5 % a kötőhegesztés javára. A két fő típust a 2.2 fejezetpontban ismertettük részletesen.

3.5.2 A hegesztési munkák gépesíthetősége

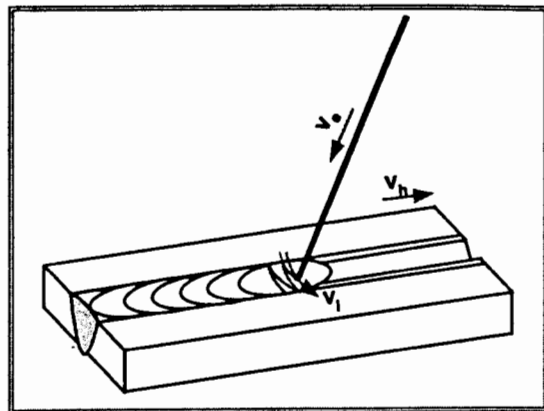
A hegesztés korai időszakában a hegesztés minden műveletét (hozaganyag előtolás, keresztirányú ívelés, hosszirányú haladás) kézzel végezték. A mennyiségi igények növekedése magával hozta a hegesztési munka egyes mozzanatainak vagy teljes egészének gépesítését. A processzorvezérlés megjelenésével a hegesztési munkák végrehajtási fázisából az ember csaknem teljesen kiküszöbölhetővé vált (hegesztő robotok). Az előzők alapján a hegesztés gépesítésének a következő szintjei különíthetők el: kézi hegesztés, gépesített hegesztés emberi felügyelettel, gépesített hegesztés processzor felügyelettel.

A korábban használt félig gépesített, félautomata és automata szakkifejezések téves tartalmúak és elavultak.

3.5.2.1 Kézi hegesztés

Kézi hegesztéskor a hosszirányú varratképzést és a keresztirányú ívelést a hegesztő végzi. A harmadik mozgáselem, a hozaganyag előtolása lehet kézi (*SWI, BKI*), vagy gépesített (*VFI*) (3.67. ábra).

A kézi hegesztés előnye, hogy minden térbeli helyzetben és minden hegesztési helyszínen végezhető. Az illesztési rés változását és egyéb rendellenességeket a hegesztő képes kiegyenlíteni. A kézi hegesztés rövid és szabálytalan vonalvezetésű varratoknál, egyedi vagy kissorozatgyártásban, javításoknál és egyes felrakóhegesztési feladatoknál előnyös.



3.67. ábra

A hegesztési művelet három főmozgása

3.5.2.2. Gépesített hegesztés emberi felügyelettel

A klasszikus gépesített hegesztés azt jelenti, hogy a varratengely irányában a hegesztőpisztolyt egy mechanizmus állandó sebességgel mozgatja, (egyes esetekben álló hegesztőfej alatt a munkadarab mozog) a hegesztőanyag gépesített előtolású (ezért csak huzal vagy szalag lehet) és keresztirányú ívelést szinte soha sem alkalmaznak. A kezelő feladata az összes első- és másodrendű paraméter gondos beállítása, állandóságának felügyelete, szükség esetén utánállítása.

A gépesített hegesztést többnyire egyszerűen megvalósítható egyenes, kör- és csavarvonal alakú varratoknál alkalmazzák, többnyire középhosszú és hosszú varratoknál, az esetek döntő többségében műhelyi körülmények közepette, PA és PB pozíciókban.

3.5.2.3. Gépesített hegesztés processzor felügyelettel

A robohegesztésnek, vagy robotizált hegesztésnek is nevezett esetben a hegesztőfejet numerikusan (rugalmasan) programozható robot tartja és mozgatja (*plyaprogram*). A hegesztési változók erre alkalmassá tett áramforrások segítségével szintén programozhatók (*technológia-program*).

A mozgáspálya és a hegesztési változók szabályozottak, a szabályozást különböző fizikai elveken működő szenzorok (érzékelő) teszik lehetővé. Emberi felügyeletre nincs szükség. Modern gyártórendszerekben a hegesztőrobotokat egy központi robot felügyeli.

A robohegesztés alkalmazási területe inkább a kézi hegesztéshez hasonlít, mivel a munkatér korlátossága miatt a sok rövid, különböző helyzetű és pozíciójú varrat hegesztése előnyös. A robotok csak műhelyi körülmények között használhatók, VFI, autogén- vagy hideghuzalozású SWI és ellenállásponthegesztő eljárásokkal.

3.5.3. Különböző anyagok hegeszthetősége

A hegeszthetőség az alapanyagoknak az egyes technológiákra való alkalmasságához (pl. önthetőség, forgácsolhatóság, mélyhúzóhatóság, stb.) hasonló fogalom. A *hegeszthetőség adott alapanyag hegesztésre való alkalmassága adott hegesztési eljárás, hozaganyag és technológia alkalmazása esetén előírt követelményeket kielégítő, hegesztett szerkezet előállításakor*. Ez a definíció a hegeszthetőség komplex voltát bizonyítja, bár maga a fogalom főként az alapanyaghoz kapcsolódik.

Egy fém(ötvezt) hegeszthetősége elméletileg akkor a legjobb, ha eleget tesz a következő követelményeknek:

- rácstípusa felületközéppontos kockarács (*fcc*),
- mikroszerkezete egyfázisú szilárd oldat,
- liquidus-solidus távolsága zérus, vagy minimális,
- szemcseszerkezete (az utolsó hőkezelése után) finomszemcsés poligonális,
- hővezetőképessége és fajlagos hőtágulása minimális,
- szilárdsági paraméterei alacsonyak, alakváltozóképesége nagy,
- rácshibakonzentrációja alacsony (egyensúlyi állapothoz közeli),
- edződésre, kemény vegyületfázis kiválása okozta keményedésre nem hajlamos,
- szennyezőtartalma (pl. acélok esetében *S, P, As, Pb; H₂, N₂; O₂*) minimális,
- jól dezoxidált (acéloknál az oldott *FeO* vagy rézötveztetknél az oldott *Cu₂O* tartalma minimális),
- melegalakftással gyártották (nem öntött, nem hidegalakftott, nem porkoházati úton készült),
- gázoldóképessége folyékony és szilárd állapotban egyaránt alacsony,
- sűrűsége folyékony és szilárd állapotban csak kevésbé különbözik,
- nincs allotróp átalakulása.

3.5.3.1. Az acélok hegeszthetősége

Az acélok a többi fémötveztet viszonyítva jó hegeszthetőséggel rendelkeznek, bár az előzőekben felsorolt szempontok egy részének nem tesznek eleget. Az acélok hegeszthetőségét a gyártási (*fabrication weldability*) és az üzemi (*service weldability*) fázisban kell vizsgálni. Az acélok hegesztésekor a következő nehézségekkel kell számolni: kristályosodási repedések keletkezése, hidrogén okozta (hideg) repedések, a hegesztési hőciklus okozta tulajdonságromlás, az üzemi során bekövetkező tulajdonságromlás.

A *kristályosodási repedések* (*solidification crack*) a hegyvarrat dermedésének utolsó fázisában, ötvözeteknél a likvidus és solidus hőmérséklet között jönnek létre, ezért ezeket kevésbé tudományos igénnyel melegrepedésnek is szokás nevezni. A kristályosodási repedések könnyen felismerhetők, mivel a varrat legutoljára megszilárduló középvonalát követik.

A *hidegrepedések* (*hydrogen induced cracks*) a kristályosodási repedésektől eltérően -50 és +150 C. között, késleltetve keletkeznek, sokszor a hegesztést követő hetekben, sőt hónapokban. A hidegrepedések kialakulását elsődlegesen a hibahelyeken összegyűlő hidrogénnek a kohéziós erőre gyakorolt negatív hatása

okoza, húzófeszültségek jelenlétében. A repedés annál könnyebben alakul ki, minél gyengébb a szövet alakváltozóképesége. A hidegrepedésekért felelős tényezők a diffúzióképes (atomos, oldott) hidrogén jelenléte, kemény, repedésérzékeny mikroszerkezet, és húzófeszültségek jelenléte.

A hidegrepedések leggyakrabban a hőhatásövezetben alakulnak ki, de ritkán a varratokban is előfordulhatnak, ha a hegesztőanyagválasztás vagy a technológia nem volt kellően végiggondolt.

A **hegesztési hőciklus okozta tulajdonságromlás** a viszonylag rövid ideig tartó, de a likvidushőmérsékletig terjedő hegesztési hőciklus hatására a hőhatásövezet egyes zónáiban az eredeti alapanyagjellemzőkhöz képest tulajdonságromlásként következhet be. A kedvezőtlen változás a mechanikai jellemzőkben (ütőmunkában, alakváltozóképeségben, ritkábban a szilárdsági paraméterekben) vagy egyéb tulajdonságokban (pl. korróziós ellenállás) megy végbe. A jelenségek mögött olyan metallográfiai jelenségek állnak, mint a szemcsedurvulás, rekristallizáció, kiválások és egyéb diffúziós folyamatok.

A hőhatásövezet tulajdonságromlásának mértéke technológiai eszközökkel csökkenthető, sőt az esetek egy részében utóhőkezeléssel (pl. normalizálás) megszüntethető.

Az **üzemelés során bekövetkező tulajdonságromlás** a hegesztéshez képest alacsonyabb hőmérsékletintervallumban, de évekig üzemelő szerkezetek hegesztett kötéseiben következhet be. A probléma tipikusan a melegsizlárd acélokban (alkalmazásuk főleg a 600 °C-ig hevíthető gőzhöz kapcsolódik) és a még ennél is nagyobb hőmérsékleten üzemelő hőálló acélokban jelenik meg.

A rideg fázisok kiválása (karbidok, σ fázis) vagy éppen az elszéntelenedés és a Cr tartalom helyi csökkenése repedések kialakulásához vezethet.

Az üzemelés során végbemenő tulajdonságromlás egyike a legnehezebben kezelhető hegeszthetőségi problémáknak. Mindenekelőtt olyan alapanyagok kifejlesztésére van szükség, amelyek szövetszerkezete növelt hőmérsékleten is nagyfokú stabilitást mutat és a rideg vegyületek komponenseit nagyon alacsony koncentrációban vagy egyáltalán nem tartalmazza (pl. nagyon alacsony C tartalom a karbidképződés megakadályozására). Hegesztéskor főleg a hegesztőanyag helyes megválasztásával és a hegesztést követő stabilizáló hőkezeléssel védekezhetünk a nemkívánatos diffúziós folyamatok ellen.

3.5.4. A hegesztés tárgyi és személyi feltételei

A hegesztést alapvető technológiaként alkalmazó gyártóknak szigorú követelményeknek kell megfelelniük, mielőtt erre felhatalmazott független szervezetek a gyártásra alkalmasnak minősítenék őket. A követelmények kiterjednek a gyártáshoz szükséges tárgyi és személyi feltételek meglétére és a célszerű minőségbiztosítási rendszer működtetésére. A tevékenységi körbe a tervezés, fejlesztés, gyártás és a vevőszolgálat komplexen tartozik bele.

A hegesztés **különleges folyamat**, amelynek eredményei nem teljes mértékben tanúsíthatók a terméknek a legyártást követő ellenőrzésével és vizsgálatával, és ahol a feldolgozás során megmutatkozó esetleges hiányosságok csak a termék későbbi üzemeltetésekor válnak nyilvánvalóvá.

3.5.4.1 A hegesztés tárgyi feltételei

A hegesztési tevékenység üzemi körülmények között végzett gyártási és helyszíni szerelési (javítási) osztályokba sorolható. A két tevékenységi osztályhoz tartozó tárgyi feltételek nyilvánvalóan különbözni fognak. A továbbiakban csak az általánosabb gyártótevékenységre vonatkozó feltételeket foglaljuk össze. A tárgyi feltételek egyszerűsödnek, ha a hegesztési tevékenységet egy, vagy több termék-csoportra (pl. acélszerkezetek, hidak, nyomástartó edények, járművek, ...) és/vagy tipikus alapanyagra (szerkezeti acélok, melegsizlárd acélok, korrózióálló acélok, alumíniumötvözetek, ...) szűkítik le.

Építmények. A gyártónak megfelelő gyártócsarnokkal, gyártóműhellyel, gyártótérrel kell rendelkeznie. A hegesztés követelményeinek a fedett, huzatmentes, fűthető építmények felelnek meg leginkább. A nem hegesztési műveletek (felületkezelés, vágás, ellenőrzés, csomagolás) számára biztosítani kell a megfelelő területeket.

Az alapanyagok, hozaganyagok, kereskedelmi áruk, beszállítók termékei, a nem megfelelő termékek és a késztermékek számára megfelelő raktártérrel kell rendelkezni.

Anyagmozgató gépek. A hegesztett szerkezetek elemeit, részegységeit és a kész szerkezetet hegesztés előtt, közben és után mozgatni (emelni, fordítani, pozícionálni, szállítani, stb.) szükséges. Ehhez megfelelő teherbírású, kapacitású és munkaterü anyagmozgató gépekkel (daru, targonca, szállítószalag, konveor, kiszolgáló robot) kell a hegesztőüzemet felszerelni.

A hegesztés tárgyi eszközei. A hegesztéshez a munka jellegéből következően hegesztő áramforrásokra, huzalelőtollókra, elektródbefogókra, hegesztőpisztolyokra, hegesztőéögökre, kábelekre, gázipalackokra, gáztartályokra, gázvezetésekre, fedőportartályokra, hűtőegységekre, elektródaszárítókra, szabályozó, programozó és programtároló egységekre és személyi védőfelszerelésre van szükség. A gépesített hegesztéshez hegesztőgépeket, készülékeket, befogó és rögzítő elemeket, esetleg hegesztő robotokat kell beszerezni.

A hegesztést kiszolgáló technológiák tárgyi eszközei. Az alapanyagok revéltlenítése, felület tisztítása, nyírásos, forgácsoló és termikus vágása, darabolása, hidegalakítása, az előírt élgeometria forgácsoló kialakítása, az különféle gépek, kiségek és tárgyi eszközök meglétét feltételezi.

A hegesztést megelőző előmelegítés és a hegesztést követő helyi vagy teljes tömegű hőkezelés elvégzéséhez különféle hőforrásokra, hevítőgépekre és kementékre van szükség.

Mérőberendezések. Az előgyártmányok, részegységek, kereskedelmi áruk, késztermékek és az összeállítás pontosságának ellenőrzéséhez megfelelő pontosságú, ellenőrzött és hiteles hossz- és szögmérőeszközökre van szükség.

A hegesztőket az előírt varratméretek ellenőrzésére alkalmas egyéni mérőműszerekkel és/vagy sablonokkal kell ellátni.

A hőmérsékletek méréséhez és szükség esetén regisztrálásához megfelelő mérőműszerekre és regisztrálóokra van szükség.

A villamos mennyiségek méréséhez (amennyiben rendelkezésre állnak és megfelelőek) a hegesztő berendezések műszereit vagy ennél pontosabb műszereket kell használni.

Vizsgálóberendezések. A hegesztési folyamat ellenőrzéshez és a részben vagy teljesen elkészült kötések vizsgálatához többféle módszer használatos. A vizsgálatok roncsolásos és roncsolásmentes csoportba sorolhatók.

A roncsolásos vizsgálóberendezésekkel az előzetes technológiai próbákat, a gyártmánnyal egyidejűleg és azonos körülmények között készített kötések vagy mintavételes eljárással magát a termék kötéseit vizsgálják. A vizsgálatokhoz szakító- és hajlítóvizsgálóra alkalmas és felszerelt szakítógépet, Charpy féle ingás ütőművet, keménységmérőgépet és mikroszkópos laboratóriumot kell működtetni. A próbatestkészítéshez megfelelő vágó-, daraboló- és forgácsológép háttérrel kell rendelkezni.

A szemrevételezéshez és a roncsolásmentes vizsgálatokhoz nagyítóra, speciális világító lámpákra, röntgensugárzóra és/vagy gammasugárzóra (izotópra), filmlaboratóriumra és értékelő lámpára, ultrahangos berendezésre, különféle vizsgálófejekre, folyadékpenetráló készletre, mágneses repedésvizsgálóra és az adott hegesztési tevékenységhez illeszkedő egyéb különleges berendezésekre lehet szükség.

Kisebb gyártó a vizsgálatokat erre a tevékenységre feljogosított (akkreditált), független alvállalkozó(k)ra is bízhatja, aki a vizsgáló tevékenységhez megfelelő eszközökkel, személyzettel és szakértelemmel rendelkezik és erre szerződéses kötelezettséget vállal.

3.5.4.2. A hegesztés személyi feltételei

A különleges folyamatnak számító hegesztés megbízható végrehajtása csak megfelelő szakmai ismeretekkel és gyakorlati tapasztalatokkal rendelkező hegesztési személyzettel lehetséges. A hegesztési személyzet hierarchiáját és a velük szemben támasztott követelményeket EN szabványok tartalmazzák. Az ideális személyi felépítést egy hegesztéssel foglalkozó középmeretű gyártószervezet példáján keresztül ismertetjük.

Hegesztési felelős. A hierarchia csúcspontján a hegesztési felelős áll, aki az európai rendszerben EWE (*European Welding Engineer*), vagyis európai hegesztő (szak)mérnök képesítéssel rendelkezik. Feladatait az EN 719 szabvány körvonalazza. A hegesztési felelősnek a következő területeken kell irányító-felügyelő tevékenységet kifejtenie. a szerződések átvizsgálása, a tervdokumentáció átvizsgálása, az alap- és hegesztőanyagok hegesztési megfelelőségének biztosítása, az alvállalkozók alkalmasságának megítélése, a hegesztéssel kapcsolatos gyártástervezés irányítása, a hegesztőberendezések megfelelőségének biztosítása, a hegesztés-előkészítés és a hegesztés szakszerű végrehajtása, a vizsgálatok irányítása és felügyelete, a dokumentálás elvégzése.

A hegesztési felelőst munkájában beosztott hegesztőmérnök(ök) segítheti(k).

Hegesztési szakterület-felelős. A komplex hegesztési tevékenység egy-egy szegmensét-, vagy csoportját hegesztési szakterület-felelős irányítja. Ilyen szakterületek lehetnek a következők: szerződés és tervdokumentáció felügyelete, alvállalkozók és beszállítók felügyelete, hegesztés operatív irányítása, vizsgálatok irányítása.

A részterületfelelősi munkakört az európai rendszerben hegesztő technológus (*European Welding Technologist, EWT*) végzettségű, legalább főiskolát végzett mérnökök látják el.

Hegesztési művezető. A hegesztők egy csoportjának irányítását hegesztői múlttal rendelkező, érettségizett, az európai rendszerben *European Welding Specialist (EWS)*-nek nevezett személyek (a magyar rendszerben nincs rá elfogadott megnevezés, a *hegesztő szakoktató*, a *hegesztő specialista* és a *hegesztőmester* titulus használatos) látják el. A hegesztési művezető műszakhoz, gyártmányhoz vagy kivitelezési helyszínhez kötődő hegesztők (optimálisan 10-15 fő) munkáját irányítja.

Minősített hegesztő. A minőségbiztosítási rendszerben végzett szerkezetgyártásban csak minősített hegesztők vehetnek részt. Az európai rendszer *European Welder*-nek (*EW*)-nek nevezi őket, a magyarban a *minősített hegesztő* megnevezés használatos. Minősített hegesztő az a személy, akit erre feljogosított vizsgáztató szerv elméleti és gyakorlati vizsgán a megjelölt hegesztési feladat elvégzésére alkalmannak talált és részére bizonyítványt adott ki.

Az ömlesztőhegesztők minőségének pontos metodikáját az EN 287-1 szabvány tartalmazza. A rendszer lényege, hogy 10 szempont alapján jól körülhatárolt hegesztési feladatokat fogalmaz meg és ennek elvégzésére jogosítja fel a hegesztőt. A minősítő szempontok a következők (zárójelben a lehetséges esetek száma): hegesztési eljárás (10), gyártmánytípus (2), varratfajta (2), alapanyag-csoport (6), hegesztőanyagok (9), csőátmérő (3), falvastagság (3), hegesztési helyzet (9), egy vagy kétoldali hegesztés (2), gyökoldali alátét (2).

A külföldi munkavégzés megkönnyítése érdekében a bizonyítványok kétnyelvűek, vagyis egyidejűleg nemzeti nyelven és angolul szövegezettek.

3.5.5. A hegesztés gyártási dokumentumai

A hegesztett szerkezetek gyártását jól szabályozott körülmények között pontos technológiai, munka és ellenőrzési utasítások birtokában lehet csak végezni. A hegesztés dokumentumai a tervező-technológus-gyártó közötti információcserén alapulva a reprodukálható, gazdaságos, ütemes, biztonságos, minőségi terméket eredményező gyártási folyamatot szolgálják.

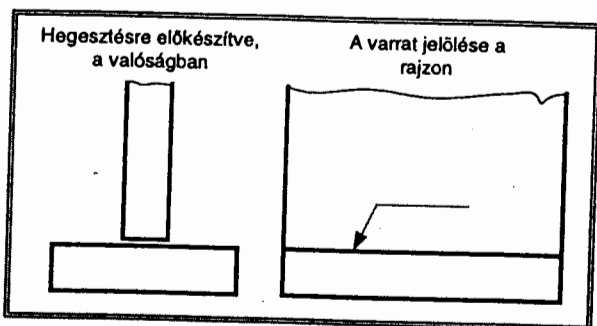
Egy hegesztett szerkezet gyártásához a következő legfontosabb dokumentumokra van szükség: szerkezetterv, hegesztési terv, minőségterv.

Szerkezetterv. Egy hegesztett termék végső formáját a hegesztést követő forgácsoló megmunkálásokkal nyeri el. A forgácsoló műveletek ráhagyásait tartalmazó összeállítási rajzot *hegesztési összeállítási rajznak* nevezik; ez képezi a hegesztéses szerelés alapját.

A hegesztési összeállítási rajz tartalmazza az összehegesztendő elemeket, az elemek alkatrészejt-azonosítóit, a szerkezet befoglaló méreteit, az elemek egymáshoz viszonyított helyzetét egyértelművé tevő méreteket és szövegeket és ezen adatok türéseit, beleértve a párhuzamossági, merőlegességi, egyenestől, illetve síktól való eltérések türéseit is.

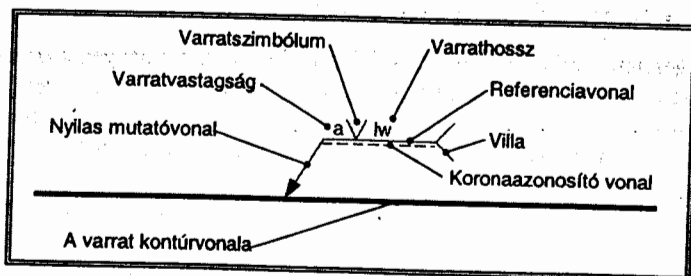
A hegesztési összeállítási rajzon a hegesztett kötések jelölésére egységesített szabályok vonatkoznak; ezeket az EN 22 553:1998 jelű Európai Szabvány tartalmazza. A szabvány szerint az elemek csatlakozási helyein a varratfajta, az illesztési rést, a varratfelépítést és a leélezést nem jelölik, az összehegesztendő elemek a rajzon kontúrvonallal csatlakoznak egymáshoz (3.68. ábra).

A nyilas mutatóvonal és a ráírt adatok pontosan meghatározzák a varratgeometriát, sőt azon túlmenő információkkal is szolgálhatnak. A tervező ezekkel az adatokkal kommunikál a hegesztéstechnológiát elkészítő és a kivitelezést irányító hegesztőmérnökkel. A varratjelölés egyezményes szerkezetét és formáját a 3.69. ábra illusztrálja.



3.68. ábra
A hegesztett varrat jelölése a rajzon

Az ábrán hivatkozott varratszimbólumokat a varratfajták tárgyalásánál már megadtuk. A varratjel szerkezetét és olvasását a hegesztést tervező és irányító szakembereknek biztonságosan ismernie kell, mivel minden tévedés súlyos idővesztést és pluszköltségeket okozhat.



3.69. ábra
A varratjel szerkezete (a : a varrat vastagsági mérete, lw : a varrat hossza)

A minősített hegesztők számára az összeállítási rajz információi túlságosan bonyolultak lennének, ezért részükre a hegesztési tervben könnyen követhető rajzos útmutatást készítenek (WPS, illetve munkautasítás).

Hegesztési terv. A hegesztési terv az a gyártási dokumentum, amely a hegesztéses szerelésre vonatkozó összes információt tartalmazza. A hegesztési tervet a tervezői dokumentáció, ezen belül a hegesztési összeállítási rajz alapján hegesztőmérnök készíti el és a hegesztési felelős hagyja jóvá. A hegesztési terv fő fejezetei a következők:

1. A hegesztés általános körülményei,
2. Termikus és hideg vágások és darabolások,
3. Átmeneti korrózióvédelem,

4. Élelőkészítés és tisztítás,
5. Összeállítás: illesztés és fűzés,
6. Hegesztési sorrendterv,
7. Hegesztési műveletek utasításai (WPS-ek jegyzéke),
8. Hibás varratok javítása,
9. Hegesztést követő termikus kezelések (egyengetések, hőkezelések),
10. Ellenőrzési terv és átvételi követelmények,
11. Baleset- és tűzvédelmi előírások.

A hegesztési terv legfontosabb mellékleteit az egyes hegesztési típusmunkákra kidolgozott és független szerv által jóváhagyott WPS-ek képezik, ezért ezek tartalmát és felépítését a következőkben röviden ismertetjük.

Hegesztési műveleti utasítás: WPS. A hegesztett szerkezeten található varratokat a hegesztőmérnök összegzi, tipizálja. Minden szerkezeten előforduló varrat-hoz egy *Gyártói hegesztési utasítást*, angol nevén *Welding Procedure Specification-t*, (rövidítve: *WPS-t*) kell rendelni.

A WPS-ek tartalmáról az EN 288-1 jelű Európai Szabvány intézkedik. A szabvány szerint a művelet elvégzéséhez szükséges minden információt egyértelműen meg kell határozni, ahol szükséges, a teendőket vázlatokkal is kell illusztrálni. A WPS fő tartalmi pontjai a következők:

- WPS azonosítók,
- Feladat azonosítók,
- Választott hegesztő eljárás,
- A hegesztendő élek előkészítése, illesztés (vázlattal),
- Vastagság- (és ha szükséges) hosszirányú varratfelépítés (vázlattal),
- Hegesztőanyag specifikációk (egyezményes EN jelölés is),
- A választott hegesztőeljárás paraméterei, munkarendi adatai,
- Számított vonalenergia,
- A hegesztés kivitelezésére vonatkozó utasítások (főleg kézi hegesztésnél),
- Ellenőrzési utasítások,
- Javítási lehetőségek,
- Utókezelések,
- Egyéb utasítások,
- Aláírások.

Fontos követelmény, hogy a WPS ellenőrzött és jóváhagyott legyen. Ennek leggyakoribb módja, hogy egy erre a tevékenységre feljogosított szervezet megvizsgálja a technológiát, a technológia alapján készített kötésmintát roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatnak veti alá. Ha minden eredmény kedvező, kiállít egy WPAR (*Welding Procedure Approval Record*, magyarul *Hegesztéstechnológia jóváhagyási jegyzőkönyve*) nevű tanúsítványt, amivel tanúsítja a hegesztéstechnológia megfelelését. A WPAR azonosítóját a WPS azonosítók között minden esetben meg kell adni.

Minőségterv. A hegesztési folyamat minden egyes lépésének ellenőrzöttnek kell lennie. Ennek biztosítására készül a gyártószervezet minőségügyi részlege által kidolgozott és a minőségügyi felelős által jóváhagyott *Minőségterv*. A Minőségterv a Hegesztési terv minden lépéséhez hozzárendeli a minőségügyi teendőket, szükség esetén ezen túlmenő intézkedéseket is tartalmazhat. A minőségterv azért

lényeges, mert a minőség biztosítása komplex feladat, aminek a gyártószervezetben belül egységes rendszert kell alkotnia. A minőségügyi szervezetnek a hegesztett szerkezetek gyártása során *megállítási joga* van, vagyis a gyártási folyamatot a minőségbiztosítási feltételek nem teljesülése esetén bármikor felfüggesztheti.

3.5.6 Hegesztési hibák és javításuk

A hegesztett kötésekben a hegesztés hatására a tervezett állapottól való eltérések, szabálytalanságok, és folytonossági hiányok keletkezhetnek, ezeket összefoglaló néven hegesztési hibáknak nevezzük. Jóllehet a hegesztési hibák zöme a varratban keletkezik, de hegesztés okozta hibák fordulhatnak elő a hőhatásövezetben, sőt az alapanyagban is, ezért az ipari gyakorlatban elterjedt *varrathiba* elnevezés pontatlan.

A hegesztési hibák eredete sokféle lehet. Leggyakoribbak a hegesztés kivitelezésének problémáira visszavezethető hibák, de hibák keletkezhetnek technológiai nem-megfelelőségekből, hegeszthetőségi nehézségekből, sőt konstrukciós okokból is.

A hegesztési hibák egy része szabad szemmel is látható, ezeket felületi hibáknak nevezzük. A mélységi hibákat csak roncsolásmentes vizsgálattal lehet kimutatni, mivel ezek az anyag belsejében helyezkednek el.

A hegesztési hibákat a vonatkozó Európai Szabvány (EN 26 520) a következő főcsoportokra osztja (zárójelben az *IIV* betűjel):

1. Repedések (*E*),
2. Űregek (*A, K*),
3. Szilárd zárványok (*B, G, J, H*),
4. Kötéshibák (*C, D*),
5. Alakhibák (*F*),
6. Egyéb eltérések.

A varrathibák az alapanyag szerkezeti szabálytalanságaihoz (kristályhibákhoz) hasonlóan elkerülhetetlenek. Minden hegesztett szerkezet tartalmaz varrathibákat, legfeljebb a kimutathatóságuk a mai eszközökkel nem lehetséges, vagy veszélytelenségüknél fogva kimutatásuk nem érdemes.

A varrathibák következményeinek megítélésénél a hibafajta, a hibanagyság és a hibagyakoriság alapján kell mérlegelni. Minél közelebb van a hiba a repedéshez, a lemez vastagságához viszonyítottan minél nagyobb méretű és a varrathosszhoz viszonyítottan minél nagyobb gyakoriságú, annál veszélyesebbnek minősül. A veszélyességet a törési hajlam, a tulajdonságromlások és az esztétikai problémák alapján lehet megítélni.

A megítélhető mértékelt meghaladó hegesztési hibákat javítani kell. A javítást ún. *javítóhegesztéssel*, egyes esetekben (pl. nagyméretű varratdudor, szabálytalan gyökátfolyás, szélkioldás, a koronaátmenet szöghibája) a forgácsoló megmunkálások valamelyikével lehet elvégezni.

4. HŐKEZELÉS

4.1. A HŐKEZELŐ ELJÁRÁSOK ÁLTALÁNOS ALAPJAI

4.1.1. A hőkezelés szerepe a gépgyártástechnológiában

A gépiparban a gyártás célja szerint két alapvető terület, az alkatrészgyártás és a késztermék előállítás (szerelés)különíthető el.

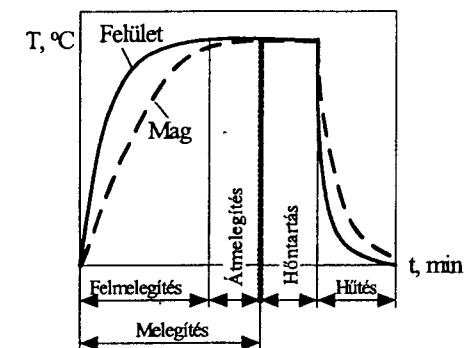
Az *alkatrészgyártás* feladata előírt geometriájú, felületminőségű és anyagtulajdonságú alkatrészek gyártása. Az alakadás történhet felépítő (öntés, meleg- és hidegalakítás, hegesztés), vagy leválasztó (különböző forgácsoló technológiák) eljárások alkalmazásával. A gyakorlat számára igen jelentős alakadó technológiák, a szabályos szerszáméllal végzett forgácsolás (esztérgálás, marás, fúrás stb.) és a képlékeny hidegalakítás műszaki illetve gazdasági szempontból eredményes végrehajtása csak meghatározott, jó feldolgozhatóságot biztosító anyagtulajdonságok illetve szövetszerkezet mellett lehetséges.

Az alkatrész működése során ható igénybevétel azonban a feldolgozhatóságot biztosító, illetve az egyéb alakadó technológiáknál kialakuló tulajdonságoktól eltérő anyagtulajdonságokat követel meg. A gyártás során tehát szükség van a vas- és fémötvözet termékek anyagtulajdonságainak változtatására. Ezt a szerepet látja el a hőkezelés. Ebből eredően a hőkezelés a gépgyártástechnológia integráns része. A hőkezelés során nem célunk az alak és a méretek megváltoztatása ez inkább nem kívánatos kísérőjelenség.

Általános feladat a gépészmérnöki gyakorlatban a célnak megfelelő hőkezelő eljárás kiválasztása és adott esetben a választott hőkezelő eljárással és egyéb követelményekkel összhangban álló anyagminőség előírása. Meg kell adni a hőkezelés eredményére vonatkozó elvárást és megfelelő szakmai kommunikációt kell tudni folytatni a hőkezelést legtöbbször végrehajtó bérhőkezelő üzemmel.

4.1.2. A hőkezelés definíciója és hőmérséklet-idő diagramja

A mérnöki gyakorlatban a hőkezelés vas- és fémötvözetek előírt anyagtulajdonságait biztosító technológia, amit a hőmérséklet célszerű változtatásával érnek el. Ehhez egyes eljárásoknál a cél eléréséhez egyéb, kémiai, mechanikai és fizikai hatások is társulnak.



4.1. ábra

A hőkezelési ciklus hőmérséklet-idő diagramja a jellegzetes szakaszok feltüntetésével

írt hőmérsékletre való felmelegítésből, hőntartásból és a kiinduló hőmérsékletre való lehűtésből áll. Az egyes eljárások egy vagy több ilyen ciklusból tevődnek össze. Egy ilyen hőmérséklet-idő diagramot a 4.1. ábra szemléltet a jellegzetes szakaszok feltüntetésével.

A 4.1. ábrának megfelelően az alábbi technológiai adatok megadása szükséges:

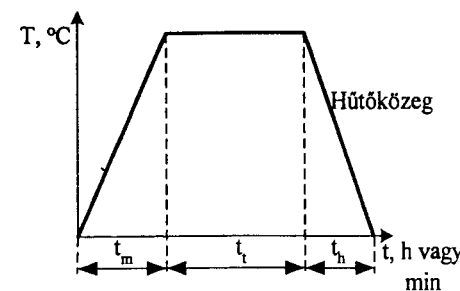
- T_m , °C: melegítési hőmérséklet,
- t_m , h, vagy min, melegítési idő: a darab teljes átmelegedéséhez szükséges idő,
- t_{mf} , h, vagy min, felmelegítési idő: a darab felületének a melegítési hőmérsékletre hevítéséhez szükséges idő,
- t_{mk} , h, vagy min, hőkiegyenlítési, vagy átmelegítési idő: a darab magjának a melegítési hőmérsékletre hevítéséhez szükséges idő, miután a felület elérte a kívánt hőmérsékletet,
- t_t , h, vagy min, hőntartási idő: a darab állandó hőmérsékleten tartásának időtartama,
- t_h , h, vagy min, hűtési idő: a darab teljes keresztmetszetben való lehűtéséhez szükséges idő.

Értelemszerűen fennáll a $t_m = t_{mf} + t_{mk}$ összefüggés.

A hőkezelési technológia tervezésekor ki kell választani a megfelelő hevítő berendezést és a T_m melegítési hőmérséklet ismeretében meg kell határozni a t_m melegítési időt, valamint a t_t hőntartási időt. Hűtésnél elsődleges a cél elérését biztosító hűtőközeg kiválasztása és csak szükség esetén kell a hűtési időt megadni.

A tulajdonságváltoztatás alapja a célnak megfelelő szövetszerkezet létrehozása, egyensúlyihoz közeli vagy éppen attól jelentősen eltérő szerkezetek kialakítása. Ebből következően a hőkezelés elméleti alapját mindenképp a metallográfia egyensúlyi és nem egyensúlyi átalakulásokra vonatkozó elmélete jelenti.

A fentiekből következően minden hőkezelő eljárás a hőmérséklet változás menetét leíró, ún. hőmérséklet-idő ($T-t$) diagrammal jellemezhető. Egy hőmérséklet-idő ciklus az elő-



4.2. ábra

A technológiai adatok megadása egyszerűsített hőmérséklet-idő diagramon

elméleti értékeket és általános jellemző adatokat feltüntető diagram.

4.1.3. A hőkezelő eljárások osztályozása

A hőkezelő eljárások számos szempont alapján osztályozhatók. Egy alapvető szempont az alkalmazott hatás. Eszerint megkülönböztethetők:

- termikus eljárások,
- termokémiai eljárások,
- termomechanikus eljárások,
- termofizikai eljárások.

A gépiparban a termikus és a termokémiai eljárások elterjedtek. A gépipari gyártmányok anyaga túlnyomórészt vasötvözet, ezen belül is acél. Az acéloknál széles körben alkalmazott termikus eljárások praktikusán az elérendő tulajdonságok szerint osztályozhatók:

- megmunkálhatóságot javító hőkezelések (izzítások)
 - * feszültségcsökkentő izzítás,
 - * újrakristályosító izzítás,
 - * szferoidizáló izzítás,
 - * teljes lágyítás,
 - * normalizálás,
 - * izotermás lágyítás,
 - * ausztenites lehűtés,
- igénybevétel szerinti tulajdonságokat biztosító hőkezelések
 - * keménység illetve szilárdságnövelő hőkezelések
 - térfogati edzés,
 - felületi edzés,
 - * szívósságfokozó hőkezelések
 - nemesítés,
 - bainites hőkezelés,
 - szabályozott hűtésű szívósságfokozó hőkezelés.

A technológiai adatok megadásához elegendő a hőmérsékletváltozást ténylegesen leíró függvény használata helyett egy egyszerűsített ábrázolás, egyenes szakaszokból felépített diagramon, amint azt a 4.2. ábra szemlélteti.

A hőkezelő eljárások ismertetésénél van jelentősége az ún. *elvi hőmérséklet-idő diagramnak*. Ez egy szintén egyszerűsített formában megrajzolt, a kérdéses hőkezelő eljárás végrehajtása szempontjából fontos

A speciális jellegzetességek miatt külön szokás tárgyalni a szerszámacélok, a különleges acélok, az öntöttvasak és a nem vas fémek hőkezelését.

A hőkezeléseket jellegzetes gyártmányok szerint is szokás osztályozni: ennek megfelelően beszélhetünk például rugók, fogaskerekek, hegesztett szerkezetek, stb. hőkezeléséről. A hőkezelési szakirodalomban mindegyik felsorolt szempont alkalmazására lehet példát találni.

Mivel a tárgy keretében a hőkezeléssel kapcsolatos alapismeretek nyújtása a cél, a továbbiakban az acéloknál széles körben alkalmazott termikus és termokémiai eljárásokat ismertetjük. Előbbieket a gépészmérnökök szempontjából legcélzerűbb elérendő tulajdonságok szerinti csoportosításban, a termokémiai eljárások osztályozására később visszatérünk.

4.1.4. Hőátvitel hőkezelésnél

A hőkezelési ciklus első lépésében a darabokat fel kell melegíteni az előírt melegítési hőmérsékletre. A melegítéshez szükséges hő forrása lehet:

- kémiai reakcióhő (gáztüzelés),
- villamos áram hőhatása
 - * közvetett ellenálláshevítés (hőtermelés a kemence munkaterének falán elhelyezett ellenállás fűtőelemekkel),
 - * közvetlen ellenálláshevítés (hevítés a darabon átfolyó árammal),
 - * indukciós hevítés,
- nagy energiájú sugárzás (lézer- vagy elektronsugár hevítés).

A leggyakrabban gáztüzelésű, vagy villamos fűtésű kemencében hevítik a darabokat, amikor a test felületén keresztül történik a hőátadás, a hő továbbítása pedig hővezetés révén valósul meg. Hasonló a helyzet a hűtésnél.

A hőkezelésnél a hőátadás során a hővezetés elhanyagolható; a hőátadás alapvetően konvekció és hőszugárzás révén megy végbe. 300°C alatt a konvekció van túlsúlyban. A hőmérséklet növekedésével a sugárzás részaránya gyorsan nő, 800°C-on kb. 80 %.

A konvekcionál a hőátadás a hőátadó közeg (gáz, folyadék) áramlása révén jön létre. Ez befolyásolható az áramlási sebességgel és gáz hőátadó közeg esetén a nyomással. Az áramlási sebesség a kemencébe beépített ventilátorokkal növelhető. Ennek különösen a kisebb hőmérsékleti tartományban használt kemencéknél – pl. megeresztő kemencéknél – van jelentősége. A nyomás növelését a korszerű vákuumkemencékben végzett gázhűtésnél használják ki. A konvekciót befolyásolja még a hőátadó közeg halmazállapotának esetleges változása is (gőzképződés víz, vagy olaj hűtésnél).

A hőszugárzással átvitt hőmennyiség független a darabot körülvevő közegtől, vákuumban is létrejön. Jelentősen befolyásolja a felület állapota, ún. feketeségi foka. Így a revés felületű darab gyorsabban melegszik, mint a fémes felületű.

A teljes hőátvitel a részfolyamatokra vonatkozó hőátadási tényezők összegeként az α hőátadási tényezővel adható meg:

$$\alpha = \alpha_v + \alpha_k + \alpha_s, \quad W/m^2 \cdot ^\circ C. \quad (4.1)$$

A hőáram-sűrűség, a felületegységen, időegységben átvitt hőmennyiség, a *Newton*-féle hőátadási képlettel számítható:

$$j = \alpha(T_k - T), \quad W/m^2, \quad (4.2)$$

ahol T_k , °C a környezeti hőmérséklet,
 T , °C a felület pillanatnyi hőmérséklete.

Az α pontos értéke, hőmérsékletfüggése csak kísérletileg határozható meg. Emiatt gyakran az α felvett, közepes értékeit veszik alapul a kérdéses hőmérséklettartományban.

A melegítési idő meghatározásánál alkalmazott módszer a feladat jellegétől függ. Sorozatgyártásnál, egy értékes darab hőkezelésnél gondosabban kell eljárni, mint egy egyszerű egyedi darabnál.

A darabban kialakuló hőmérsékletmező és így a melegítési idő számítható a kezdeti és peremfeltétek ismeretében a hővezetés differenciálegyenletéből. Egy dimenziós hővezetésnél, pl. lemez esetén a Fourier egyenlet az alábbi alakot ölti:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + w(x, t), \quad (4.3)$$

ahol: c , J/kg · °C fajhő,
 ρ , kg/m³ sűrűség,
 λ , W/m · °C hővezető képesség.

Az egyenlet jobb oldalán a w az ún. forrássűrűség, a belső hőforrás, vagy elnyelő által időegységben és térfogategységben felszabadult, illetve elnyelt energia. Átalakuló acéloknál ez az átalakulási hő figyelembevételét jelenti.

A kezdeti feltétel rendszerint:

$$t = 0, \quad T = T_0 \quad (4.4)$$

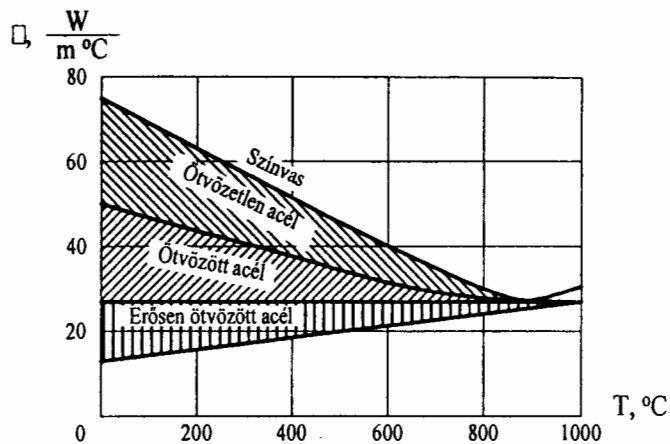
egyenletes hőmérsékletet jelent. Ha adott a környezeti hőmérséklet és a hőátadási viszonyok – utóbbi mint hőátadási tényező – a peremfeltétel:

$$\left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=s} = \alpha(T_k - T) \quad (4.5)$$

ahol: S , m a lemez félvastagsága.

A hővezető képesség jelentős mértékben függ az ötvözet kémiai összetételétől és a hőmérséklettől, amint ezt a 4.3. ábra szemlélteti. Kiseb hőmérséklettartományban az erősen ötvözött acélok igen rossz hővezetők, amit a melegítési technológia tervezésénél feltétlenül figyelembe kell venni. 900°C körül a különböző ötvözetek hővezető képessége már nagyjából egyforma.

A *Fourier egyenlet* analitikus megoldása csak egyszerűsítő feltételek mellett lehetséges, ha a hővezető képességet függetlennek tekintjük a hőmérséklettől és elhanyagoljuk az átalakulási hőt.



4.3. ábra

A hővezető képesség változása a hőmérséklet függvényében különféle acélötvözeteknél

A gyakorlat igényeit sokszor kielégítő, közelítő megoldások egyszerű geometriájú testekre (lemez, gömb, henger) táblázatok, vagy diagramok formájában a szakirodalomban rendelkezésre állnak. Egyszerűbben kezelhető számítógépes változatok is hozzáférhetők.

Ha rendelkezésre állnak az egyenletben szereplő fizikai mennyiségek a hőmérséklet függvényében, pontosabb megoldást tesz lehetővé a végesselemes módszer. Az e célra alkalmazható számítógépi szoftverek napjainkban már széles körben hozzáférhetők.

A melegítési idő egyszerűbb meghatározását teszi lehetővé az empirikus adatok alkalmazására épülő eljárás. Ilyen adatokat tartalmaz hengeres darabokra a 4.1. táblázat. A hengeres alaktól eltérő geometria a 4.2. táblázatban megadott k_f formátényezővel vehető figyelembe.

4.1. táblázat

Hevítő berendezés	Melegítési hőmérséklet, °C	Melegítési idő, t_f , a munkadarab átmérőjének 1 mm-ére számítva, s	
		szénacél	ötvözött acél
Lángkemence	800-900	60-70	65-80
Elektromos kemence	770-820	60-65	70-75
	820-880	50-55	60-65
Sófürdő	770-820	12-14	18-20
	820-880	10-12	16-18

Fajlagos melegítési idők (t_f) hengeres darabra

4.2. táblázat

A munkadarab alakja	Jellemző méret, L	Formátényező, k_f
golyó	golyóátmérő	0,70
kocka	élhosszúság	0,70
henger	átmérő	1,0
hasáb	élhosszúság	1,0
gyűrű	gyűrűszélesség gyűrűvastagság	1,5 1,5
lemez	vastagság	2
cső	falvastagság	2,0 rövid nyitott csőnél
		4,0 hosszú csőnél
		4,0 zárt csőnél

Különböző alakú munkadarabok formátényezői (k_f)

Egy további, a 4.3. táblázatban feltüntetett k_e helyesbítő tényezővel a darabok kemencében való elhelyezése vehető figyelembe.

4.3. táblázat

Elrendezés a kemencében	Helyesbítő tényező, k_e	Elrendezés a kemencében	Helyesbítő tényező, k_e
	1.0		1.0
	1.0		1.4
	2.0		4.0
	1.4		2.2
	1.3		2.0
	1.7		1.8

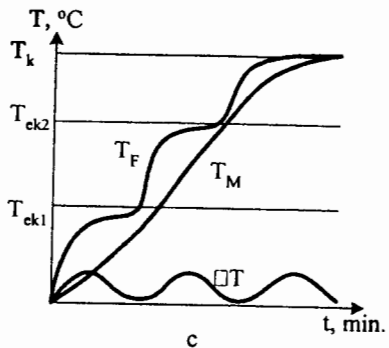
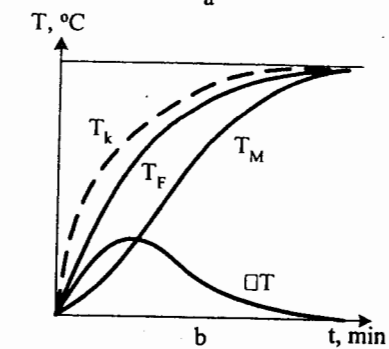
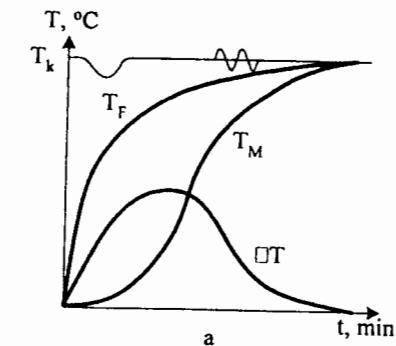
A kemencében való elhelyezést figyelembe vevő k_e helyesbítő tényező

A melegítési idő legpontosabban a tényleges melegítési körülmények között végrehajtott méréssel határozható meg. Ilyenkor a darab felülete alatt és magrészében készített furatokba helyezett termoelemek segítségével regisztrálják a hőmérsékletváltozást.

A darab felmelegedése a látható hőszugárzás tartományában szemrevételezéssel becsülhető. Ha a darabon sötétebb foltok nincsenek és színe a kemence falzatának színével körülbelül azonos, a darab felmelegedett.

A melegítési idő gazdasági, de egyéb szempontok miatt is a lehető legrövidebb legyen. A melegítési idő csökkentését a darab egyenlőtlen melegedése korlátozza, mivel az egyenlőtlen hőtágulásra és ebből következően feszültségek keletkezésére vezet. Ez a darab megrepedését, tönkremenetelét is okozhatja. A darab méretének és ötvözttségének (lásd 4.3. ábra) növekedésével nő a repedési veszély. Ilyenkor hosszabb melegítést, illetve egy vagy több lépésben végrehajtott előmelegítést alkalmazunk. Ez utóbbi a gazdaságosabb és előmelegítő kemencék, vagy folyamatos működésű kemencénél előmelegítő zónák alkalmazásával valósítható meg. Ezeket a melegítési változatokat, illetve a darabban kialakuló hőmérséklet-különbséget a 4.4. ábra szemlélteti.

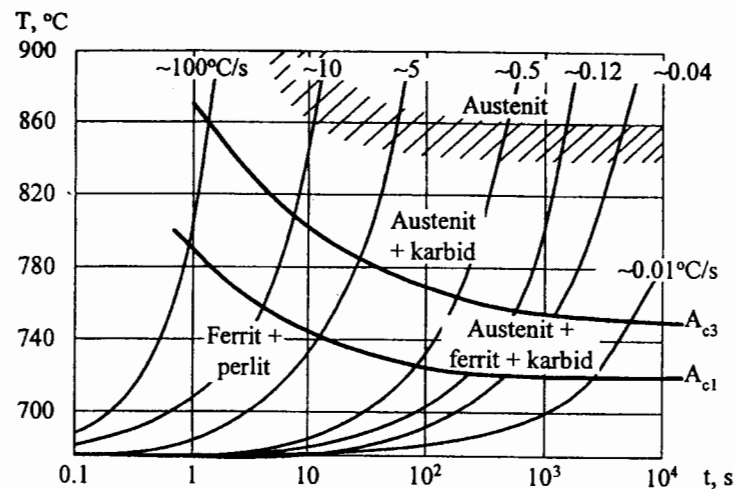
A T_m melegítési hőmérsékletet – ami hőkezelő eljárás és a kezelt acélminőség függvénye – az $Fe-Fe_3C$ állapotábrából, szabványok függelékéből, gyári katalógusokból vesszük. Nagy hevítési sebességgel végrehajtott eljárásoknál (indukciós edzés, lángedzés stb.) nélkülözhetetlen az ausztenitesítési diagramok használata, amelyre példa a 4.5. ábrán látható.



4.4. ábra

Hevítési módszerek

- a) behelyezés T_k hőmérsékletű kemencébe
 b) kemencével együtt való melegítés
 c) két lépésös előmelegítés alkalmazása



4.5. ábra

0,7 % karbon-tartalmú acél folyamatos hevítésre vonatkozó ausztenitesítési diagramja

4.4. táblázat

Hűtési mód	α , $W/m^2, ^\circ C$
Kemence	15
Nyugvó levegő	30
Áramló levegő	40
Sűrített levegő	70
Levegő-víz keverék	520
Edzőolaj	580
Víz	3500

Az α hőátadási tényező tájékoztató értékei különböző hűtési módokra

A hőntartást attól kezdve számítjuk, amikor a darab magrésze is elérte a kívánt hőmérsékletet. Ennek során mennek végbe, illetve fejeződnek be a hőkezelés jellegének megfelelő fémtani folyamatok. A hőntartás idejét tapasztalati adatok, kísérleti eredmények, vagy számításokon (pl. termokémiai kezeléseknél) nyugvó összefüggések alapján határozhatjuk meg. Konkrét értékeket az egyes eljárások ismereténél adunk meg.

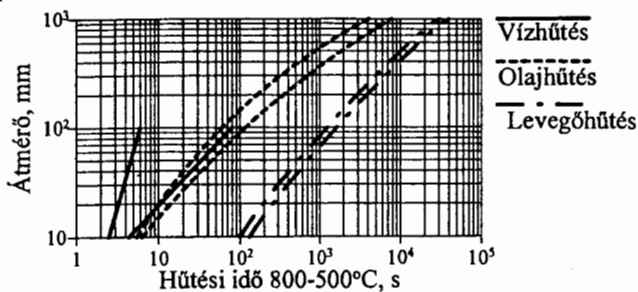
A hűtés tervezésénél szintén az alkalmazandó hőkezelési eljárásból és anyagminőségből kell kiindulni. A szükséges hűtési sebességet leggyakrabban a folyamatos hűtésű C-görbéből határozzuk meg. A gyakorlati kivitelezéshez az alábbi hűtési módok állnak rendelkezésre: folyadékba (víz, edzőolaj, vizes polimer oldat) való bemártás, folyadéksugár, áramló, vagy nyugvó gáz, kemence.

A 4.4. táblázat az α hőátadási tényező tájékoztató értékeit tünteti fel különféle hűtési módokra.

Az adott körülmények között szükséges hűtési sebességet biztosító hűtési mód, vagy a szokásos hűtési móddal elérhető hűtési sebesség kiválasztásánál, illetve meghatározásánál a melegítési idő meghatározásánál ismertetett eljárások alkal-

mazhatók. A számítás a sok befolyásoló tényező, illetve ezek korrekt számbavehetősége miatt rendszerint problematikus. A melegítésnél megadott módon végrehajtott mérés adja itt is a legpontosabb eredményt.

Az empirikus adatokon nyugvó segédletek jól használhatók gyors tájékozódásra, mint pl. a 4.6. ábrán szereplő, hengeres darabokra vonatkozó diagram.



4.6. ábra

800°C-ról 500°C-ra való hűlés ideje hengeres darabok felületére és magjára vízben, edzőolajban és levegőn

4.1.5. Anyagátvitel hőkezelésnél

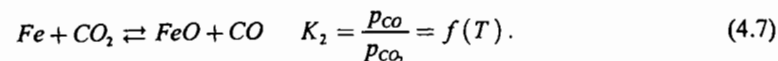
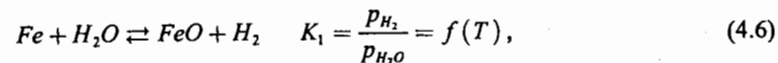
A hőkezelés során anyagátviteli folyamatok is végbemennek a darab felülete és környezete között, amely lehet nem szándékos, mint például oxidálás, dekarbonizálódás levegőn, füstgázban és lehet szándékos (pl. termokémiai kezelésnél, cementálásnál, nitridálásnál, stb.) Acélnál néhány fontosabb elemre az anyagátvitel iránya szerint a 4.5. táblázat tünteti fel a kapcsolódó eljárásokat:

4.5. táblázat

Elem	Anyagátvitel iránya	Eljárás megnevezése
Karbon	→	Cementálás
	←	Dekarbonizálás
	Nincs	Dekarbonizálás mentes izzítás
Nitrogén	→	Nitridálás
	←	Denitridálás
	Nincs	-
Oxigén	→	Szabályozott oxidáció
	←	Redukálás
	Nincs	Fényes izzítás

Az eljárás megnevezése néhány elemre az anyagátvitel iránya szerint acéloknál

A vas oxidálódását a levegőben, vagy a füstgázban lévő O_2 , H_2O és CO_2 okozhatja. Hatástalan ilyen szempontból a H_2 és N_2 . Az O_2 a vasat folyamatosan oxidálja. Ezzel szemben a H_2O és CO_2 esetében egyensúlyba jutó reakció zajlik. A reakciók és egyensúlyi állandók:



A képletekben szereplő p_i az egyes gázkomponensek parciális nyomása. A p_i a gáz összetételből számítható az alábbiak szerint:

$$p_i = r_i p, \quad (4.8)$$

$$r_i = \frac{V_i}{V},$$

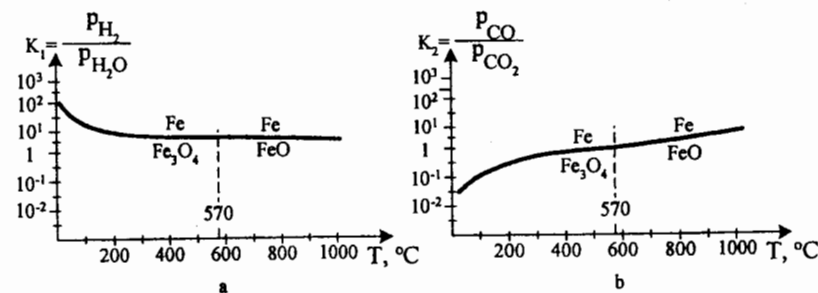
$$\sum r_i = 1,$$

$$\sum p_i = p,$$

$$\sum V_i = V.$$

ahol p_i , bar valamely gázkomponens parciális nyomása,
 p , bar a gázkeverék eredő nyomása,
 r_i térfogatviszony,
 V_i , m^3 valamely gázkomponens parciális térfogata,
 V , m^3 a gázkeverék teljes térfogata.

A 4.7. ábra a K_1 és K_2 egyensúlyi állandókat mutatja a hőmérséklet függvényében.



4.7. ábra

A K_1 (a) és K_2 (b) egyensúlyi állandók változása a hőmérséklettel

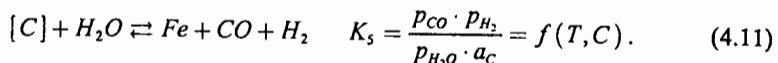
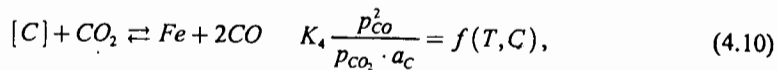
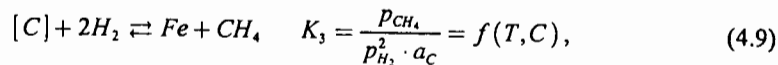
Figyelemre méltó a H_2 - H_2O és CO - CO_2 atmoszférák eltérő viselkedése hűtésnél. Ha valamely hőmérsékleten egyensúlyi atmoszférában le is hűtjük a darabot első esetben ennek során oxidálódni fog a másik esetben nem.

Nagyobb hőmérsékleten FeO (wüstit) képződik a felületen. Ez hűtéskor $570^\circ C$ -on Fe_3O_4 -é (magnetit) alakul át, ami fajtérfogat növekedéssel jár. Emiatt a reve a felületen elcsúszik, könnyen leválik.

Az oxidálódás (revésedés) következményei:

- fémvesztés,
- nagyobb szerszámkopás,
- az eltávolítás költségöbbltet okoz,
- eltávolítás után is rosszabb a felületminőség, mint az eredeti,
- méretpontos (pl. hidegalakított) termékeknel a darab selejtté válik.

Az acélt dekarbonizáló gázkomponensek a H_2 , CO_2 és H_2O . A dekarbonizáló-karbonizáló reakció egyenletek és egyensúlyi állandók:



A képletekben szereplő a_C az ún. karbon aktivitási tényező, ami az acél karbontartalmából határozható meg. Az egyensúlyi gázösszetétel tehát ilyenkor az acél karbontartalmától is függ.

Az $Fe-Fe_3C$ állapotábrával összefüggésben a felületi rétegben kialakuló karbon eloszlást és szerkezetet $T_1 \geq 911^\circ C$ és $911^\circ C > T_2 > 723^\circ C$ hőmérsékletekre a 4.8. ábra mutatja.

A Gibbs-féle fázisszabályt adott esetre alkalmazva $Sz = 2(T, konc.)$, $K = 2(Fe, C)$ a fázisok száma:

$$F = K + 1 - Sz = 2 + 1 - 2 = 1. \quad (4.12)$$

Tehát csak egyfázisú rétegek keletkezhetnek a dekarbonizálódási folyamat során. A felülethez közeledve egyre csökkenő karbontartalmú ausztenit alakul át lehüléskor.

A dekarbonizálódás következményei: csökkent keménységű réteg a felületen, csökkent kifáradási határ és ha a dekarbonizált réteget el kell távolítani, a megnövelt ráhagyás lemunkálása járulékos költség.

Különösen a befejező hőkezeléseknél tehát a revésedés és dekarbonizálódás nem kívánatos jelenségek. Elhárításuk a kemence munkaterében létrehozott mesterséges atmoszférával, védőgázzal lehetséges: N_2 , N_2^+ szénhidrogén, N_2^+ metanol, N_2+H_2 , vákuum, stb. alkalmazásával.

A felületi réteg szándékos ötvözését valósítjuk meg a termokémiai kezeléseknél. Ilyenkor a kezelendő darabot ún. reakcióközegbe helyezük, majd reakcióhőmérsékletre hevítjük. A reakcióközeg és a fém reakciórendszer alkot. Szokásos az eljárásokat a reakcióközeg halmazállapota szerint – szilárd, folyékony, vagy gáz – megkülönböztetni. Fontos megjegyezni, hogy a halmazállapottól függetlenül az anyagátvitel mindig gázfázis útján történik.

A termokémiai eljárások az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- nem fémes elemeket ötvöző eljárások:

- * karbon (cementálás)
- * nitrogén (nitridálás)
- * bór (boridálás)

- fémes elemeket ötvöző eljárások:

- * króm (kromálás)
- * alumínium (alítálás)
- * stb.

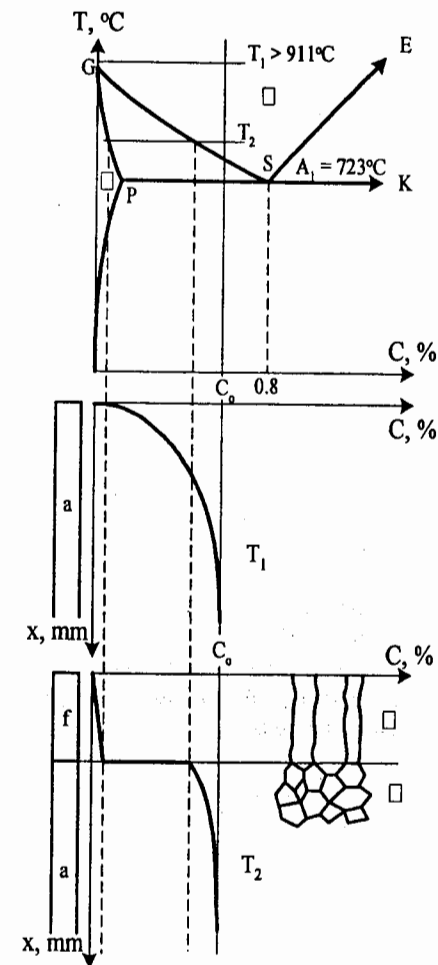
- fémes és nemfémes elemeket ötvöző eljárások:

- * króm+karbon (króm-karbid eljárás)
- * stb.

A nem fémes és fémes elemekből is lehetséges egy többkomponensű eljárás keretében többet is ötvözni, például karbon mellett nitrogént is (nitrocementálás).

A termokémiai kezeléseknél a teljes anyagátvitel öt részfolyamatban valósul meg:

- az ötvözőelemet szállító gázkomponens képződése a reakcióközegben,
- diffúzió a reakcióközegben (szállítókomponens a felülethez, reakciótermékek a felülettől),
- gáz- fém határfelületi reakciók,



4.8. ábra

A felületi réteg karbon koncentrációja és fázis-szerkezete acél dekarbonizálódásakor

- az ötvözőelem diffúziója a fémbe,
- reakciók a fémbe (szilárd oldat vagy fémes vegyület keletkezése).

A termokémiai kezeléseknél a folyamatot rendszerint a diffúzió irányítja. A Fick egyenletből következően a rétegvastagság növekedését ilyenkor az alábbi összefüggés, az ún. parabolikus időtvény adja meg:

$$x = k\sqrt{t}, \text{ mm} \quad (4.13)$$

A képletben szereplő k tényező foglalja magába a hőmérséklet hatását és hogy milyen elem milyen ötvözetben diffundál, az időt órában számítjuk.

A későbbiekben a gépiparban leggyakrabban alkalmazott két termokémiai eljárást, a nitridálást és a betétedzést ismertetjük.

4.1.6. Sajátfeszültségek, méret és alakváltozások hőkezelésnél

Sajátfeszültségek alatt egy testben külső erők és nyomatókrok hatása nélkül jelenlévő feszültségeket értjük. Értelmszerűen eloszlásuk olyan, hogy az eredő erők és nyomatókrok zérussal egyenlők. A sajátfeszültségek keletkezése a különféle megmunkáló eljárások elkerülhetetlen velejárója és latens jelenlétük számos következménnyel jár. A hőkezelési folyamat közben keletkező és folyamatosan változó feszültséget belső feszültségnek szokás nevezni, a művelet befejezésekor a darabban kialakuló feszültséget pedig maradó feszültségnek.

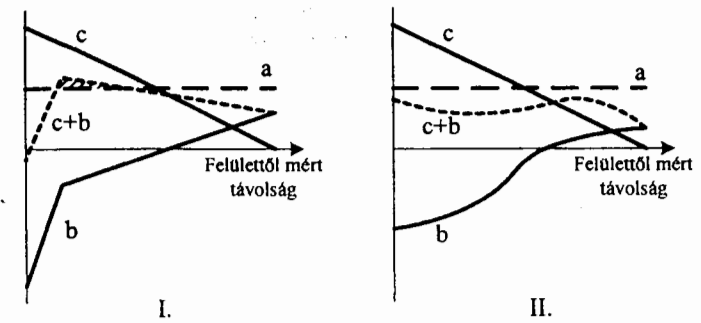
A belső feszültség is elérhet olyan szintet, hogy a darab megreped, tönkremegy. Ilyen szempontból fokozott kockázatot jelentenek a gyors hűtést alkalmazó hőkezelési műveletek (edzés).

A maradó feszültségek jelenléte az alábbi következményekkel jár:

- a terhelhetőség változása; a maradó feszültség mint előterhelés szerepel, amire szuperponálódik az igénybevételből származó feszültség; ezt szemléltetik a 4.9. ábra elvi vázlatai fárasztó igénybevételre, különböző eloszlású maradó feszültségek esetében.
- méret- és alakváltozások a technológiai művelet során,
- méret- és alakváltozások a további anyagleválasztással járó megmunkálások során,
- a korróziós viselkedés megváltozása (feszültségkorrózió),
- fizikai tulajdonságok megváltozása (mágneses tulajdonságok, villamos vezetőképesség, stb.)

A sajátfeszültségek fajtáit a nagyság és irány szerint homogénnek tekinthető tartomány mérete alapján különböztethetjük meg. Ha a tartomány: sok szemcsére terjed ki, makroszkópos, egy szemcsén belüli, mikroszkópos, néhány atomköz méretű, atomos dimenziójú sajátfeszültségnek nevezzük.

Hőkezelésnél makroszkópos és atomos dimenziójú sajátfeszültségeket különböztetünk meg. Makroszkópos dimenziójú a termikus feszültség és a strukturális feszültség. Atomos dimenziójú sajátfeszültséggel terhelt például a túltelített szilárd oldat martenzitképződésnél.

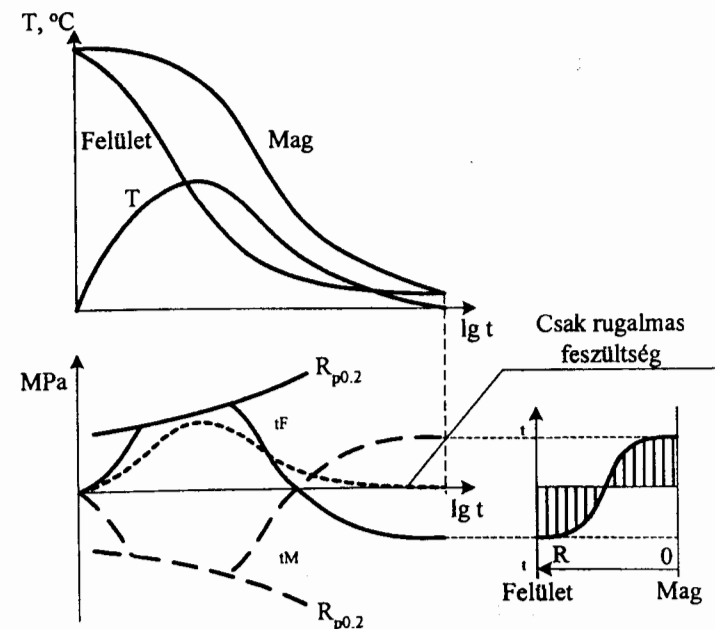


4.9. ábra

A maradó és a terhelésből származó feszültségek szuperponálásának elvi vázlata a) kifáradási határ, b) maradó feszültség, c) terhelő feszültség, c+b) eredő feszültség,

- I – az eredő egy tartományban meghaladja a kifáradási határt
II – az eredő a kifáradási határ alatt marad.

A termikus feszültségek a darab egyenlőtlen melegezése és hűlése következtében fellépő egyenlőtlen hőtágulása miatt ébrednek. A 4.10. ábra szematikusan mutatja egy hengeres darab hűtésénél a belső és a maradó feszültség alakulását, abban az esetben, ha nincs átalakulás a hűtés során.



4.10. ábra

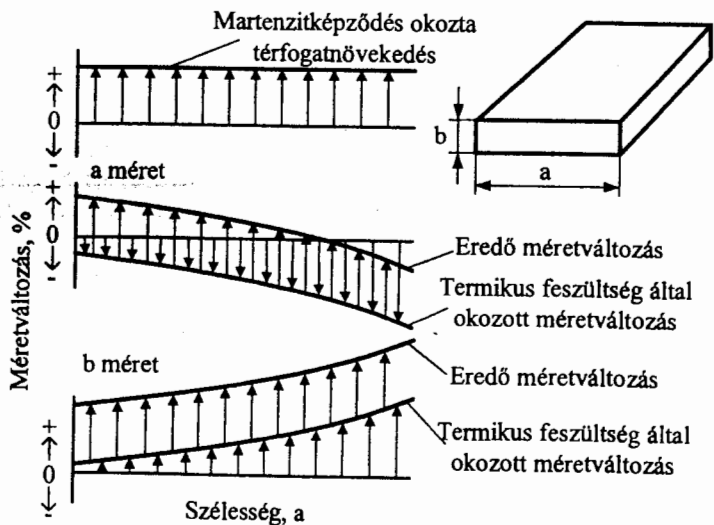
A belső és a maradó feszültség alakulása egy hengeres darab hűtésénél

Ha a belső feszültség a rugalmas tartományban marad, maradó feszültség nem keletkezik. A strukturális feszültség az átalakulásoknál létrejövő fajtérfogatváltozás következtében alakul ki. Ötvözetlen acéloknál a fajlagos térfogatváltozás $[(\Delta V/V) \times 100, \%]$ a karbon tartalom függvényében az alábbi képletekből számítható:

$$\begin{aligned} \text{perlit} &\rightarrow \text{ausztenit: } 4,64 + 2,21C, \% \\ \text{ausztenit} &\rightarrow \text{martenzit: } 4,64 - 0,53C, \% \\ \text{ausztenit} &\rightarrow \text{alsó bainit: } 4,64 - 1,43C, \% \\ \text{ausztenit} &\rightarrow \text{felső bainit: } 4,64 - 2,21C, \% \end{aligned} \quad (4.14)$$

Strukturális feszültség keletkezhet amiatt, hogy a szövetszerkezet a keresztmetszet mentén az eltérő hűlés miatt nem lesz azonos, de azonos szövetelem mellett is az eltérő időpontban való átalakulás következtében. Az eredő feszültségi állapot a termikus és strukturális feszültség szuperponálódása révén jön létre.

A termikus feszültség okozta méret, illetve alakváltozás és az átalakulás miatti fajtérfogatváltozás okozta méretváltozás szuperponálódására egy lap teljes edzésekor a 4.11. ábra mutat példát.



4.11. ábra

A méretváltozás sématiskus vázlatja egy lap teljes edzésekor

Az edzett darab megeresztésekor további méretváltozások mennek végbe. Az e karbid kiválás és a martenzit bomlása térfogatcsökkenéssel, a maradék ausztenit átalakulása bainitté térfogatnövekedéssel jár.

A hőkezelés során bekövetkező méret, illetve alakváltozások egyedi daraboknál biztonságos ráhagyással, sorozatgyártásban kísérleti sorozaton elvégzett mérés alapján, illetve technológiai méretek és tűrések előírásával kezelhető.

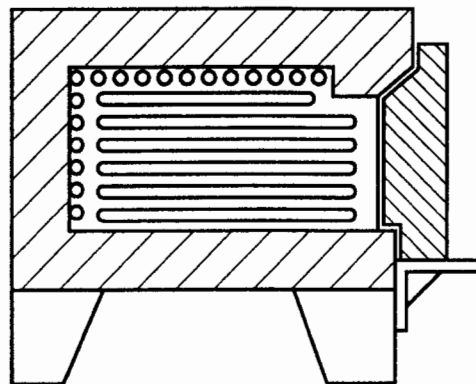
4.1.7. Hőkezelő berendezések

A fejlett ipari országokban a hőkezelő üzemek két típusa honosodott meg. Mivel az egyedi darabokat, kis és közepes sorozatokat gyártó gépipari üzemek a drága korszerű hőkezelő berendezéseket nem tudják gazdaságosan kihasználni, ezen üzemek hőkezelési igényeinek kielégítésére ún. *bérhőkezelők* jöttek létre. Feladataiknak megfelelően rugalmasak használható berendezésekkel rendelkeznek. A nagysorozatú gyártás folyamatos működésű, specializált berendezéseket igényel, amelyeket a gyártó üzemben belül célszerű telepíteni.

A következőkben a gépipari üzemekben általánosan felmerülő hőkezelési igények kielégítésére alkalmas néhány fontosabb berendezéstípust ismertetünk.

A kamráskemencék a legáltalánosabban használható kemencék. Működésük szakaszos. Fűtésük lehet gáz, vagy villamos. A 4.12. ábra egy villamos fűtésű kamrás kemence vázlatát mutatja. A darabok be- és kirakását a homlokklapon levő ajtónyíláson végzik. Az ajtó kisebb kemencéknél kézi, nagyobbaknál hidraulikus, pneumatikus, vagy elektromechanikus mozgatású. Kis kemencéknél kézzel mozgatják az anyagot, a nagyobbakhoz speciális darut, vagy kocsiként kihúzható fénékrészt készítenek. A kisebb kemencéket állványra helyezik, a nagyobbak közvetlenül padlón állnak. Az ellenállás fűtőelemeket az oldalfalakon, a mennyezeten és a kemencefenéken helyezik el.

Az ilyen kemencék hővesztesége nagy, hosszú idő kell a felmelegítésükhöz, nehéz a kemencetérben egyenletes hőmérsékletet elérni. Fő előnyük a széles körű használhatóságukban van.



4.12. ábra

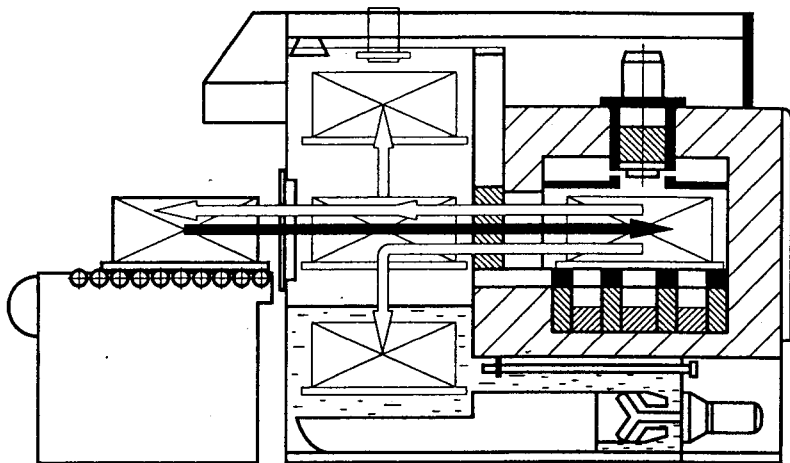
Kamráskemence vázlat

A kamrás kemence korszerűsített változata az ún. többcélú kamrás kemence, amely a kis és közepes sorozatok cél-szerű hőkezelő berendezése.

Egy ún. előkamrás kemence vázlatát és az anyagmozgás folyamatábráját a 4.13. ábrán látható. A rostélyra rakott munkadarabok az adagológépről a zsilipfunkciót ellátó előkamrába kerülnek. Egy rostélyon 100-500 kg anyag helyezhető el. Az ajtón elhelyezett lánghűgőny gondoskodik ajtónyitáskor a kiáramló védőgáz meggyújtásáról, egyidejűleg megakadályozva az oxigén behatolását. A zsilipből a belső anyagmozgatógép viszi a megrakott rostélyt a kemencetérbe. A hőkezelő teret SiC tok határolja, ami egyenletesebb hőmérsékleteloszlást és szabályozott gázáramlást tesz lehetővé. A fedélben van elhelyezve a keringető ventilátor. Gázfűtésnél a kemencetert sugárcsővel melegítik. A külön előállítható kemenceatmoszféra az igények szerint (semleges, cemenetáló stb.) szabályozható.

A hőntartás befejeztével az adag visszakerül az előkamrába, ahol a hűtőkádban közvetlenül elvégzendő az edzés, vagy védőgáz alatt hűthető a felső helyzetben. A

hűtőkád olajjal vagy megeresztőszóval tölthető fel. A fürdőt keringtető berendezés tartja állandó mozgásban, a melegítést rúd-fűtőtestek, a hűtést hűtőberendezés végzi. A felső részt vízfolyásos hűtőzónák hűtik.



4.13. ábra

Többcélú kamráskemence vázlata,
és az anyagmozgatás folyamatábrája

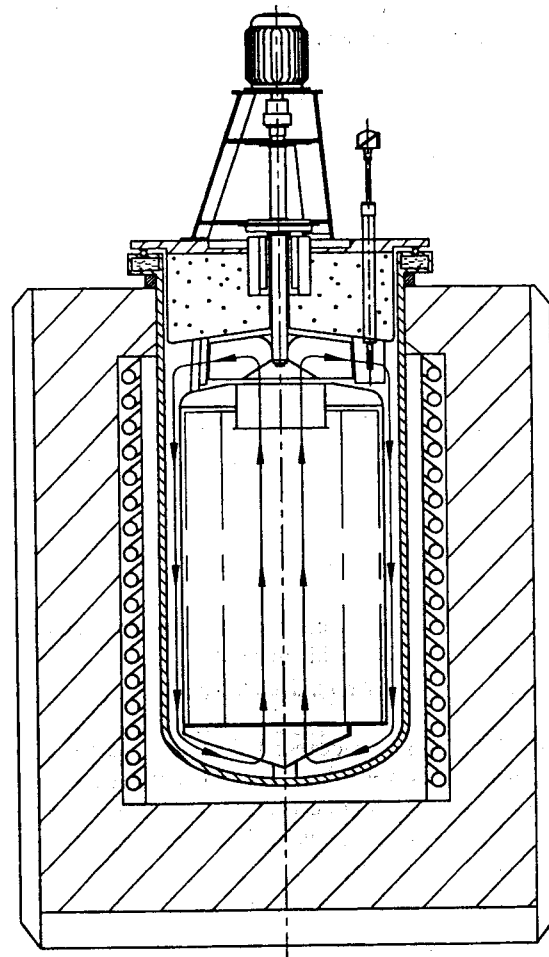
A többcélú kamrás kemencét kiegészítő berendezésekkel együtt telepítik, az igények szerinti elrendezésben. A kiszolgálást közös, síneken mozgatható adagológéppel végzik.

A szakaszos működésű kemencék másik típusát az aknáskemencék alkotják. Nem használhatók ugyanolyan általánosan, mint a kamráskemencék, de gyakran lényeges előnyeik vannak. Mivel a fedéllel elzárható adagolónyílásuk felül van, a darabok be- és kirakása daruval egyszerűen megoldható. Tengelyek, rudak, csövek felfüggesztve deformáció veszélye nélkül melegíthetők.

Az aknáskemencék is különféle fűtési rendszerrel készülhetnek. Villamos fűtés esetén a fűtőellenállásokat a kemencetér oldalfalaira szerelik. Mélységük sokszor nagy (10 m is lehet), az egyenletes melegítés érdekében több fűtőzónával.

A talajba süllyeszthetők, így helyszükségletük kicsi. A fedél tömítése könnyebben megoldható. Ennek és tömör építési módjának köszönhetően a hővesztesége kisebb. Míg a kamrás kemencéknél a hőveszteség a névleges teljesítmény 20-40 %-a, itt 15-25 %-a.

Leggyakrabban az aknás-retortás típust használják, amelynek vázlata a 4.14. ábrán látható. A retorta a hőkezelendő anyag befogadására alkalmas, hőálló acélból készült, fedéllel hermetikusan lezárható tartály. Alkalmazásával lehetőség nyílik a különféle védőgázos hőkezelések végrehajtására. Gyakran végeznek cementálást az ilyen típusú kemencékben. A retortában elhelyezett terelőhengerrel és a beépített ventilátorral az atmoszféra a munkadarabok körül jól keringtethető.



4.14. ábra

Aknás-retortás kemence vázlata

A fedél hidraulikus szerkezettel emelhető le, majd kifordítható. A készülékre helyezett darabok daruval emelhetők ki a retortából.

A berendezéshez rendszerint tartozik egy kétaknás, ún. hűtőgödör is. Szükség esetén a kemencéből a retorta fedéllel együtt lezárva áttehető az egyik aknába, ahol lehűl. A hűtőaknába helyezett meleg retortát levegőárammal hűtik. A retorta hűlés közben is ellátható védőgázzal. A másik akna a kemencébe helyezendő retorta előkészítésére szolgál.

A deformációk csökkentése és a jobb kemence-kihasználás érdekében a munkadarabokat hőálló acélból készült készülékre helyezve teszik a kemencébe. Hosz-

szű alkatrészek az ún. tartókeresztre függesztve kerülhetnek a kemencébe. A tartókereszt, vagy a terelőhengerre, vagy a retorta megfelelően kiképzett részére fekszik fel.

Más típusú készülékek a retorta fenékrészén kiképzett tartóra állíthatók. Az alapkészülékre távtartó hüvelyek felhasználásával a kívánt távolságra helyezhetők fel az ún. szegmensrostélyok elhelyezésére szolgáló tartók. Ezekre a rostélyokra rakják fel aztán a munkadarabokat, szükség szerint további készüléket alkalmazva. A gázatmosfera szabad áramlását biztosító gondos elhelyezés alapvetően fontos mind az egyenletes melegedés, mind ötvöző hőkezelésnél az egyenletes rétegvastagság elérése érdekében. A kisebb méretű, nagy darabszámban gyártott alkatrészeket kosaras készülékbe rakva helyezik a kemencébe.

Az ún. vákuumkemencéket először különleges hőkezelési igények kielégítésére kezdték alkalmazni, mára azonban használatuk széles körben elterjedt. Nélkülözhetetlenek a korszerű szerszámgyártásban, de a legkorszerűbb típusok már az alkatrész hőkezelésben is eredményesen használhatók. Elterjedésük oka, hogy jól kielégítik a hőkezelő berendezések fejlesztésének alábbi fő követelményeit:

- szigorodó környezetvédelmi előírások, légszennyezés, szilárd és folyékony hulladék anyagok kibocsátásának csökkentése (mérgező komponenseket tartalmazó védőgázok, sófürdők, edzőolajok kiiktatása, energiafelhasználás csökkentése),
- szigorodó minőségi követelmények (jó reprodukálhatóság, jó felületminőség, vetemedés csökkentése, bizonylatolás),
- költségcsökkentés (kevesebb műveleti lépés, stb.)

Vízszintes és függőleges elrendezésű hidegfalú vákuumkemencék használatosak. Az ilyen kemencéknek kettősfalú, vízzel hűtött köpenye van. A hőszigetelt kamrát a villamos fűtéssel ezen belül helyezik el. A berendezések 10^{-3} - 10^{-6} mbar tartományban dolgozó vákuum szivattyúval vannak felszerelve. Szokásosan a hőmérséklettartomány 1350°C -ig terjed. Vákuumban a hőátvitel csak sugárzással lehetséges. Mivel, mint már említettük, alacsonyabb hőmérsékleten a sugárzással átvihető hőmennyiség kicsi, a 800 - 900°C alatti hőmérséklettartományban konvekcióval segített hevítést alkalmaznak, nagy tisztaságú N_2 bevezetésével. Így csökken a melegítési idő, egyenletesebb a melegedés, kisebbek az elhúzóadások.

A korszerű vákuumkemencékben a darabok környezetkímélő gyors és egyenletes lehűtését nagyteljesítményű gázkeringtetők és hőcserélők biztosítják. Az elérhető hűtési sebesség a gáz fajtájából, nyomásából és a keringési sebességtől függ. A hűtési intenzitás a következő sorrendben nő: Ar , N_2 , He , H_2 . Az N_2 a leggazdaságosabb, a H_2 a legjobb hűtőközeg, de robbanásveszélyes. Fontos tényező még az egyes gázok sűrűsége, amit a 4.6. táblázatban tüntetünk fel.

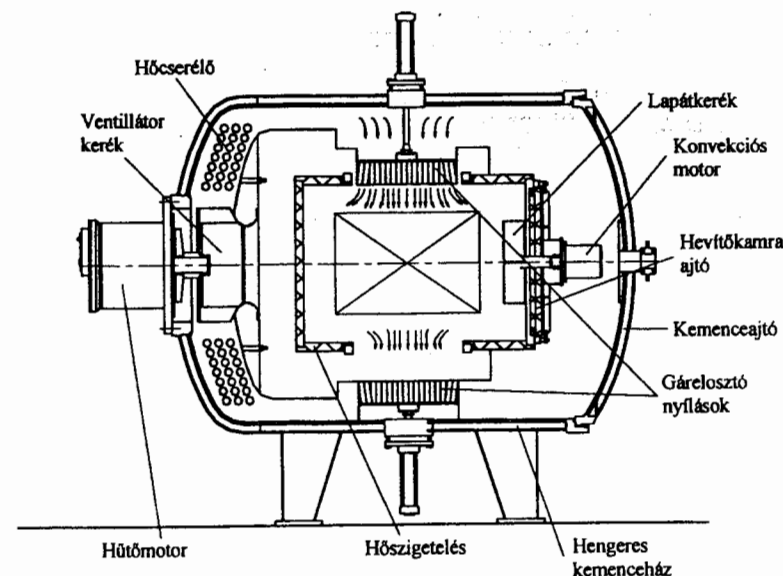
4.6. táblázat

Gáz	Ar	N_2	He	H_2
Sűrűség, kg/m^3	6,008	4,207	0,601	0,303

Hűtőkor használt különféle gázok sűrűsége

A nagyobb sűrűség miatt az Ar és N_2 alkalmazásakor, a nagy áramlási ellenállás miatt, a ventilátor szükséges motorteljesítménye a nyomással – ami a hűtési intenzitás növelésének fontos tényezője – aránytalanul növekszik. A gazdasági megfontolás miatt alkalmazott N_2 gázhűtésnél a nyomás 10 bar-nál nem lehet nagyobb. Megfelelő biztonságtechnikával a H_2 is alkalmazható, ilyenkor a nyomás 20 bar-ig növelhető. Ezzel jelentősen kibővül a hőkezelhető acélok köre, nemesíthető és betétedzésű acélok is edzhetők, pl. az autógyártásban szokásos mérettartományban.

A 4.15. ábra egy korszerű vízszintes elrendezésű vákuumkemence metszetét mutatja. A hűtőgáz N_2 , a túlnyomás 10 bar.

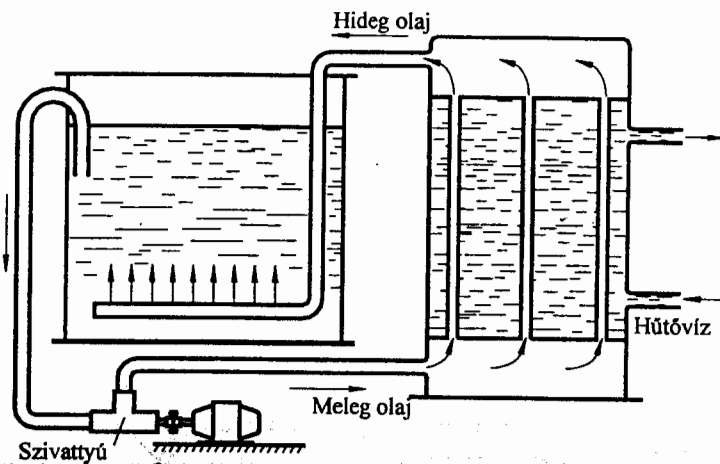


4.15. ábra
Korszerű vákuumkemence metszete

A 4.16. ábra folyamatosan használható, nagyobb kapacitású olajhűtő berendezést mutat.

Az olaj felmelegedésének megakadályozása érdekében az olajat szivattyú segítségével folyamatosan cirkuláltatják a berendezéshez tartozó hűtőn keresztül.

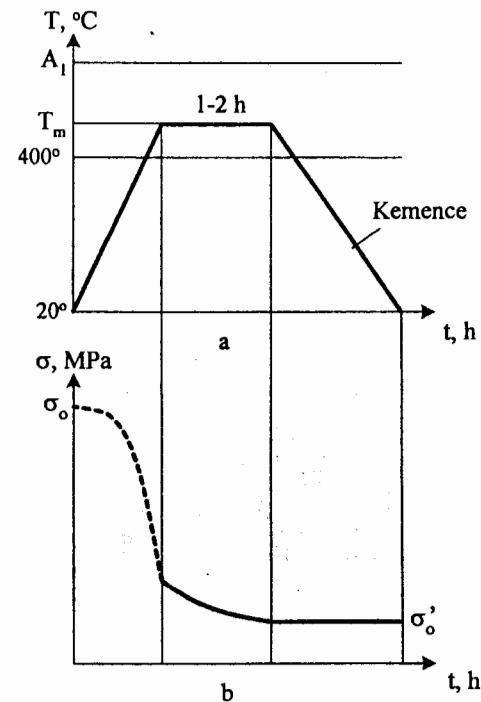
A hőkezelő üzem berendezéséhez tartoznak még a mosó-, anyagmozgató, egyengető és ellenőrző berendezések is.



4.16. ábra
Olajhűtő berendezés vázlata

4.2. IZZÍTÁSOK

4.2.1. Feszültségcsökkentő izzítás



4.17. ábra

A feszültségcsökkentő izzítás elvi hőmérséklet-idő diagramja (a) és a maradó feszültség változása a hőkezelés során (b).

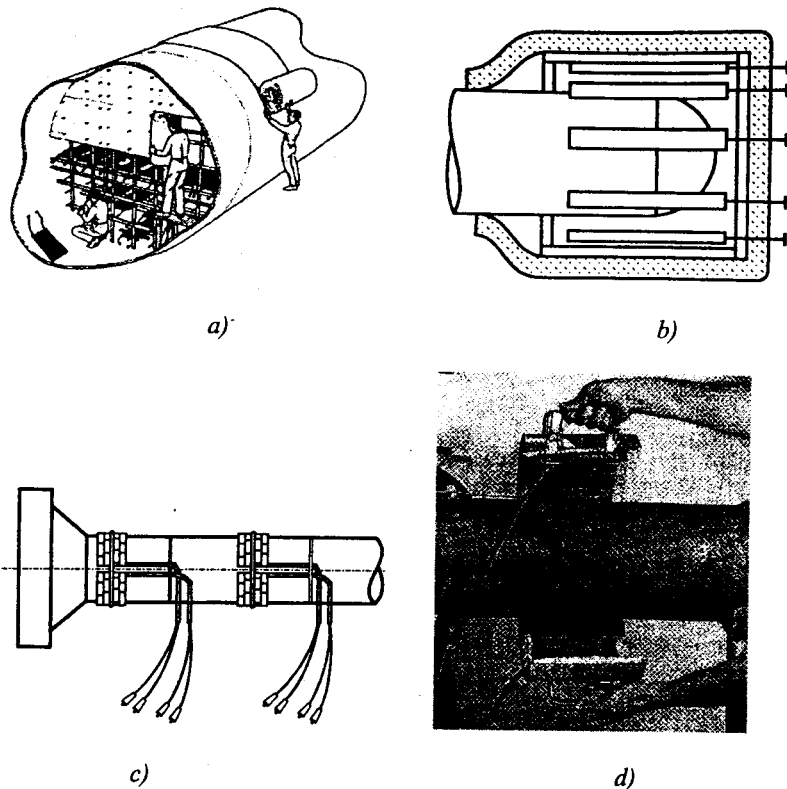
A hőkezelő eljárás célja a különböző technológiai műveletek (öntés, megalakítás, hidegalakítás, forgácsolás, hegesztés, stb.) során keletkező maradó feszültségek csökkentése.

A feszültségcsökkentő hőkezelés helye a művelti sorrendtervben mindig közvetlenül a feszültséget okozó művelet után van. Kényes alkatrészeknél, szerzőszámoknál még a simító megmunkálás után is szükség lehet feszültségcsökkentő hőkezelésre. Hasonlóképpen lényeges az alkalmazása a készremunkált állapotban végzett nitridálásnál a készremunkálást megelőzően. Ellenkező esetben a maradó feszültségek a nitridálás során épülnek le, a darab egyidejű deformálódását okozva.

A feszültségek a darabban azáltal épülnek le, hogy mikrotartományokban plasztikus deformációt váltanak ki. Ez azt igényli, hogy az anyag folyáshatára csökkenjen. Mivel az acélok folyáshatára kb. 400°C-nál csökken számottevően, a feszültségcsökkentő hőkezelés ezen hőmérséklet alatt korlátozott hatású. Másfelől e hőkezelés során nem szándékunk a szövetszerkezet, illetve mechanikai tulajdonságok jelentősebb változtatása. Így a hőkezelés felső hőmérséklet-határa az A_1 hőmérséklet.

Mivel a feszültségek leépülése alapvetően a hevítés során megy végbe és a hűttartás során a folyamat jelentősen lelassul, hosszabb hűttartásnak nincs értelme. A hűtést újabb maradó feszültség keletkezésének elkerülésére lassan kell végrehajtani, pl. programszabályozott, vagy kikapcsolt kemencében.

A hőkezelés elvi hőmérséklet-idő diagramját a 4.17. ábrán látható a) részlet, a maradó feszültség leépülésének elvi ábráját a b) részlet mutatja be.



4.18. ábra

- a) tartály körvarrat hőkezelésének előkészítése
 b) fenék körvarrat hőkezelése
 c) csővarratok hőkezelése ellenállásfűtőelemekkel
 d) izzítómuft alkalmazása

Néhány szempont a hevítési hőmérséklet megválasztásához:

- a hőkezelés után visszamaradó feszültség nagyságát alapvetően a hevítési hőmérséklet határozza meg, jelentősebb csökkentés csak a hőmérséklet növelésével érhető el,
- előzőleg nemesített daraboknál az eredeti tulajdonságok megőrzése érdekében $T_m = T_{meger.} - (20 \div 30)^\circ C$ célszerű,
- melegen dolgozó alkatrészeknél az üzemi változások elkerülése érdekében $T_m = T_{üzemi} + (20 \div 30)^\circ C$ legyen,
- ha a revésedés probléma, ez $500^\circ C$ -ig tekinthető jelentéktelennek.

A hegesztett szerkezetek feszültségcsökkentő hőkezelése speciális feladat, a gyakran helyileg végrehajtandó hőkezelés speciális eszközöket és technológiát igényel. A körülményektől függően a kivitelezés a következő módokon történhet:

- az egész darab hevítése kemencében, nagyobb daraboknál mozgófenekű kemence alkalmazásával,
- nagy csőelemeknél, tartályoknál a darabban elhelyezett hőforrással és külső hőszigetelő burkolattal,
- hevítő haranggal, kis meddő hőtartalmat biztosító konstrukcióval,
- helyi hevítéssel:
 - * indukciós eljárással,
 - * kerámia szigetelésű villamos ellenállás fűtőelemek alkalmazásával,
 - * gázégők alkalmazásával.

Az előzőek szemléltetésére a 4.18. ábra szolgál.

4.2.2. Újrakristályosító izzítás

Az újrakristályosító izzítás célja a képlékeny hidegalakító művelet során bekövetkezett alakítási keményedés megszüntetése, az eredeti mechanikai tulajdonságok visszaállítása. Eerre szükség lehet a képlékeny hidegalakító műveletet követően, annak érdekében, hogy az alakítást tovább lehessen folytatni. Így például mélyhúzó acéllemeznél általában 3-4 húzási művelet végezhető el újrakristályosító izzítás nélkül, ha a húzások száma ennél több, hőkezeleni kell. De adott esetben hőkezeleni kell az alakadó művelet befejezése után is, ha a kiinduló állapotnak megfelelő mechanikai tulajdonságok vannak előírva.

Az alakítás következményeinek megszüntetése az atomok helyének változtatását igényli a rácsban, amihez a hőmérséklet növelése szükséges. Az alakított fémekben a hőmérséklet növelésekor lejátszódó fémfolyamatokat mint a megújulás, poligonizáció, újrakristályosítás, a szövet fokozatos durvulása és a szekunder újrakristályosítás, a *Metallográfia* c. tárgy részletesen ismerteti.

A képlékeny hidegalakítás következményei alapvetően az újrakristályosítás és a vele párhuzamosan lejátszó mechanikai lágyulás során szűnnek meg. Az újrakristályosítás során a deformáció következményeitől mentes csírák képződnek az alakított fémekben, amelyek folyamatosan növekednek az alakított anyag teljes elfogytáig. További hőtartással, vagy a hőmérséklet növelésével a szemcsék fokozatosan durvulnak.

A hidegen alakított átalakuló acélok $400^\circ C$ és az A_1 hőmérséklet között újrakristályosodnak. Mivel a ferrit és perlit szövetelemekből álló szövetben a deformálódó fázis a ferrit, ez újrakristályosodik, a perlitszigetek megnyújtott alakja nem változik meg. A ferrit lágyulási hőmérsékletét ötvöztettség befolyásolja. A ferrit és karbidképző elemek a lágyulási és A_1 hőmérsékletet is növelik, de az előbbi erősebben. Emiatt az ilyen acélok újrakristályosító izzítása szűkebb hőmérsékletközben végezhető mint az ötvözteleneké. Még szűkebb a hőmérsékletköz az ausztenitképző elemekkel ötvözött acéloké, mivel ezek amellet, hogy a lágyulási hőmérsékletet növelik az A_1 hőmérsékletet is csökkentik.

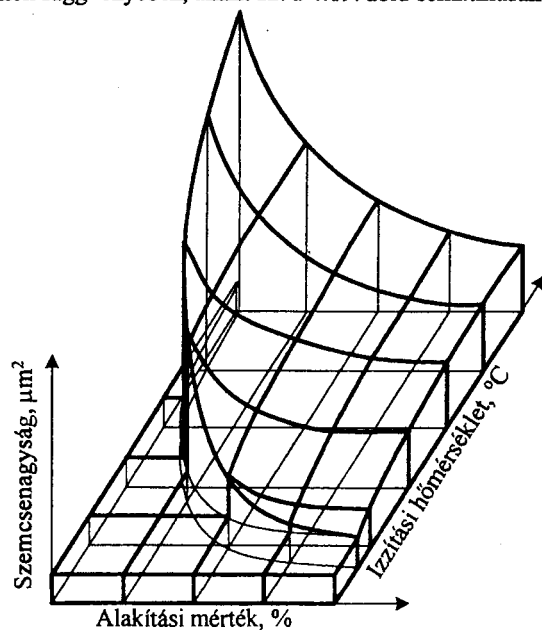
$600^\circ C$ felett végzett hőkezelésnél sajátos jelenség a perlit lemezeinek gömbözdése, szferoidizálódása (a folyamat részleteit a 4.2.4. pontban tárgyaljuk). Ez különösen a nagyobb karbontartalmú acélok mechanikai tulajdonságait befolyásolja jelentősebben. Ez a folyamat ugyanis a gyakorlatban szokásos izzítási idők

alatt is végbemegy, mivel az előzetes alakítás a gömbösödés idejét jelentősen lecsökkenti.

Az az említett tény, hogy a ferrit a deformálódó fázis, a karbontartalomtól függően a lágyulás folyamatában jelentős különbségeket okoz. Azonos alakítási mérték mellett a vaskarbid alakíthatatlansága miatt a nagyobb karbontartamú acél ferritje erősebben alakváltozik, emiatt kisebb hőmérsékleten is kezd lágyulni, mint a kisebb karbontartalmú acélé.

Az újrakristályosító izzításnál fontos tényező a hőkezelés eredményeként kialakuló szemcsenagyság. Ismert, hogy kedvezőbb mechanikai tulajdonságokat finomabb szemcseszerkezettel érhetünk el, ami pl. a folyáshatár esetén a *Hall-Petch* összefüggés szerint számszerűsíthető is. Jelentős a szemcseméret a feldolgozhatóság szempontjából is. Mélyhúzásnál a durvaszemcsészetű mélyhúzólemez felülete a feldolgozás során rücskös ún. „narancsos” lesz. Ez az esetleg következő festés után is megmarad, tehát megengedhetetlen. Szükségünk van továbbá az izzítási hőmérséklet és idő mechanikai tulajdonságok változását befolyásoló hatásának ismeretére is. Ezeket az adatokat a szemcseméret változásait feltüntető újrakristályosodási diagramok és a mechanikai tulajdonságok alakulását leíró lágyulási görbék szolgáltatják, amelyek kézikönyvekben, vagy szükség esetén saját kísérleti eredmények alapján hozzáférhetők.

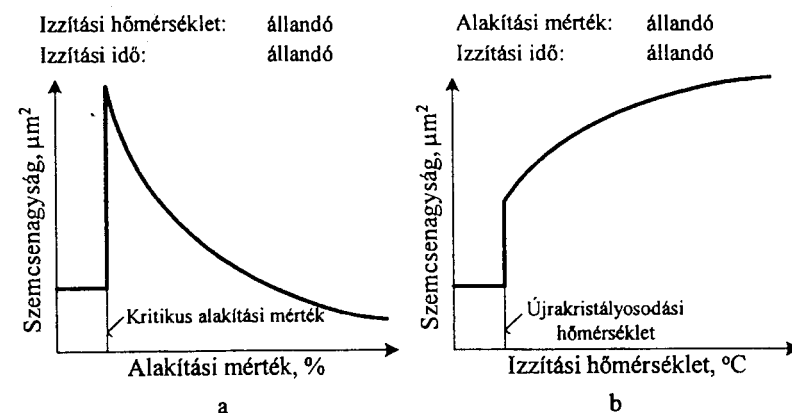
Az újrakristályosodási diagram adott alakítási módra, állandó izzítási időre adja meg az újrakristályosodott szemmagyságot az alakítás mértékének és az izzítás hőmérsékletének függvényében, amint azt a 4.19. ábra sematikusán feltünteti.



4.19. ábra

Újrakristályosodási diagram elvi vázlata

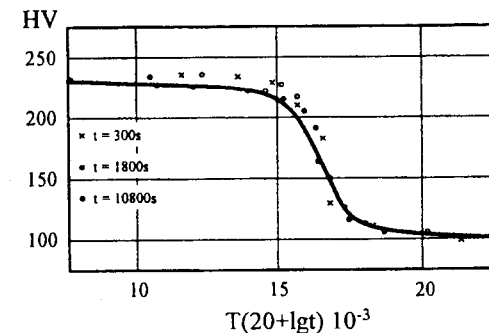
Az alakítás mértékének és az izzítás hőmérsékletének hatását az újrakristályosodási diagram 4.20. ábrán látható metszetei érzékeltetik.



4.20. ábra

Az alakítási mérték (a) és az izzítási hőmérséklet (b) hatása az újrakristályosodott szemmagyságra

Az újrakristályosodott szövet annál finomabb, minél nagyobb mértékű volt az alakítás és minél kisebb hőmérsékletű az izzítás. Bizonyos alakítási mérték és izzítási hőmérséklet alatt az újrakristályosodás nem megy végbe. A legdurvább szemmagyságot eredményező – és ezért kerülendő – alakítási mérték-izzítási hőmérséklet értékpárt kritikus értékpárnak szokás nevezni. Minden újrakristályosodási diagram csak a rögzített felvételi feltételek mellett érvényes. A lágyulási görbe a mechanikai tulajdonságok változását adja meg a hidegalakítást követő izzítás-kor. Az *Arrhenius* egyenlet felhasználásával lehetővé válik, hogy a lágyulás menetét egyetlen görbével adjuk meg, amint az a 4.21. ábrán látható.



4.21. ábra

Lágyacél lágyulási diagramja az Arrhenius egyenlet szerinti ábrázolásban

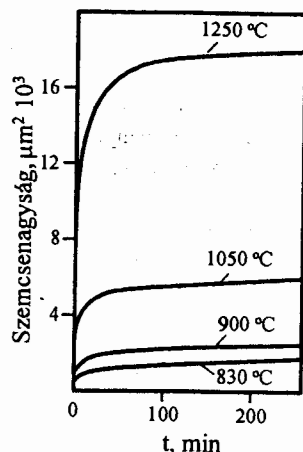
Acéloknál az A_1 hőmérséklettől megkezdődik az ausztenitké alakulás, emiatt az újrakristályosodást más törvényszerűségeket követő szövetváltozás váltja fel. Az A_3 hőmérséklet felett a kiinduló ferrit-perlites szövet teljesen ausztenitké alakul, amelynek szemnagysága az izzítás körülményeitől függ, de független az előzetes hidegalakítástól. Az ilyen hőkezelés után kialakuló szövetszerkezetet alapvetően a lehűlés sebessége határozza meg. Bár az alakítás következményeinek megszüntetésére ez a módszer is szokásos, az alakíthatóság növelésére az újrakristályosító izzítás előnyösebb és gazdaságosabb is.

A képlékeny hidegalakításnál a nagysorozatgyártás, illetve a nagy tömegben való termelés a jellemző. Emiatt a termék jellegéhez igazodó típusú folyamatos üzemű kemencék alkalmazását részesítik előnyben. Így például a mélyhúzó acél-szalag gyártásnál a harangkemencében való izzítás helyett az áthúzó kemencében való izzítást. Újabban már elektronsugaras hevítést alkalmazó berendezéseket is használnak. Mint látható volt a hőkezelési technológiát jelentősen befolyásolja az acélminőség és az előzetes alakítás mértéke, továbbá mint említettük változatos az alkalmazott berendezések skálája. Mindezek miatt a hőmérséklet-idő diagramokat is az adott esetre kell kidolgozni, a hevítési sebesség, hőtartási idő és hűtési sebesség széles tartományban mozognak.

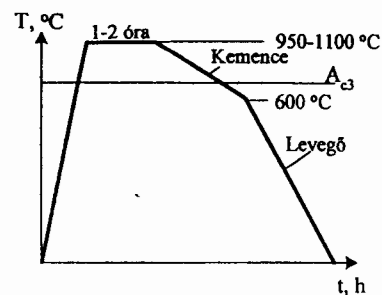
4.2.3. Szemcsedurvító eljárás

Az eljárás célja jól forgácsolható szövet-szerkezet létrehozása a 0,3 % C-nál kisebb karbon tartalmú acélokban. Az ide tartozó legfontosabb acéltípus a betétedzésű acél. A tapasztalat szerint a betétedzésű acélok szemcsés perlitésre lágyítva rosszul forgácsolhatók, kenődnek, felületük beszakadozik. Ez különösen vonatkozik a kis forgácsolási sebességgel végzett technológiákra (pl. fogazás, üregelés, gyalulás, fúrás). Az egyébként kerülendő durva szemcseszerkezet a kevesebb kedvező helyzetű csúszósík és így rosszabb alakváltozóképeség miatt ilyenkor kifejezetten előnyös. A durva szemcseszerkezettel járó kedvezőtlen szilárdsági tulajdonságok a felhasználás szempontjából nem okoznak problémát, mivel a kész darab tulajdonságait a forgácsolást mindig követő újabb hőkezelések határozzák meg.

A szemcsedurvulás mértékét az A_{c3} hőmérséklet felett végzett izzítás hőmérséklete és időtartama szabja meg alapvetően, de befolyásolja az izzítás hőmérsékletéről való lehűlés sebessége is. A 4.22. ábra hőmérséklet és a hőtartási idő együttes hatását szemlélteti.



4.22. ábra
A hőmérséklet és a hőtartási idő együttes hatása az ausztenit szemcseméretére, ötvözetlen hipoeutektoidos acélnál



4.23. ábra
A szemcsedurvító izzítás elvi hőmérséklet-idő diagramja

Láthatóan a hőmérséklet növelése a leghatékonyabb, ezért ennek nagyságát jóval az A_{c3} hőmérséklet fölé, 950-1100°C-ra választják. A hőtartási idő növelésének határt szab a szemcsedurulás menetét mutató görbék ellaposodása; az ésszerű hőtartási idő ezért 1-2 óra. Ezt követi a 600°C-ra való lassú hűtés. A szemcsedurulás az A_{c3} hőmérsékletig lehűlés közben is folytatódik, így ez hőtartást helyettesít, és ezáltal energia-megtakarítást eredményez. A hőkezelés elvi hőmérséklet-idő diagramja a 4.23. ábrán látható.

4.2.4. Sferoidizáló izzítás

A sferoidizáló izzítás célja a forgácsolhatóság és a képlékeny hidegalakíthatóság javítása ferrit-perlit, illetve perlit-cementit szövetszerkezetű acélokban. A forgácsolhatóság javítására általában 0,4 % C-tartalom felett végzik, hidegalakításnál már kisebb C-tartalom, illetve perlitartalom esetén is célszerű alkalmazni.

Mint ismeretes a perlit lemezes szerkezetű eutektoid így a kemény vegyület fázis a vaskarbid, lemezek formájában van jelen. 0,8 % C-tartalom feletti acélokban a vaskarbid egy további szövetelem, szekunder cementit kiválásként is megjelenik, ami hálós alakot is ölthet.



Lemezes perlit

A karbidlemezek gömbösödésének kezdete

Gömbös karbid

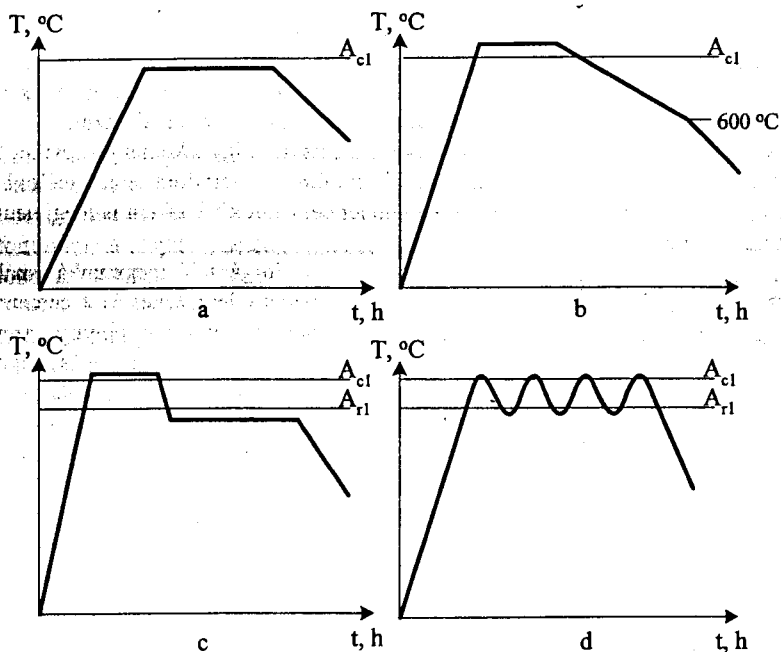
4.24. ábra
A karbidlemezek gömbösödésének elvi vázlata

szokás nevezni. A megmunkálás szempontjából előnyös még, hogy a hőkezelés után a darabban a maradó feszültségek is kis értékre csökkennek.

A folyamat hajtóerejét az adja, hogy az $Fe-Fe_3C$ rendszerben a vaskarbid gömbös formája a legkisebb energiátartalmú. Szorosan az A_1 hőmérséklet alatti tartással feloldódási és újrakiválási folyamatok révén végbemehet a gömb alakú vaskarbid részecskék képződése. Ebben szerepet kap a vas- és karbonatomok nagy mozgékonyasága ezen a hőmérsékleten, valamint az is, hogy az α -vas karbon oldó képessége az A_1 hőmérsékletig jelentősen (10^{-6} %-ról 0,025 % C-re) nő. A vaskarbid alakjának változása a 4.24. ábra elvi vázlatán követhető nyomon.

Először a lemezek kisebb részekre darabolódnak, majd a továbbiakban ezek a részecskék megközelítik a gömbformát. A feltételektől függően a karbid részecskék durvulhatnak, a nagyobb részecskék megnőnek, miközben a kicsik feloldódnak. A folyamatokat a diffúzió irányítja, ami érthetővé teszi a ferritben oldott ötvözőelemek hatását a szferoidizáció sebességére. Már korábban említettük, hogy az előzetes hidegalakítás a gömbösödést gyorsítja.

A szóban forgó hőkezelés négy módszer szerint végezhető, amelyek elvi hőmérséklet-idő diagramjai a 4.25. ábrán láthatók.



4.25. ábra

A szferoidizáló izzítás különféle módszereinek elvi hőmérséklet-idő diagramjai

- a) ötvöztelen hipoeutektoidos acél, ötvözött szerkezeti acél,
b) c) hipereutektoidos ötvöztelen acél, szerszámacél, gördülőcsapágy acél
d) acélöntvény.

Az a) jelű változatot hipoeutektoidos ötvöztelen és ötvözött szerkezeti acéloknál alkalmazzák és az A_{c1} alatt kb. 20°C -on végzett többórás izzításból áll. A legkisebb maradó feszültséget a kemencével való lassú lehűtés eredményezi.

A b) és c) jelű hőmérséklet-idő diagramok ötvöztelen hipereutektoidos és ötvözött szerszámacéloknál és gördülőcsapágy acéloknál használatosak. A b) esetben az acélt kevéssel az A_{c1} hőmérséklet fölé hevítik, majd nagyon lassan hűtik az A_{r1} alá 600°C -ig. Innen gyorsabb hűtés következik. A c) változatnál az A_{c1} hőmérséklet fölé hevítést lassú, közvetlenül az A_{r1} hőmérséklet alá hűtés, ezen a hőmérsékleten való hőntartás, majd szobahőmérsékletre való lehűtés követi. Mindkét esetben részlegesen ausztenit képződik, ami nagyobb karbonoldó képességének köszönhetően, gyorsabb karbidoldódást és karbid feldarabolódást eredményez. A folyamatos lehűtés, illetve az izotermás hőntartás során előfordulhat, hogy az ausztenit átalakulása az anomáliás perlitátalakulás szerint megy végbe, azaz lemezes és gömbös vaskarbid részecskéket egyben tartalmazó szabálytalan szerkezet jön létre.

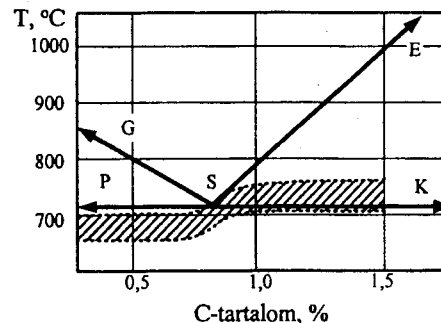
A d) esetben, az ún. ingás lágyításnál, a darabot először az A_{c1} hőmérséklet fölé hevítik, majd az A_{r1} alá hűtik, mindezt többször megismételve. Az eljárás durvalemezes perlit esetén – ami például a lassan hűlő acélöntvényeknél alakul ki – csökkentheti hatékonyan a szükséges hőntartási időt. Az említett hatás alapja itt is a részleges ausztenitképződés az A_{c1} hőmérséklet fölé hevítéskor. Az A_{c1} hőmérséklet felett az acélt nem szabad hosszabb ideig hőntartani, mivel lényeges, hogy maradjon a lehűtésnél csíráként szereplő oldatlan karbid.

Az egyes acélminőségeknél alkalmazandó hevítési hőmérséklettartományokra az acélszabványok hőkezelési adatokat tartalmazó függelékei adnak útmutatást.

Az ötvöztelen acéloknál alkalmazandó izzítási hőmérsékletekről a 4.26. ábra ad áttekintést.

A szóban forgó eljárásnál szövetfinomítás szemcsefinomítás révén nem lép fel, itt a feldolgozhatóságot lehetővé tevő karbid alak létrehozása a cél, a szilárdsági tulajdonságok javítása nem követelmény.

Meg kell említeni, hogy α -vas mátrixba ágyazott gömbös karbidokat tartalmazó szövetet, létre lehet hozni edzéssel és ezt követő közvetlen A_{c1} alatti megereztéssel is. Ez a lágy szferoiditét eredményező eljárás kedvező, de túl drága.



4.26. ábra

Hőmérséklet intervallumok ötvöztelen acélok szferoidizáló izzításánál

A hipereutektoidos acélok szferoidizáló izzításánál kedvező kiindulási szövet keletkezik a kapcsolódó edzés számára is. Az egyenletes eloszlású finom karbid szemcsék egyenletes keménységű és finomszemcsés edzési szövetet eredményeznek. A nagy karbid szemcsék kedvezőtlenek, mert ne-

hezebben oldódnak, megnő a hőtartási idő az edzési hőmérsékleten. Fokozott minőségi követelmények esetén, mint pl. gördülőcsapágyacél, szerszámacél, a szferoidizáló izzítás eredményeinek minősítésére ezért a szabványok etalonskálaikat tartalmaznak.

A hőkezelés eredményét minden esetben *Brinell* keménységméréssel ellenőrzik. Az egyes minőségekre vonatkozó keménységi határértékeket az acélszabványok tartalmazzák. Egyes esetekben még további előírás a dekarbonizálódott réteg megengedett vastagsága.

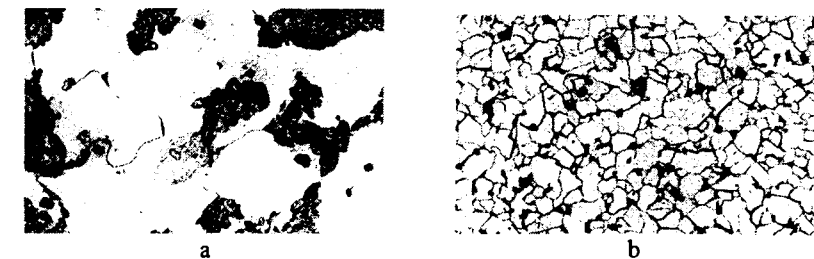
4.2.5. Normalizálás

A normalizálás célja egyenletes eloszlású ferrit-perlites, vagy hipereutektoidos acélok nál perlit-karbidos szövetszerkezet létrehozása. Ez szolgálhat közbülső állapotként további hőkezelésekhez (szferoidizáló lágyítás, edzés) valamint az igénybevétel szerint megkívánt tulajdonságok biztosítására (szerkezeti acélok, acélöntvények, hegesztett darabok). Leginkább ötvöztelen és kissé ötvözött acélok nál alkalmazják.

Az említett célt egy átkristályosító, $\alpha-\gamma-\alpha$ átalakulást megvalósító hőkezeléssel lehet elérni. A hűtés jellemzően nyugvó levegőn történik.

Az ausztenitesítési hőmérséklet hipoeutektoidos acélok nál közvetlenül az A_{c3} hőmérséklet, hipereutektoidos acélok nál pedig általában az A_{c1} hőmérséklet felett van. A hőmérséklet az átalakulási hőmérsékletet csak kevéssel, 30-50°C-kal haladja meg. Az egyes acélminőségekre vonatkozó adatok a vonatkozó szabványokban megtalálhatók. Különösen fontos az optimális ausztenitesítési hőmérséklet betartása mikroötvözött finomszemcsés acélok nál. Hipereutektoidos acélok nál az említett hőmérséklettől csak akkor térnek el, ha meglévő cementithálót kell teljesen feloldani az A_{cm} hőmérséklet felett. Igen jelentős a normalizálás acélöntvényeknél, mivel a lassú hűtés durva szövetet eredményez, amely általában *Widmanstätten* jellegű ferritet tartalmaz. A kívánt cél a kémiai összetételtől függően, a melegen alakított acélok nál szokásos hőmérséklet felett, 780-950°C-os izzítással érhető el.

A 4.27. ábra C 15 minőségű acél szövetszerkezetét mutatja 1000°C-os hőtartás során eldurvult állapotban és normalizálás után.

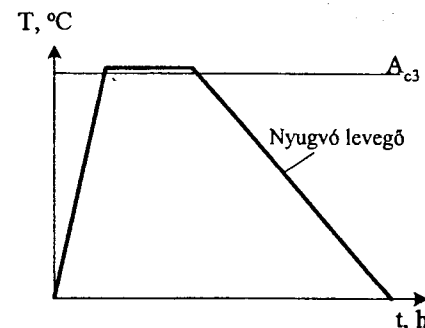


4.27. ábra

C 15 minőségű acél szövetszerkezete

a) 1000°C-os hőtartás során eldurvult állapotban, b) normalizálás után
2%-os alk. HNO_3 , 200x

A hőtartási idő a homogén ausztenit kialakulásához szükséges időt ne haladja meg, általában 10-30 perc hőtartási idő elegendő. A hűtést huzatmentes helyen kell végezni, gondoskodva arról, hogy a levegő minden oldalról egyenletesen érje a darabot.



4.28. ábra

A normalizálás elvi hőmérséklet-idő diagramja

A normalizálás elvi hőmérséklet-idő diagramját a 4.28. ábra mutatja. Fontos szerep jut a normalizálásnak a nitridképzőkkel ötvözött öregedésálló acélok nál. Az ausztenitesítés hőmérsékletén ugyanis a nitrogén, nitrid formájában zárványt alkotva kiválik. A lehűtés során az átalakuláskor ezért a ferrit nitrogén tartalma is csökken, az öregedési hajlam mérséklődik. Ha a körülmények lehetővé teszik, normalizálni kell a hegesztett gyártmányokat a varratnál kialakuló heterogén szövetszerkezet átkristályosítása érdekében.

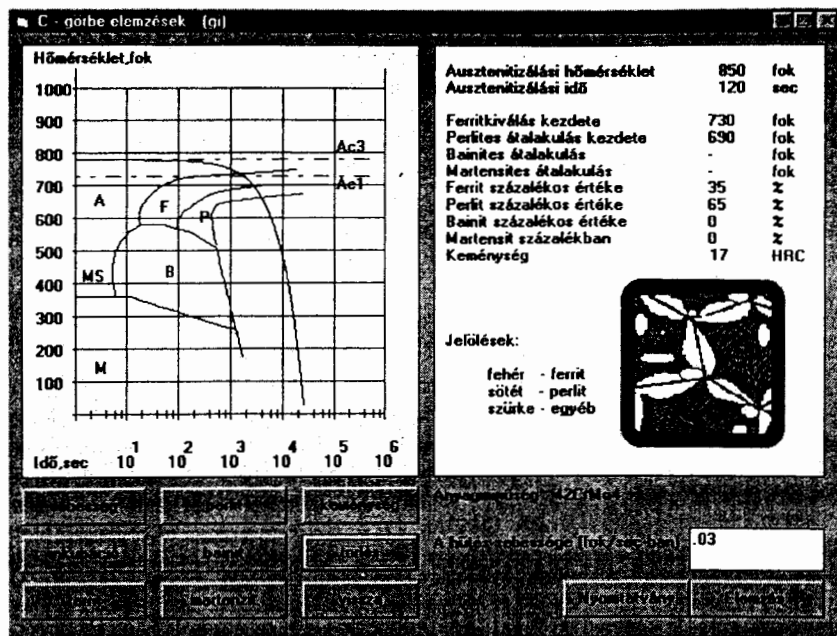
4.2.6. Teljes lágyítás

Az eljárás célja a jó forgácsolhatóság biztosítása, összekapcsolva egy egyenletes, finomabb szövetszerkezet létrehozásával. Utóbbi kedvezően befolyásolja a további hőkezelések (edzés, nemesítés) eredményét, kedvezőbb, homogénebb mechanikai tulajdonságokat biztosítva a melegalakítás, illetve öntés utáni egyenlőtlen, inhomogén szövetszerkezettel szemben. Ennek megfelelően a szövetet át kell kristályosítani, amelynek első lépése az ausztenitmezőbe való felhevítés. Az ausztenitet homogenizáló hőtartás után a jó forgácsolhatóságot lehetővé tévő kisebb keménység elérésére egy lassú, szabályozott hűtés következik. Az előírt keménységet eredményező hűtés az acél folyamatos hűtési C -görbéjének felhasználásával tervezhető meg.

Melegen alakított daraboknál az ausztenitesítési hőmérséklet $A_{c3}+30-50^\circ\text{C}$, a szükséges hőtartási idő 20 min. Acélöntvényeknél magasabb hőmérséklet és hosszabb hőtartási idő célszerű.

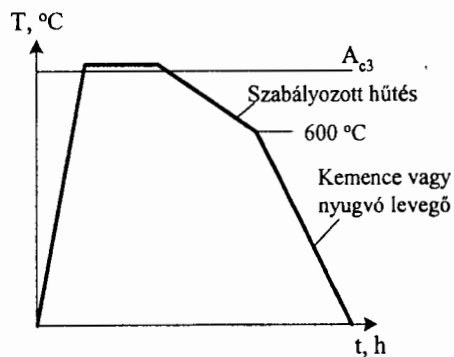
Az előírt keménység eléréséhez szükséges hűtési idő meghatározásának eljárását a 4.29. ábra szemlélteti. (Az ábra a Mechanikai Technológiai Tanszéken kidolgozott „Számítógépi C -görbe atlasz és hőkezelési technológiai tervező program” felhasználásával készült.)

Az előírt keménységet biztosító szabályozott hűtést a perlites átalakulás befejeződéséig kell végezni, biztonságból általában 600°C-ig. A korszerű kemencék nál a szükséges hűtési idő programozható, a végelhűtés történhet a kikapcsolt kemencében, vagy nyugvó levegőn.



4.29. ábra

A teljes lágyítás hűtési szakaszának tervezése a folyamatos hűtési C-görbe felhasználásával



4.30. ábra

A teljes lágyítás elvi hőmérséklet-idő diagramja

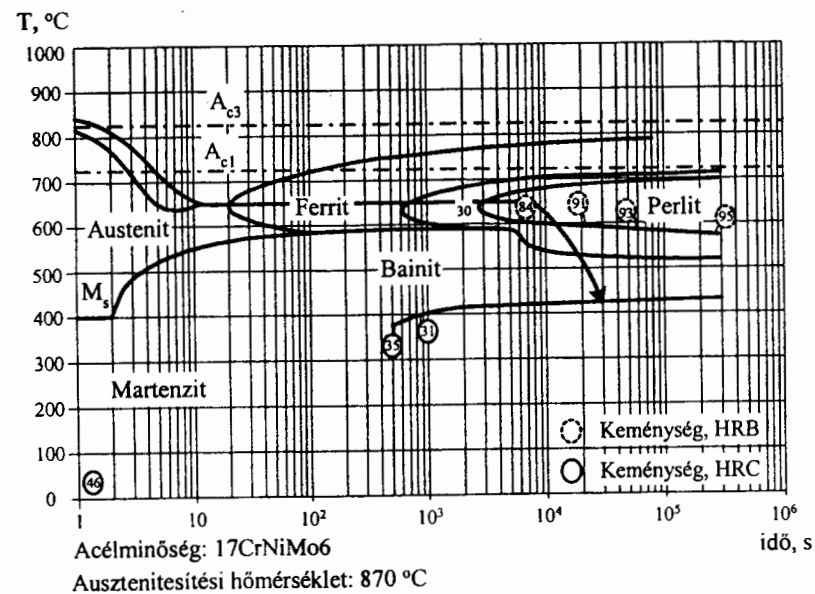
A hőkezelés elvi hőmérséklet-idő diagramja a 4.30. ábrán látható.

Olyan acéloknál, amelyek a perlites átalakulás C-görbe páráját jelentősen jobbra toló karbidképző ötvözőelemeket tartalmaznak (pl. Cr és Mo ötvöztetésű acélok), a szükséges hűtési idő jelentősen megnő, ami az eljárást gazdaságtalanná teszi.

4.2.7. Izotermás lágyítás

Izotermás lágyítás célja igen egyenletes ferrit-perlites szövetszerkezet és minimális maradó feszültség elérése elsősorban betétedzésű és nemesíthető acélból készült súllyesztékes kovácsdaraboknál, 140-185 HB keménység mellett. Az előzőknek köszönhetően kedvezően alakul a forgácsolhatóság – ami különösen előnyös az NC gépeken végzett nagy tömegű forgácsleválasztás igénylő megmunkálásoknál – továbbá a betétedzésnél és a nemesítésnél kisebb lesz a vetemedés. Ez utóbbi kisebb ráhagyást és ennek révén is megmunkálási költség megtakarítást eredményez. Az izotermás lágyítás a gazdaságos nagyszorozatú gyártás nélkülözhetetlen technológiája.

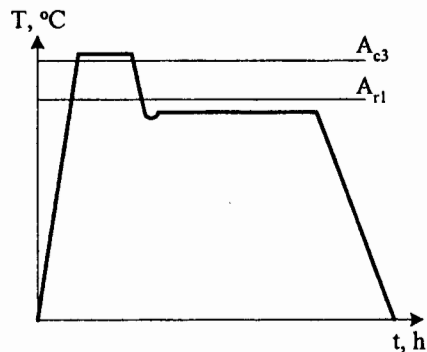
Az ausztenit izotermás átalakulása során képződő ferrit-perlites szövetnek a kedvező tulajdonságok eléréséhez az alábbi jellemzőkkel kell rendelkeznie: nagy ferrit arány, nagy ferritszemcsék, sorosság mentes szövet, egyenletesen elosztott perlit szemcsékkel, finom és rövid perlitlemezek. A kívánt szövetszerkezet elérését a technológia minden részlépése befolyásolja. Az ausztenítés során a hőmérsékletet és a hőtartási időt az ausztenit kellő homogenizálása és a különféle kiválások feloldása érdekében előnyös nagyobbra és hosszabbra választani a szokásosnál. Az ausztenit homogenizálása megfelelő ausztenit stabilitás biztosításához szükséges a perlites tartományban, a kiválások feloldását pedig a sorosságmentes szövet elérése indokolja. A hőkezelés kivitelezésére folyamatos működésű kemencét használnak és energia megtakarítás céljából a kovácsmeleg darabokat teszik a kemencébe.



4.31. ábra

A hűtés tervezése izotermás lágyításnál az izotermás C-görbe felhasználásával

A kialakuló sorosságot befolyásolja a lehűtés sebessége is az ausztenitesítési hőmérsékletéről, $10-40^\circ\text{C}/\text{min}$ a célszerű tartomány. A felső értéket a kissé ötvözött acéloknál kell alkalmazni, mivel ezek rövidebb inkubációs idővel rendelkeznek a perlités átalakuláskor. Az ausztenitesítő zóna és izotermás hőntartó zóna közötti hűtőzónában a hűtést rendszerint fűjt hideg levegővel, vagy hideg védőgázzal (pl. N_2 -vel) oldják meg. Az izotermás hőntartás hőmérséklete és időtartama a kezelt acél izotermás C-görbéje alapján határozható meg, amint azt a 4.31. ábra szemlélteti. Az izotermás hőmérsékletét az orrponi hőmérséklet felett $10-20^\circ\text{C}$ -kal célszerű megválasztani. A kezelt darabok lehűtése szobahőmérsékletre már a kemencén kívül levegőn történhet. A hőkezelés elvi hőmérséklet-idő diagramja a 4.32. ábrán látható.



4.32. ábra

Az izotermás lágyítás elvi hőmérséklet-idő diagramja

Az ausztenitesítő zóna és izotermás hőntartó zóna közötti hűtőzónában a hűtést rendszerint fűjt hideg levegővel, vagy hideg védőgázzal (pl. N_2 -vel) oldják meg. Az izotermás hőntartás hőmérséklete és időtartama a kezelt acél izotermás C-görbéje alapján határozható meg, amint azt a 4.31. ábra szemlélteti. Az izotermás hőmérsékletét az orrponi hőmérséklet felett $10-20^\circ\text{C}$ -kal célszerű megválasztani. A kezelt darabok lehűtése szobahőmérsékletre már a kemencén kívül levegőn történhet. A hőkezelés elvi hőmérséklet-idő diagramja a 4.32. ábrán látható.

Az eljárás célja meghatározott típusú ausztenites saválló Cr-Ni acél és az ausztenites Mn (Hadfield) acél szövetszerkezetének homogén ausztenitesé tétele. Az ausztenites saválló Cr-Ni acél korróziós viselkedését jelentősen befolyásolja a karbontartalom. A hagyományos típusú acél kb. $0,1\%$ karbontartalma mellett, lévén a króm erős karbidképző, jelentősebb $Cr_{23}C_6$ képletű, nagy króm-tartalmú, karbid válik ki lassú lehűtésekor a szemcsehatáron. A krómban elszegényedett szemcsehatár emiatt ún. szemcsehatárkorrózióra válik hajlamossá. Ilyenkor a korrózió a kiválás oldatbavitelével és a homogén ausztenites szövet megőrzésével háriható el.

4.2.8. Ausztenites lehűtés

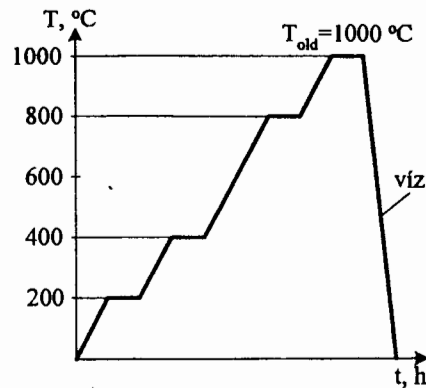
Az eljárás célja meghatározott típusú ausztenites saválló Cr-Ni acél és az ausztenites Mn (Hadfield) acél szövetszerkezetének homogén ausztenitesé tétele.

Az ausztenites saválló Cr-Ni acél korróziós viselkedését jelentősen befolyásolja a karbontartalom. A hagyományos típusú acél kb. $0,1\%$ karbontartalma mellett, lévén a króm erős karbidképző, jelentősebb $Cr_{23}C_6$ képletű, nagy króm-tartalmú, karbid válik ki lassú lehűtésekor a szemcsehatáron. A krómban elszegényedett szemcsehatár emiatt ún. szemcsehatárkorrózióra válik hajlamossá. Ilyenkor a korrózió a kiválás oldatbavitelével és a homogén ausztenites szövet megőrzésével háriható el.

Az előzőknek megfelelően az acélt a krómkarbid oldódási hőmérsékletére 1050°C -ra hevítik, az oldódás befejeződéséig hőntartják, majd a lehűlés közbeni kiválás elkerülésére vízben gyorsan lehűtik.

A korszerű kohászati technológiák bevezetésével a szemcsehatárkorrózió elkerülésének leghatékonyabb módja, a karbontartalom csökkentése, gazdaságosan megoldható. Ezen csökkentett karbontartalmú acélok elterjedésével ezen acéltípusnál a szóban forgó hőkezelés vesztett jelentőségéből.

Igen jelentős az ausztenites lehűtés szerepe a 12% mangán és $1,2\%$ karbontartalmú, nagy felületi nyomással és dinamikus hatással párosuló koptató igénybevétel esetén használt acélnál. Az ebből az acélból készült elemeket leggyakrabban öntik, amikor is a lassú lehűléskor $(Fe, Mn)_3C$ komplex karbid válik ki a szemcsehatárokon.



4.33. ábra

Ausztenites Mn acél ausztenites lehűtésének elvi hőmérséklet-idő diagramja

Ez a kiválás az egyébként rendkívül szívós acélt rendkívüli módon elridegíti, ezért közvetlen felhasználásra alkalmatlanná teszi. A megfelelő tulajdonságok egy 1000°C -os oldó izzítást követő gyors hűtéssel biztosíthatók. Ezen hőkezelés elvi hőmérséklet-idő diagramja a 4.33. ábrán látható.

A hevítésnél – az ötvözet kis hőmérsékletnél rossz hővezető képessége (lásd 4.3. ábra), nagy hőtágulási együtthatója és a kiválás okozta kis nyúlása miatt – feltétlenül előmelegítést, illetve hőkiegyenlítő hőntartást kell alkalmazni. A szükséges hőntartási idő a tökéletes oldódáshoz több óra is lehet. A teljesen rideg acél ütőmunkája a hőkezelés hatására jelentősen, $150-350 \text{ J}/\text{cm}^2$ értékre nő.

4.3. KEMÉNYSÉGNÖVELŐ HŐKEZELÉSEK

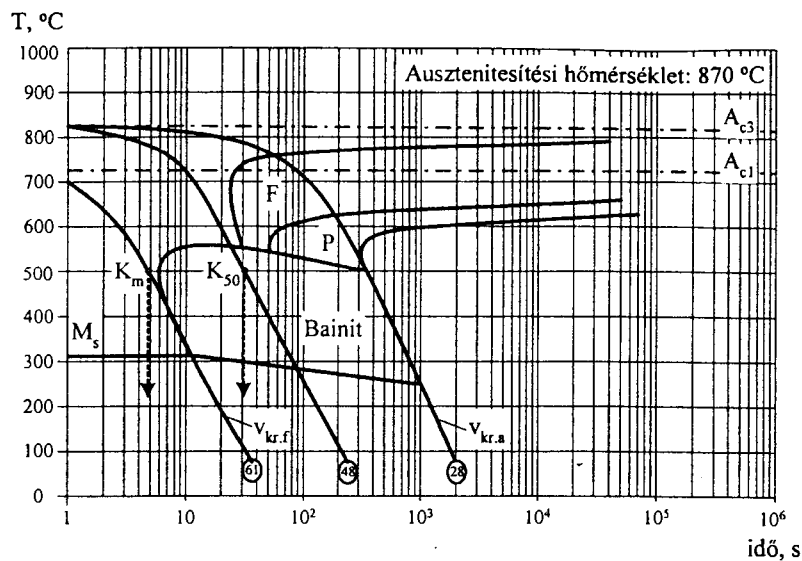
A vasötvözetekben a keménység növelése szempontjából a martenzit és az intersticiós vegyületek nagy jelentőségűek. Előbbi a martenzites edzésnél, utóbbi elsősorban az ötvözött szerszámacélok kiválásos keményítésénél nyer alkalmazást.

A következőkben a martenzites edzést tárgyaljuk. Meg kell különböztetni az ún. *térfogati edzést* – amit a hazai szóhasználat egyszerűen edzésnek nevez – és a *felületi edzést*. Első esetben a keménységet a teljes keresztmetszetre kiterjedően kívánjuk megnövelni, a második esetben ez csak egy felületi rétegre terjed ki.

4.3.1. Edzés

Mint ismeretes a martenzit az ausztenit diffúziómentes átalakulási terméke. Az a hűtési sebesség, amely felett csak martenzites átalakulás megy végbe az ún. *felső kritikus hűtési sebesség* és a 4.34. ábra szerint az acél folyamatos C-görbéjéből határozható meg. Az ilyen edzés, amikor tehát a szövetben a martenzit mellett egyéb átalakulási termék nincs jelen, az ún. *teljes edzés*.

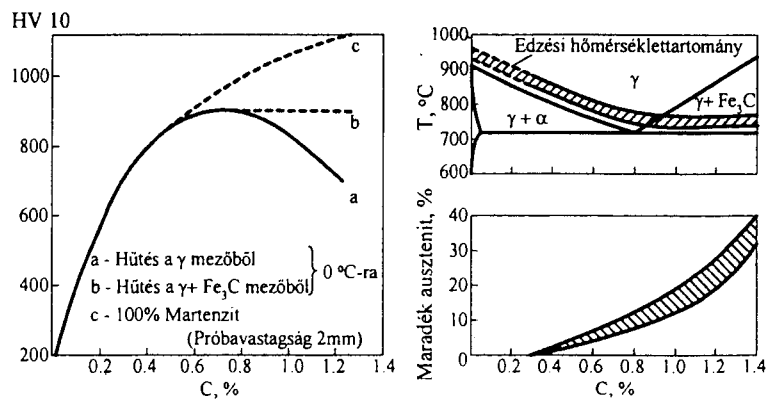
Az acéloknak azt a tulajdonságát, hogy martenzites állapot létrehozásával a keménységük növelhető, edzhetőségnek nevezzük. Az edzhetőség mérőszáma a martenzites állapotban – teljes edzéskor – elérhető keménység. Mint ismeretes a martenzit keménységét az átalakuló ausztenit karbontartalma határozza meg. Ez csak akkor egyezik meg az acél karbontartalmával, ha nincsenek oldatlan karbidok. Egy további tényező, ami befolyásolja az edzett acél keménységét – mint lágy szövetelem – a maradékausztenit mennyisége.



4.34. ábra

A teljes edzést és az 50%-os martenzites állapotot biztosító hűlésgörbék kijelölése a folyamatos hűtési C-görbében

Ötvözetlen acéloknál a karbontartalom és az ausztenitesítési hőmérséklet függvényében kialakuló viszonyokat a 4.35. ábra mutatja.



4.35. ábra

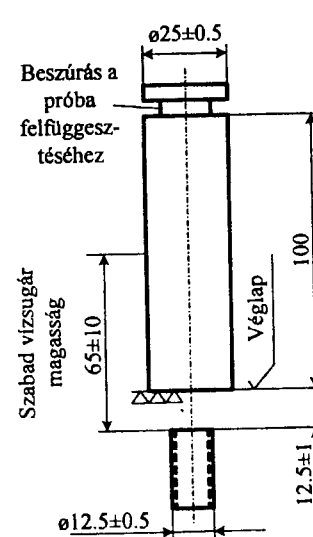
Az edzési keménység a karbontartalom és az ausztenitesítési hőmérséklet függvényében ötvözetlen acéloknál

Ha a martenzit mellett egyéb szövetelemek is jelen vannak, részleges edzésről beszélünk. Edzettnek tekintjük az acélt, ha a martenzittartalom legalább 50%. Az 50%-os martenzites keménységet kritikus keménységnek szokás nevezni. Nagysága függ az 50%-ban jelenlévő martenzit keménységétől, azaz ausztenitesítéskor oldatlan karbidokat nem tartalmazó acéloknál az acél karbontartalmától, valamint attól, hogy a másik 50%-ban milyen a perlit és a bainit aránya. Ez utóbbit az acél ötvözőtartalma befolyásolja. Az említett két tényező függvényében az 50%-os martenzites keménység értékei a 4.7. táblázatban találhatóak.

4.7. táblázat

C tartalom, %	A fél-martenzites szövetű acél keménysége, HRC	
	ötvözetlen	ötvözött
0,18-0,22	25	30
0,23-0,27	30	35
0,28-0,32	35	40
0,33-0,42	40	45
0,43-0,52	45	50
0,53-0,62	50	55

Ötvözetlen és gyengén ötvözött szerkezeti acélok kritikus keménység értékei



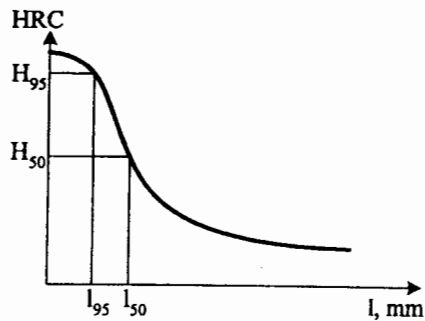
4.36. ábra

A Jominy vizsgálat elrendezése

Az edzéskor alkalmazott hűtés során a hűlési sebesség a felülettől a magrész felé fokozatosan csökken, ami maga után vonja a martenzit mennyiségének és így a keménységnek a változását a keresztmetszet mentén. Ezzel kapcsolatos az átédzhetőség fogalma. Mérészámja a teljesen átédződő és az átédződő átmérő:

- teljesen átédződő átmérő: az a *mm*-ben kifejezett átmérő, amelynél a tengelyvonalon éppen 95% martenzit keletkezik,
- átédződő átmérő: az az ugyancsak *mm*-ben kifejezett átmérő, amelynél a tengelyvonalon éppen 50% martenzit keletkezik, azaz a kritikus keménység mérhető; szokásos ezért kritikus átmérőnek (D_k) is nevezni.

Mindkét átmérőt meghatározott feltételekre (ausztenitesítési hőmérséklet, hűtőközeg) adjuk meg. Meghatározásuk az ún. Jominy vizsgálattal történik. A próbatest, illetve a hűtési elrendezés a 4.36. ábrán látható. A Jominy próbatestet első lépésben előírt módon ausztenitesíteni kell, majd egy hűtőkészülékben a véglapján vizsgárgattal hűtve le kell hűteni.



4.37. ábra

A Jominy görbe az l_{95} és l_{50} távolságokkal

Ezt követően a paláston szemből gondosan két 4-6 mm-es sávot kell köszörölni, amelyek a továbbiakban a véglaptól meghatározott távolságokban való keménységmérésre szolgálnak. A két mérősorozat középértékeit diagramon ábrázolva kapjuk az ún. Jominy görbét.

A Jominy görbébe berajzolt 95%-os és 50%-os martenzites keménységekhez tartozó Jominy távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

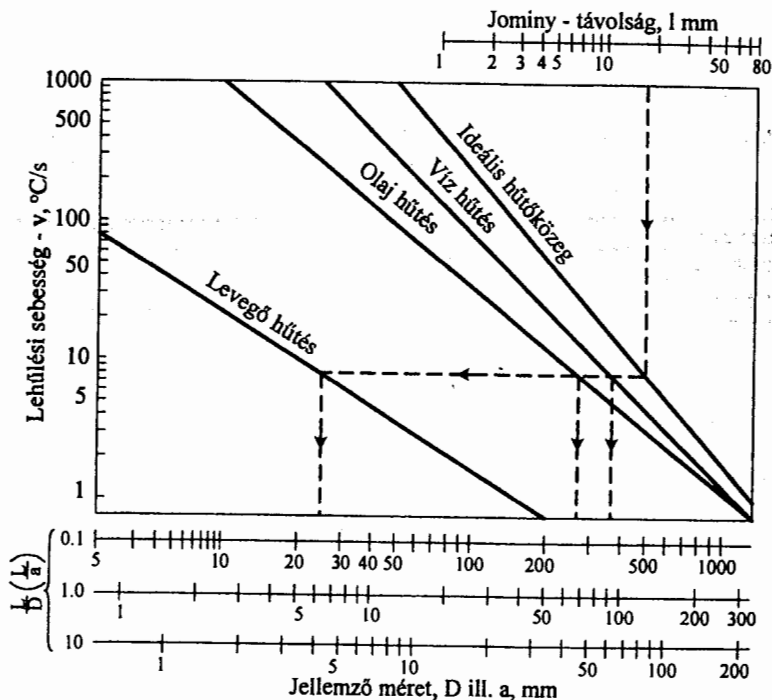
távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

távolságokból (l_{95} és l_{50} , mm, 4.37. ábra) kiindulva, a Jominy

próbatess és a hengeres darab hűlési viszonyai között kapcsolatot teremtő nomogram felhasználásával, határozható meg a teljesen átédződő és az átédződő átmérő. Utóbbira a 4.38. ábra mutatja be az eljárást.



4.38. ábra

Az átédződő átmérő meghatározására szolgáló nomogram

Az egyes acélminőségeknél a Jominy görbe adagról adagra változik. A sok adagnál felvett Jominy görbék burkológörbéi jelölik ki a kérdéses acélminőség

Jominy sávját, amelyet az acélszabványok tartalmaznak. Úgy az edzhetőség mint az átédzhetőség fontos szerepet játszik az anyagmegválasztásnál.

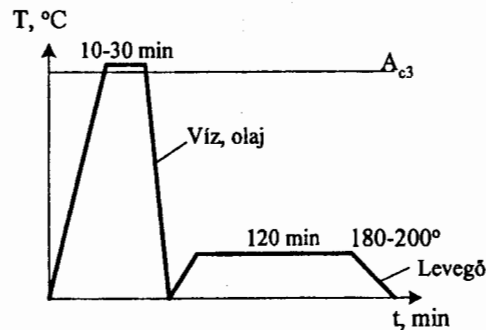
Amint arra már utaltunk, a martenzitet jelentős, atomos dimenziójú sajátfezsültség terheli. Ez a karbontartalom növekedésével fokozódóan az edzett darab megrepedésének veszélyét hordozza magában. Ezért az edzést követően azonnal egy 180-200°C megeresztést kell végezni, amelynek során, mint ismeretes, a megeresztési I . lépcsőjében végbemenő folyamatok zajlanak le. $Fe_{2,4}C$ képletű ϵ karbid válik ki, amelynek következtében a martenzit karbontartalma csökken, a tetragonális torzult rács szabályos rácsúvá válik. Eközben a keménység gyakorlatilag nem csökken.

Mint látható volt az edzett acélban esetenként jelentősebb mennyiségű maradék ausztenit lehet jelen. Ez az alábbi következményekkel jár:

- csökken a keménység,
- a maradék ausztenit idővel bainit alakul át, amellyel járó méretváltozás a pontos illesztésű gyártmányoknál problémát okozhat,
- az eltérő hőtágulási tényező miatt köszörüléskor repedések keletkezhetnek.

A legkevesebb maradék ausztenit akkor kapjuk, ha edzéskor a hűtést az M_F hőmérsékletig folytatjuk. Mivel az M_F hőmérséklet számos esetben szobahőmérséklet alá esik, a maradék ausztenit mennyiségének csökkentéséhez egy külön technológiai lépésben, az ún. mélyhűtés során egy hűtőberendezésben kell a darabokat az M_F hőmérséklet alá hűteni. A mélyhűtést az edzés után azonnal végre kell hajtani, mivel a szobahőmérsékleten való időzés a maradék ausztenit stabilizálja. A szobahőmérsékleten való időzés tartamának növekedésével a mélyhűtés során egyre kevesebb maradék ausztenit alakul át martenzitté.

Egy hipoeutektoidos acél edzésének elvi hőmérséklet idő diagramja a 4.39. ábrán látható.



4.39. ábra

Hipoeutektoidos acél edzésének elvi hőmérséklet-idő diagramja

Az ötvözött acélok edzési hőmérséklettartománya szabványok függelékeiből, gyári katalógusokból vehető.

Amennyiben az edzés után utánmunkálást, köszörülést nem végeznek a dekarbonizálódás és a revésedés elkerülése érdekében a hevítést védőatmoszférá-

ban kell végezni. A hőtartási idő általában 10 perc, durvább kiinduló szövethnél 30 perc. A hűtőközeg ötvözetlen acéloknaál víz, ötvözött minőségeknél edzőolaj.

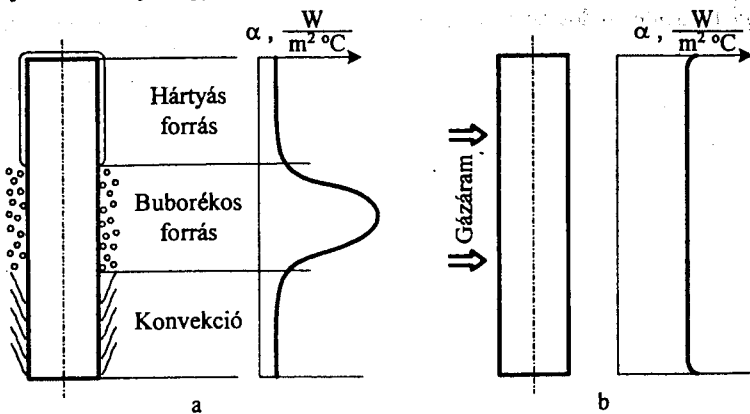
A felhevített darab vízbe való bemártásánál az alábbi jellegzetes hűtési szakaszok különböztethetők meg:

- 400°C-ig az ún. hártvás forrás szakasza, amikor a darabot körülvevő stabil gőzhártya szigetelő hatása viszonylag kis hűtési sebességet eredményez,
- 400°C-tól 200°C-ig a buborékos forrás szakasza, amelynek során a folyamatosan távozó gőzbuborékok intenzív hűtést biztosítanak,
- 200°C alatt az ún. konvektív hűtés szakasza, ismét csökkenő hűtési sebességgel.

Az edzőolaj viselkedése hasonló a vízéhez, csak a hőmérsékletek felfelé tolódnak, a konvektív szakasz már 400°C-tól kezdődik.

A vízűtés kedvezőtlen úgy az átalakulás menetéből adódó igények, mint a darab egyenletes hűlése szempontjából. Részben hasonlóak a problémák olajhűtésnél is.

Korábban említettük, hogy az egyre inkább tért hódító vákuumhőkezelő berendezésekben nagynyomású gázhűtést alkalmaznak, ami már 50 mm méretig – ami például a jármű hajtómű építésben szokásos -, alkatrészek edzését is lehetővé teszi olajedzés helyett. Olajhűtésnél, amint azt a 4.40. ábra szemlélteti, az alkatrész mentén egyszerre vannak jelen a különböző hűtési fázisok, ami egyenlőtlen hűlésre vezet. Gázhűtésnél ilyen fázisok nincsenek, a darab egyenletesen hűl. Ennek köszönhetően nagynyomású gázhűtésnél kisebbek a vetemedések, drága utánmunkálás takarítható meg. További megtakarítás és környezetvédelem szempontjából is előny, hogy nincs szükség az olajedzés után szükséges mosásra.

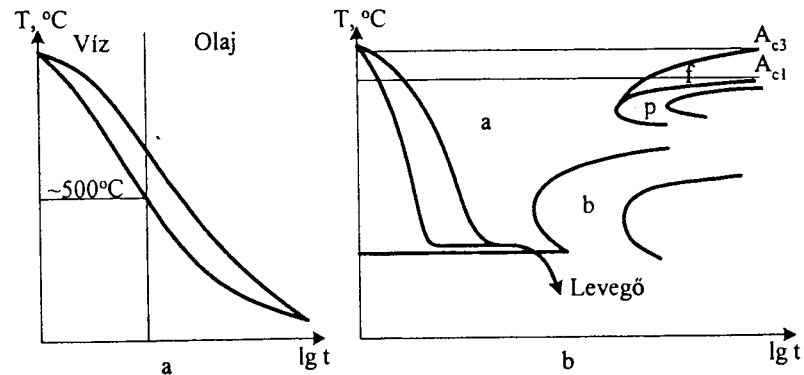


4.40. ábra

A hűlési viszonyok olajhűtésnél és gázhűtésnél
a) olajhűtés, b) gázhűtés

A hűlés során a darabban ébredő hőmérsékletkülönbség és így a vetemedés mértéke, illetve a repedésveszély csökkenthető a víz-olaj és a lépcsős edzés hűtési módokkal. A víz-olaj, vagy ún. törtedzést víz edzésű acélból, a lépcsős edzést ta-

goltabb, ötvözött acélból készült daraboknál használják. A hűtés menetét a 4.41. ábra szemlélteti.

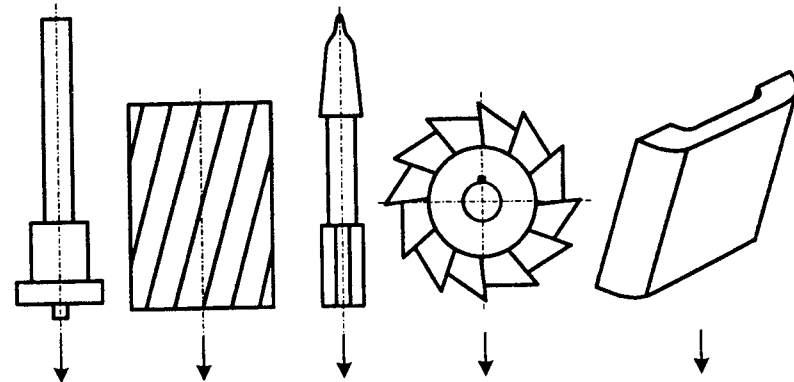


4.41. ábra

A víz-olaj (tört) edzés (a) és a lépcsős edzés (b) hűtési menetének elvi vázlata

A víz-olaj edzésnél a kezdeti gyorsabb vízűtéssel elkerülhető az átalakulás a perlités C-görbepár orrponi tartományában, a lassúbb olajhűtés pedig mérsékeli a feszültségeket a martenzites átalakuláskor. A lépcsős edzésnél a hőmérsékletkülönbség ausztenites állapotban kiegyenlítődik az M_s fölötti hőtartáskor, innen már levegőn hűtve is végbemegy a martenzites átalakulás.

Az edzési vetemedés, illetve repedés elkerülése szempontjából lényeges a megfelelő bemeletési irány a hűtőfolyadékba. Erre néhány példa a 4.42. ábrán látható.

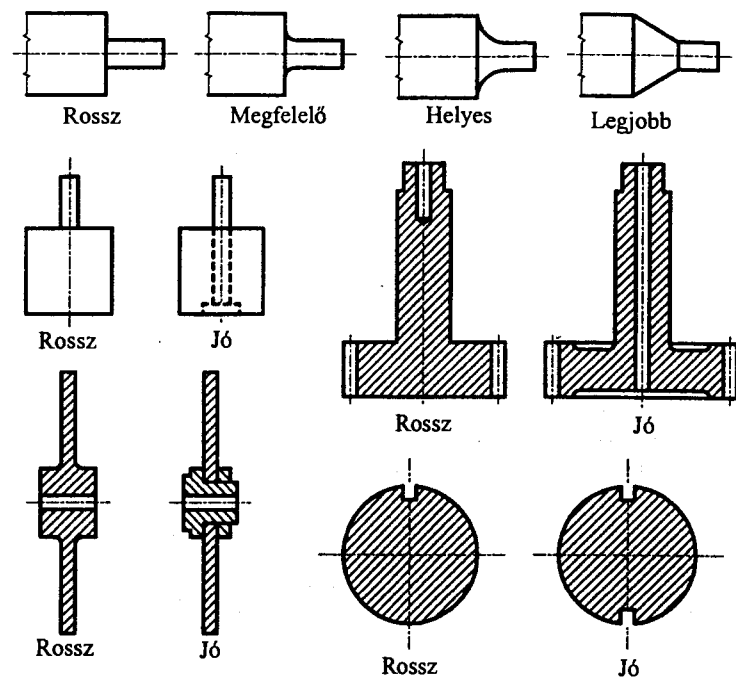


4.42. ábra

A helyes bemeletési irány edzésnél különféle geometriájú daraboknál

A darab egyenletes hűlését szolgálja edzéskor az ún. árnyékolás is, a vékonyabb részek, sarkok takarása lemezzel, acélhuzallal.

Nagyon lényeges, hogy az edzett daraboknál már a konstrukciónál érvényesüljön a technológiai helyesség elve: a darab egyenletes hűlésére kell törekedni, kerülni kell a hirtelen átmeneteket, éles sarkokat. Erre néhány példa a 4.43. ábrán látható.



4.43. ábra

Példák az edzésteknológiailag helyes konstrukcióra

Az edzést követően, mint már említettük azonnal végre kell hajtani 180-200°C-on, 2 óra hőntartással a megeresztést, lehetőleg ventilátorral felszerelt kemencében. Az ún. saját meleggel való megeresztéskor a megeresztést a darabban maradt hővel végezzük. A hűtőfolyadékból való kiemeléskor ilyenkor a hő a lehűlt edzett rész felé áramlik, azt felmelegíti. Ha a lehűlés után megcsiszolt felületen megjelenik a kívánt megeresztési szín, a megeresztés megtörtént, az egész darabot lehűtjük. Ezt az eljárást egyszerű szerszámok hőkezelésénél elsősorban olyan esetben használjuk, amikor csak a vágóélnek, illetve a dolgozó felületnek kell keménynek lenni, a többi rész lágyan marad (pl. hidegvágó, lyukasztó, kalapács, balta).

Edzések a minőség-ellenőrzés minimálisan az edzést és a megeresztést követő, rendszerint HRC keménységmérésből áll. A mérés előtt a dekarbonizálódott réteget gondosan el kell távolítani, mert e nélkül félrevezetőek a kapott eredmények.

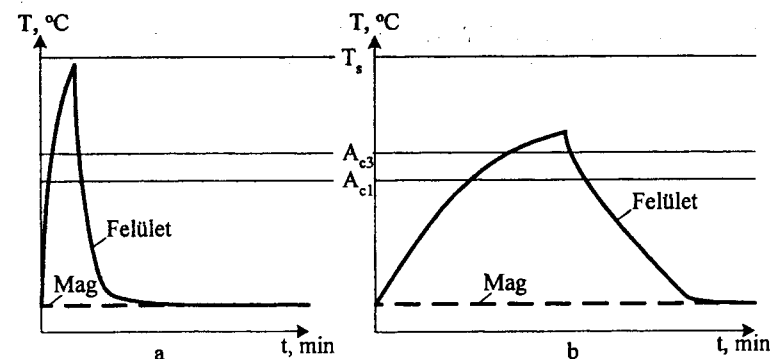
Amennyiben az esetleg repedt darabok felhasználását balesetveszély, vagy egyéb okból ki kell zárni, az edzést követően repedésvizsgálatot is kell végezni. Mivel edzések a felületi repedések a jellemzőek, az ilyen hibák kimutatására alkalmas roncsolásmentes eljárások jönnek szóba. Kisebb darabszám, komplikáltabb alak esetén a jelzőfolyadék módszer, nagyobb darabszámnál a mágneses repedésvizsgálat a szokásos vizsgálati eljárás.

4.3.2. Felületi edzés

Az alkatrészek és szerszámok igénybevétele zömében összetett. Gyakori, hogy a felületen koptató igénybevétel hat, a térfogati igénybevétel pedig dinamikus jellegű. Ilyenkor az a célszerű, hogy a darab a felületén egy kemény kopásálló réteggel rendelkezzen, miközben a magrészt szívós a dinamikus igénybevétel elviselésére. Ez elérhető a később ismertetendő termokémiai kezelésekkel és felületi edzéssel.

A felületi edzés lényege, hogy intenzív hőbevitellel csak egy felületi réteget hevítünk fel ausztenites állapotba, majd ezt azonnal lehűtik, megedzik. Az acél karbon tartalma ilyenkor 0,35-0,60% közötti, 0,6% felett jelentős repedésveszéllyel kell számolni. A magrészt szívósságát előzetes hőkezeléssel biztosítják, ami lehet nemesítés vagy normalizálás. Az intenzív hőbevitel történhet gázlánggal, vagy indukciós hevítéssel, só-, vagy fémfürdőbe merítéssel és nagyenergiájú lézer, vagy elektronsugár alkalmazásával. A felületi edzés után, egyedi mérlegelés szerint, megeresztés is szükséges lehet.

A fontosabb eljárások jellemzőiről a 4.8. táblázat ad áttekintést, jellemző hőmérséklet-idő diagramokat a 4.44. ábra mutatja.



4.44. ábra

Hőmérséklet-idő diagramok felületi edzésnél

a) lézersugár vagy elektronsugár edzés b) lángedzés vagy indukciós edzés

4.8. táblázat

Jellemző	Lámgédzés	Indukciós edzés	Lézersugár edzés	Elektronsugaras edzés
Teljesítmény sűrűség, W/cm^2 - max. elérhető - hőkezelésnél alkalmazott	$6 \cdot 10^3$ $10^3 \dots 6 \cdot 10^3$	10^4 $10^3 \dots 10^4$	$10^9 \dots 10^{11}$ $10^3 \dots 10^4 (10^5)$	$10^8 \dots 10^{11}$ $10^3 \dots 10^4 (10^5)$
Hevítési sebesség, $^\circ C/s$ - max. elérhető - hőkezelésnél alkalmazott	10^2 10^2	10^4 $10 \dots 10^4$	10^{10} $10^3 \dots 10^4 (10^5)$	$10^9 (10^{10})$ $10^3 \dots 10^4 (10^5)$
Hűtés	külső	külső	saját	saját
Edzési mélység, mm	$1,5 \dots 15 (30)$	$0,3 \dots 20$	$10^{-2} \dots 1 (2)$	$10^{-2} \dots 1 (2)$
Az energiaforrás üzemmódja	folyamatos	folyamatos	folyamatos, pulzáló	folyamatos, pulzáló
Hatásfok, %	$50 \dots 70$	$50 \dots 70$	$70 \dots 90$	$70 \dots 80$

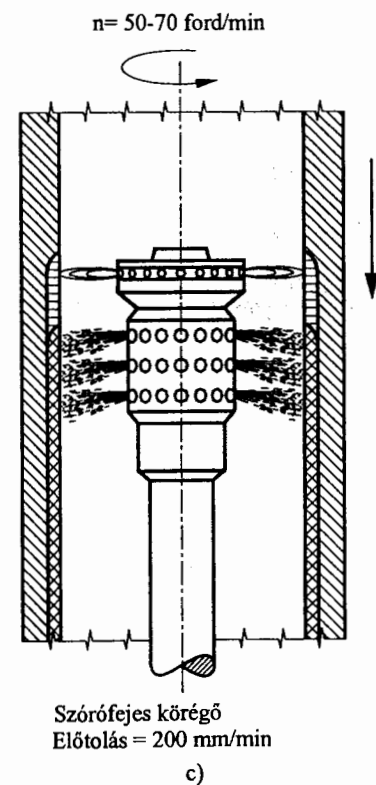
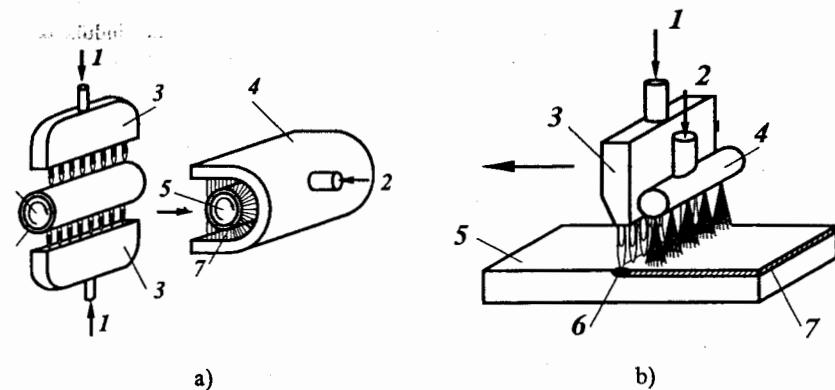
A fontosabb felületedzési eljárások jellemzői

Lámgédzésnél a hevítést különböző konstrukciójú, acetilén és oxigén palackte-lepről táplált nagyteljesítményű égőkkel végzik. Enyhén oxidáló gázkeveréket használnak. A hevítendő felületet a lángmag csúcsától 2-3 mm-re helyezkedjen el. A felhevített felületet vízuhannyal hűtik le, amihez esetleg a hűtési intenzitást csökkentő adalékot adnak.

A lámgédzés végezhető álló szakaszos, forgó szakaszos, haladó folyamatos, illetve haladó-forgó folyamatos mozgással.

Álló szakaszos módszerrel edzhető, pl. a szelepek csapjainak vége, forgó szakaszos edzéssel, csapok felülete (4.45. ábra a), haladó folyamatos edzéssel sík felületek (4.45. ábra b), haladó-forgó folyamatos módszerrel, pl. perselyek belső felülete (4.45. ábra c).

A korszerű lámgédző berendezéseket a nagyfokú automatizálás, rendszerint mikroprocesszoros vezérlés jellemzi. Bár szabályozási lehetőségei kisebbek, mint az indukciós edzésnél, kisebb beruházási költsége, rugalmassága, kis sorozatoknál, nagyméretű daraboknál való előnyös alkalmazhatósága miatt a lámgédzés a felületi edzés gyakorlatának rendszeresen alkalmazott technológiája. Az eljáráshoz különösen alkalmasak a nemesíthető acélok és az öntöttvasak.

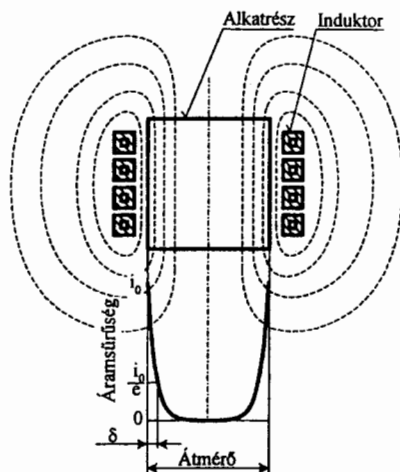


4.45. ábra

Példák a lámgédzési módszerek alkalmazására

a) csapok forgó szakaszos edzése, b) sík felület haladó folyamatos edzése, c) persely belső felületének haladó-forgó folyamatos edzése gombafejes égővel

A felületi edzési eljárások közül a legszélesebb körben elterjedt az indukciós edzés. Ennek az eljárásnak a lényege, hogy egy tekercs, az ún. induktor, segítségével váltakozó mágnes mezőt hoznak létre, amely a tekercsbe helyezett munkadarabban a transzformátor-elv alapján váltóáramot indukál (4.46. ábra). A darabban közvetlenül keletkező *Joule* hő és a hővé alakuló hiszterézis vesztség szolgáltatja a melegítéshez szükséges hőforrást.



4.46. ábra

Az indukciós melegítés elve

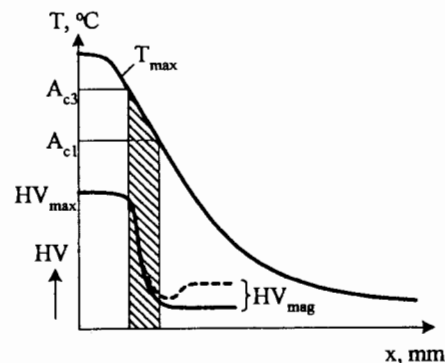
Mivel az eljárásnál közép- (200-10000 Hz), vagy nagyfrekvenciát (100 kHz-10 MHz) használnak a skin-effektus miatt a munkadarabban folyó örvényáram áramsűrűsége exponenciálisan csökken a felülettől való távolsággal, amint azt a 4.46. ábra is mutatja. A δ behatolási mélység az a felülettől mért távolság, ahol a felületi áramsűrűség $1/e$ -ad részére csökken. A melegedés főleg erre a rétegre korlátozódik, a hő 86%-a itt keletkezik. A δ a (4.15) összefüggéssel, az alábbi módon számítható:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \text{ mm} \quad (4.15)$$

Itt: ρ , $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ az acél fajlagos ellenállása,
 μ az acél mágneses permeabilitása,
 f , Hz az áram frekvenciája.

Martenzitesre az ausztenitesítési diagram szerint az adott hevítési sebességhez tartozó A_{c3} hőmérséklet fölé hevült zóna edződhet. A viszonyokat a 4.47. ábra mutatja.

Az A_{c3} és A_{c1} hőmérsékletek közé hevült zónában a hőmérséklet csökkenésével csökken a martenzitté átalakuló ausztenit mennyisége és így a keménység is. Nemesített daraboknál az A_{c1} hőmérséklet alatti zóna megeresztődhet, ezért itt egy csökkent keménységű tartomány alakulhat ki.



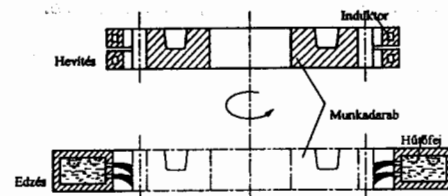
4.47. ábra

A keménységeloszlás a felületi rétegben a hőmérséklet eloszlással összefüggésben felületi edzésnél

Az edzett rétegvastagság a behatolási mélységtől még további eljárás-paraméterektől is függ, mint a teljesítménysűrűség, hevítési idő, induktor-hűtőfej távolság stb. Így például az induktor-hűtőfej távolság növelésével a hővezetésre hosszabb idő áll rendelkezésre, nő az A_{c3} fölé hevült zóna mérete és így a martenzitesre edződött réteg vastagsága is.

Az induktor a munkadarabhoz vörösrézbe egyedileg készül, üreges profilból, hogy átfolyó vízzel hűteni lehessen.

Az indukciós edzés módszerei a lángedzésével azonosak. A 4.48. ábra a 4-nél kisebb modulú fogaskerek forgó szakaszos edzését szemlélteti.



4.48. ábra

Kis modulú fogaskerék forgó szakaszos edzése

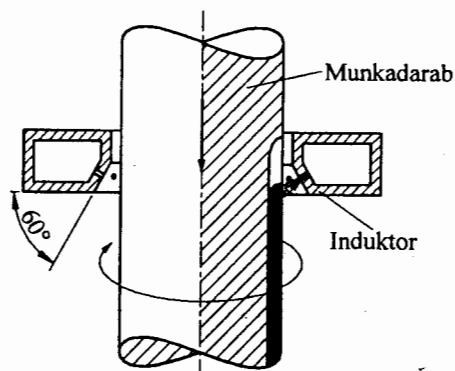
Az induktor az egész fogkoszorút egyszerre melegíti, miközben a darab az excentricitásból adódó egyenlőtlen melegedés kiküszöbölésére forog. A melegítés befejeztével a hűtést hűtőzuhany végzi.

A 4.49. ábra, tengely folyamatos forgó előtolásos edzésének elvi vázlatát mutatja. Ilyenkor a tengely meghatározott sebességgel halad át a helyben álló induktoron, miközben a már említett okból forog.

Az induktorból kilépő felhevült zónát az induktoron kiképzett furatsorral létrehozott vízzuhannyal hűtik. Itt az induktor tehát egyúttal a hűtőfej szerepét is ellátja, az induktort hűtő víz szolgál egyúttal edzésre is.

A kisebb karbon tartalmú acélokra létrehozott vékony rétegek kivételével az edzést megeresztés követi. Ez végezhető szokásosan kemencében, indukciós melegítéssel, vagy saját meleggel.

Az indukciós edzés magas szinten automatizálható, energiatakarékos eljárás. A számítógéppel vezérelt berendezéseket gyakran robotokkal kiszolgált célberendezések formájában alkalmazzák a gyártósorba beépítve.



4.49. ábra

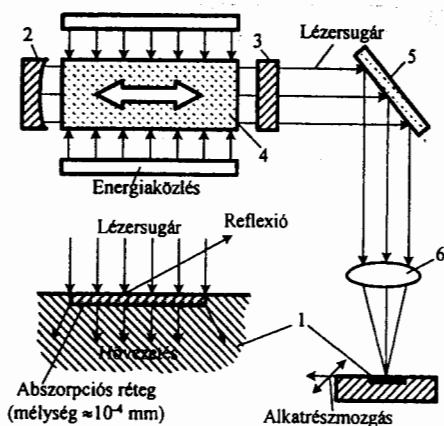
Tengely forgó-folyamatos előtolásos edzésének elvi vázlata

Az indukciós edzésre különösen alkalmasak, ugyanúgy, mint lángedzésre, a nemesíthető acélok, továbbá a cementált betétedzésű acélok, gördülő csapágy- és szerszámacélok, valamint az acélöntvények és az öntöttvasak.

Bemártó edzésnél a darabot rövid időre 1000-1250°C-os só-, vagy fémfurdóba merítik, majd azonnal lehűtik. A rétegvastagság legtöbbször néhány mm. Hátránya,

hogy a részleges edzés lehetősége korlátozott és rossz a reprodukálhatóság. Előnye, hogy a darab alakja tetszőleges lehet. A bemártó edzésre a nemesíthető acélok alkalmasak, de cementált betétedzésű acélokat is lehet így kezelni.

A lézersugaras felületi edzés elvi vázlata a 4.50. ábrán látható. Hőkezelésnél a CO₂ lézert részesítik előnyben. A lézersugarat optikai sugárvezető rendszer segítségével vezetik a munkadarabhoz. Lényeges technológiai paraméter a lézersugár energiájának egy vékony felületi rétegben való elnyelése. Ez több tényezőtől függ, így a lézersugár hullámhossz-



4.50. ábra

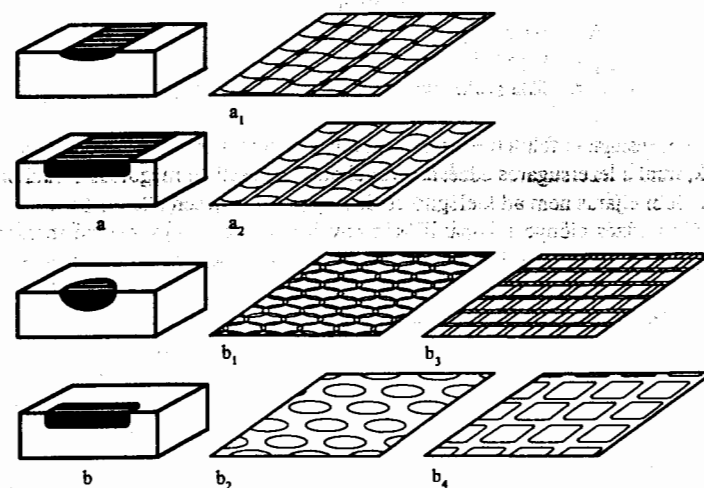
A lézersugaras felületi edzés elvi vázlata

1 – alkatrész, 2 – tükör, 3 – részlegesen átteresztő tükör, 4 – aktív médium, 5 – eltérítő tükör, 6 – fókuszáló lencse

szától, a felületi érdességtől (a hullámhosszhoz képest), a nyáláb beesési szögétől. Ez az érték CO₂ lézernél köszörült felületre kisebb, mint 10%. A gazdaságos alkalmazáshoz ezért a felületre járulékos abszorpciós réteget kell felvinni. Cinkfoszfát, molibdén-szulfid stb. felvitelével az abszorpciós fok kb. 90%. A darab mélyebb rétege hővezetés révén melegszik. A hőmérséklet gyakran megközelíti az olvadási hőmérsékletet, amit a belső hőelvonás révén az azonnali lehűtés követ. A besugárzott felületnek egyenletes hőmérséklet-eloszlásúnak kell lennie, ehhez az intenzitáseloszlás szükség szerint a nyálábban belül is változhat.

A lézersugár és a munkadarab közötti relatív mozgással a kezelendő felület vonal mentén (folyamatos eljárás) vagy pontszerűen (impulzus eljárás) edzik meg, a 4.51. ábra szerint. Védőgázként argon kerül alkalmazásra.

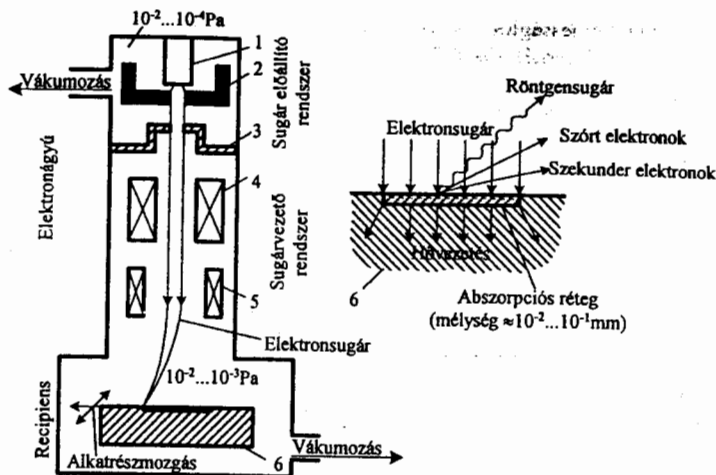
A lézersugaras edzéssel az extrém nagy hűtési sebességnek köszönhetően egyébként nem edzhető kis karbon tartalmú acélok is martenzitesre edzhetők, keményíthetők. Az edzést követő megeresztést gyakran el lehet hagyni, különösen, ha az edzett térfogat kicsi az egész térfogathoz képest és a darab nem repedésérzékeny.



4.51. ábra

Sugarforma és sugárvezetés lézersugaras felületi edzésnél
a) folyamatos eljárás, b) impulzus eljárás

Az elektronsugaras felületi edzés elvét a 4.52. ábra mutatja. A hevítés vákuumosított térben történik, felületi elváltozás így nincs. Az elektronsugár energiája jól hasznosul, előzetes felületi bevonás nem szükséges. A nyáláb jellemzői (teljesítmény, fókuszálás, eltérítés) számítógéppel vezérelhetők.



4.52. ábra

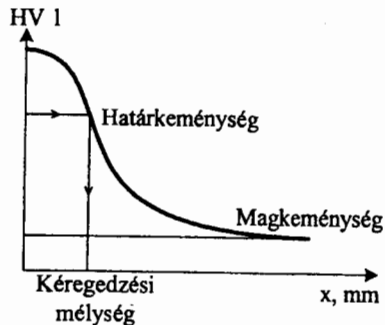
Az elektronsugaras felületi edzés elvi vázlata

- 1 – katód, 2 – vezérlő elektród, 3 – anód,
4 – fókuszáló tekercs, 5 – eltérítő tekercs

Az elektronsugaras felületi edzésnél kisebbek a beruházási és az üzemeltetési költségek, mint a lézersugaras edzésnél. Az eljárás sok esetben megoldás olyankor, amikor a többi eljárás nem ad kielégítő eredményt, vagy teljesen alkalmatlan.

A felületi edzés előnye a kopásállóság növelése mellett, hogy nyomó maradó feszültségek keletkeznek a felületi rétegben. Ez különösen fűrésztölg igénybevételnek kitett gépelemeknél kedvező hatású. Adott esetben az előírt, illetve ellenőrzött jellemzők a felületi keménység és a rétegvastagság. Előbbi a darabokon közvetlenül ellenőrizhető. A rétegvastagság ellenőrzéséhez a kiválasztott darabot a felületre merőlegesen el kell vágni, majd az előkészített felületen Vickers-eljárással a felülettől mért távolság függvényében keménységet kell mérni.

Az adatokat a 4.53. ábra szerint diagramban ábrázolva a rétegvastagság a megállapodás szerinti határkemény alapján jelölhető ki. Egyéb megállapodás hiányában az alábbi határkeményiségi értékek vehetők alapul: $C < 0,4\%$: $450HV 1$, $C \geq 0,4\%$: $500HV 1$.



4.53. ábra

A rétegvastagság kijelölése felületi edzésnél

4.4. SZÍVÓSSÁGFOKOZÓ HŐKEZELÉSEK

A különböző gépek, berendezések működési jellegéből adódóan az alkatrészek, szerkezeti elemek jelentős hányadát dinamikus igénybevétel terheli. Ebből következően ezen elemek anyagának igen fontos jellemzője a szívósság, amit leggyakrabban bemetszett próbatest ütővizsgálatával határoznak meg. A szóbanforgó esetben tehát kedvező ütőmunkával rendelkező szövetszerkezet létrehozása a cél.

A kis karbontartalmú ($C < 0,25\%$) acéloknál a szemcsefinomítás vezet eredményre, ami a már korábban ismertetett normalizálással érhető el. Ugyancsak ezt az eljárást kell alkalmazni a nagyobb szelvényméretű ötvözetlen nemesíthető acélból készült termékeknel is. Ezek átedződő szelvénymérete ugyanis kicsi, így nagyobb szelvényméretben nem edzhetők át, az alább ismertetett nemesítés kedvező hatása tehát nem érvényesülhet. A normalizálás kedvező hatása viszont nagyobb szelvényméretnél is a teljes keresztmetszetre kiterjed. Ez a tény az oka annak, hogy a vonatkozó acélszabvány az ötvözetlen nemesíthető acéloknál normalizált állapotra is tartalmazza a szilárdsági tulajdonságokra vonatkozó előírást.

A vasötözetek szövetelemei közül szívósság szempontjából kedvező tulajdonságú az edzett acél nagyhőmérsékletű megeresztésekor keletkező sferoidit. Ez kétlépéses hőkezeléssel, az ún. nemesítéssel hozható létre.

A vasötözetek további szövetelemei közül kedvező szívóssággal rendelkezik még a bainit. Tisztán bainites szövetszerkezet csak izotermásan keletkezik. Itt tehát a hűtési szakaszban izotermás hőntartást tartalmazó, egy lépéses hőkezelésről van szó. Ezt az eljárást bainites hőkezelésnek, vagy izotermás edzésnek nevezik.

4.4.1. Nemesítés

A nemesítés első lépése, mint láttuk, az edzés. Teljes edzéskor a szövetszerkezet martenzit és maradék ausztenit. A második lépésben a szövetszerkezet megeresztésekor lejátszódó folyamatokat, a sferoidit kialakulását a *Metallográfia* c. tárgy ismeretanyaga tartalmazza. Részleges edzéskor az előző szövetelemek mellett bainit, perlit sőt ferrit is keletkezhet. A ferrit a megeresztés során nem változik. A perlitben és a bainitben sferoidizálódás indulhat meg. Lényeges kérdés, hogy az edzés utáni szövetszerkezet hogyan befolyásolja a megeresztés utáni tulajdonságokat, mindenekelőtt a szívósságot. Ennek megítélésére alkalmas adatokat mutat a 4.9. táblázat. Az adatok nemesíthető $CrNiMo$ acéla vonatkoznak. Az acélt különböző szövetszerkezetűre edzették, majd azonos keménységűre megeresztették. Végül különböző hőmérsékleteken U bemetszésű próbákkal vizsgálták az ütőmunkát. A táblázat a legnagyobb mért ütőmunkát 100%-nak véve, százalékosan adja meg az értékeket.

A 4.9. táblázat adataiból látható, hogyha a megítélés alapja a szobahőmérsékleten mért ütőmunka, a bainit jelenléte nem rontja jelentősen a szívósságot, de a perlit keletkezése már ilyenkor sem kívánatos. Szobahőmérséklet alatti vizsgálatok eredményei szerint kedvező szívóssági érték csak teljes edzés után adódik. Hasonlóképpen ilyenkor a legkedvezőbb a kifáradási határ és az $R_{p0,02}/R_m$ hányados is. A megkövetelt átedződési mérték szempontjából természetesen mérlegelni kell az igénybevétel jellegét is. Ha ez csökken a felülettől befelé (hajlítás, csavarás),

elegendő ha a felülettől a sugár **háromnegyedéig**, teljesül, hogy a martenzit-mennyiség $\geq 95\%$. Mindezek is megerősítik az átedzhetőséggel kapcsolatos ismeretek gyakorlati jelentőségét.

4.9. táblázat

Vizsgálati hőmérséklet, °C	Szövetszerkezet edzés után		
	Martenzit	Martenzit + bainit	Martenzit + perlit
20	100	86	43
0	~100	40	35
-40	90	23	17

Az edzési szövetszerkezet hatása azonos keménységűre megeresztett CrNiMo acél ütőmunkájára. Az értékek százalékban vannak feltüntetve

A nemesíthető szerkezeti acélok választékát az MSZ EN 10083 szabvány tartalmazza. Az ötvöztelen acélok kis átedzhető szelvényéből adódó korlátokat már említettük. Az ötvözőelemek alapvető szerepe az átedzhetőség növelése. E tekintetben a drágább ötvözőelemek olcsóbbakkal, pl. mangánnal, is helyettesíthetők. Különösen a szívósság szempontjából azonban ez a helyettesíthetőség már nem áll fenn. Martenzites kiinduló állapotot feltételezve az ún. nemes ötvözőelemekkel, krómmal, nikkellel és molibdénnel ötvözött acélok kontrakciója, szívóssága mindig nagyobb mint az ugyanolyan szilárdságú, ötvöztelen, vagy csak mangánnal ötvözött acélé. Ennek oka, hogy az azonos szilárdság eléréséhez az ötvözött acél nagyobb hőmérsékleten kell megeresztetni mint az ötvöztelent.

Ha negatív hőmérsékleten is kellő szívósságot kell biztosítani a nikkellel a nemesíthető acél nélkülözhetetlen ötvözőeleme.

A mangán, króm, króm-mangán és króm-nikkel ötvözésű acéloknál 450 és 600°C közötti megeresztésnél jelentkezik az ún. megeresztési elridegés. Ez az ütőmunka jelentős csökkenésében nyilvánul meg, ami az ütőmunka-hőmérséklet diagram 4.54. ábra szerinti, nagyobb hőmérsékleti tartományba való eltolódásával jellemezhető.

Fellép a jelenség akkor is, ha a 600°C feletti megeresztés után a darabot lassan hűtjük le. Az előző-

ket szemlélteti 650°C-on megeresztett króm-nikkel acélnál a 4.10. táblázat. Az ötvöztelen acélok megeresztési elridegésre nem hajlamosak.

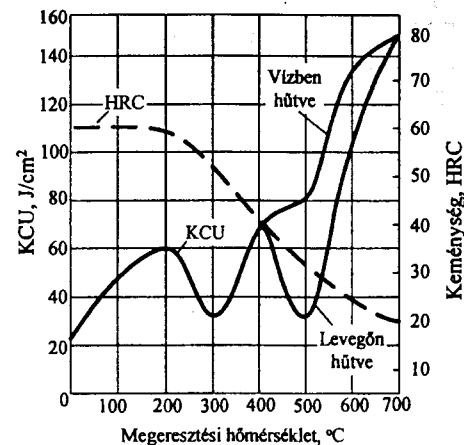
4.10. táblázat

Hűtési mód	Ütőmunka, J/cm ²
Kemence	12
Levegő	29
Olaj	76
Víz	95

650°C-on megeresztett Cr-Ni acél ütőmunkája különféle hűtési módok után

Az ilyen megeresztési elridegésre hajlamos acélt tehát legfeljebb 400°C-on, vagy 600°C felett kell megeresztetni, majd utóbbi esetben olajba, n vagy vízben kell lehűteni. Az elridegedett acél 600°C feletti izzítással és ezt követő gyors hűtéssel ismét szívóssá tehető.

A megeresztési elridegésre hajlamos acélhoz, pl. króm-nikkel acélhoz, 0,5%-nál kevesebb molibdént ötvözve az elridegési hajlam igen jelentősen mérséklődik. A megeresztési elridegést a ferritben oldott elemeknek a volt ausztenit-szemcsehatáron való dúsulásának tulajdonítják. Megemlítjük, hogy a nemesítés hőmérséklettartománya alatt, 250–350°C között is létezik egy elridegési hőmérsékletköz. Ezt 300°C-os elridegésnéként szokás említeni. A gyakorlatban a 300°C körüli megeresztést kerülni kell.



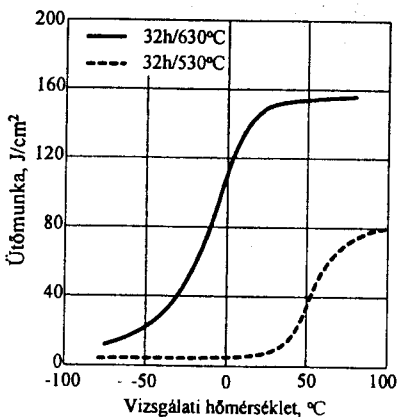
4.55. ábra

A 300°C-os és a megeresztési elridegés tartományai, valamint a hűtési sebesség befolyása

A kétféle elridegést szemléletesen mutatja a 4.55. ábra.

A szferoidit mechanikai tulajdonságai a diszlokációk szabad úthosszától függenek. Ezt a térfogategységben lévő karbidszemcsék száma határozza meg. Adott acélnál ez a szemcse szám a megeresztési hőmérsékletének és időtartamának növelésével csökken.

A folyamat alapja, hogy az átlagosnál kisebb méretű, gömbszerű részecskék oldódnak, a nagyobbak pedig növekedésnek indulnak. A hőmérséklet és az idő egyforma értelemben és ismert módon egy közös paraméter-



4.54. ábra

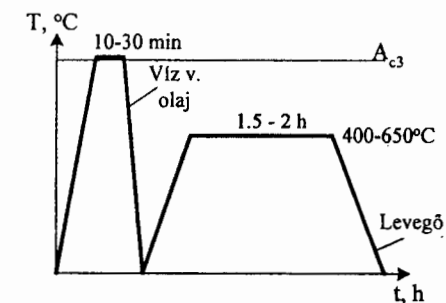
Az ütőmunka-hőmérséklet diagram eltolódása megeresztési elridegésnél

ben összevonhatóan hat a mechanikai tulajdonságokra:

$$P = T(C + \lg t) \quad (4.16)$$

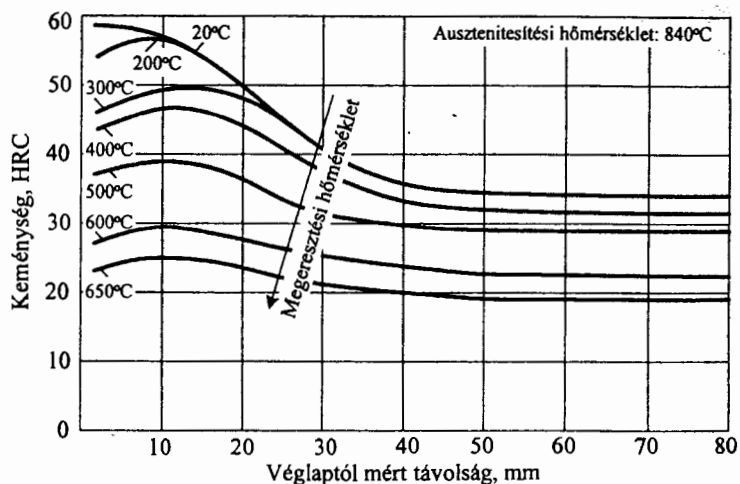
Itt: $T, ^\circ K$ a megeresztés hőmérséklete,
 t, h a megeresztés időtartama,
 C anyagminőségtől függő állandó.

A C értéke hasonló minőségekre azonosnak vehető, így pl. ötvözetlen acélokra $C=18$, süllyszétkacélokra $C=20$.



4.56. ábra

Megeresztési elridegedésre nem hajlamos acél nemesítésének elvi hőmérséklet-idő diagramja

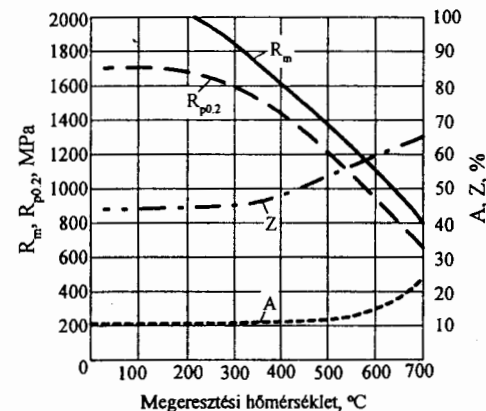


4.57. ábra

A $41Cr4$ acél Jominy próbatestjének megeresztésekor kapott eredmények

A nemesítés első lépését a keménységnövelő hőkezelésnél elmondottak szerint kell megtervezni és végrehajtani. A második lépés a $400-650^\circ C$ között végzett nagyhőmérsékletű megeresztés, 1,5-2 óra hőtartással. Megeresztési elridegedésre nem hajlamos acél nemesítésének elvi hőmérséklet-idő diagramja a 4.56. ábrán látható. A megeresztési elridegedésre hajlamos acél megeresztésének menete a korábban elmondottak szerint módosul.

A megeresztés hőmérsékletét az alkatrész igénybevétele szerint elérni kívánt mechanikai jellemzőknek megfelelően kell megválasztani. A megeresztés után várható keménység értékekről egyszerűen képet kaphatunk a Jominy próbatest megeresztésével. A $41Cr4$ acélra ilyen jellegű diagram látható a 4.57. ábrán.

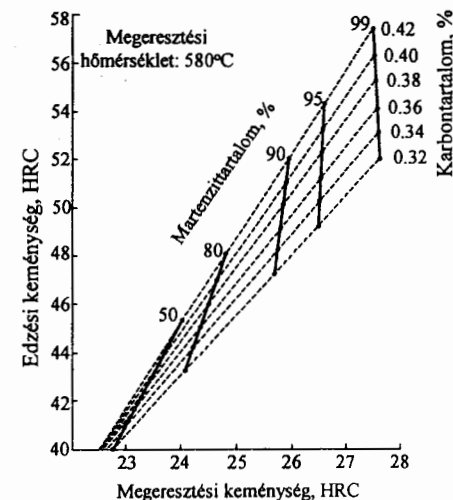


4.58. ábra

A $42CrMo4$ acél nemesítési diagramja

A megeresztéssel elérhető szilárdság természetesen függ az edzési keménységtől. A 4.59. ábra $1\% Cr$ tartalmú acélnál ($\sim 41Cr4$) mutatja az edzési keménység, a martenzit részarány, a karbontartalom és a megeresztési keménység összefüggését.

Nemesítésnél a minőségellenőrzés egyszerű esetben az edzés utáni Rockwell és megeresztés utáni Brinell keménységmérésből áll. Igényesebb daraboknál a hőkezelési adag előírt helyéről vett mintadarab felhasználásával, megállapodás szerinti helyekről kivett próbatestekkel, szakító- és ütővizsgálatot kell végezni.

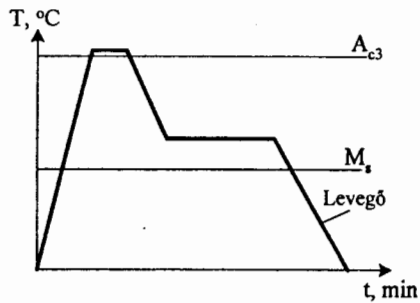


4.59. ábra

Az edzési keménység, a martenzit részarány, a karbontartalom és a megeresztési keménység összefüggései $1\% Cr$ tartalmú acélnál

4.4.2. Bainites hőkezelés

Az eljárás célja tisztán bainites szövetszerkezet létrehozása, az ezzel az állapottal járó kedvező szilárdsági tulajdonságok és egyéb előnyök biztosítása érdekében. A bainites állapot azonos keménység mellett kedvezőbb szívósságot és folyáshatárt eredményez, mint a nemesítés. Ez különösen 0,5% karbontartalom felett szembetűnő. A nemesítésnél lehetséges megeresztési elridegedés itt nem lép fel. A kúszást okozó igénybevétel esetén is legkedvezőbb bainites szövetű acélok alkalmazása.



4.60. ábra

A bainites hőkezelés elvi hőmérséklet-idő diagramja

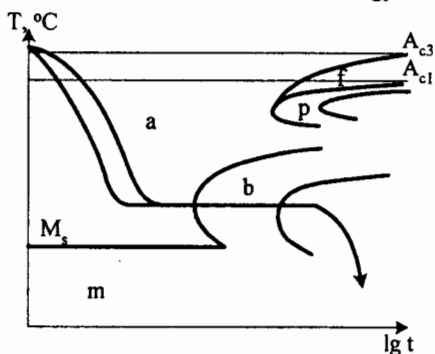
Az izotermás átalakulás révén a darabban a mag és a kéreg között kicsi a hőmérséklet-különbség, ami minimális deformációt és maradó feszültséget eredményez, összehasonlítva a nemesítéssel. További előny, hogy megeresztésre nincs szükség, így az eljárás egy lépésben hajtható végre az edzést és megeresztést igénylő nemesítéssel szemben. Izotermás hűtés végrehajtására már a korszerű vákuumkemencék is alkalmasak.

Az eljárás fémteni alapját az ausztenit bainites tartományban

végrehajtott izotermás átalakulása adja. A hőkezelés első lépése ennek megfelelően ausztenítés a megfelelő átalakulási hőmérséklet felett. Ezt követően úgy kell lehűteni a darabot az M_s fölé, a bainites átalakulás tartományába, hogy közben a perlités átalakulás a magban is elkerülhető legyen. Az eljárás hőmérséklet-idő diagramját a 4.60. ábra szemlélteti.

Az eljárás tervezéséhez segédlet az acél izotermás C-görbéje. A perlitté bomlás elkerüléséhez az izotermás edzésre a nagyobb inkubációs idejű acélok alkalmasak, általában az olajedzésű minőségek. Minden acélnál létezik azonban egy olyan szelvényméret, amely korlátot jelent az eredményes végrehajtás szempontjából. A túl hosszú inkubációs- és átalakulási idő az eljárás végrehajtását már gazdaságtalanná teszi. A hűtés menetét az izotermás C-görbébe berajzolva a 4.61. ábra mutatja.

Az izotermás hőtartás időtartamának olyan hosz-



4.61. ábra

A bainites hőkezelés hűtési menetének elvi vázlata

szúnak kell lennie, hogy a bainites átalakulás biztonsággal teljesen befejeződhessen. Ha ugyanis a hőtartást előbb megszakítjuk a képződő martenzit és maradék ausztenit szövetelemek a szilárdsági tulajdonságokat rontják. Az átalakulás befejeződése után a darabot rendszerint nyugvó levegőn hűtik le szobahőmérsékletre, majd az eredményt keménységméréssel ellenőrzik.

4.5. TERMOKÉMIAI KEZELÉSEK

A felületi edzés kapcsán már említettük, hogy az alkatrészek és szerszámok jelentős hányadának igénybevétele összetett, felületi és térfogati igénybevétel egyaránt hat. Az ebből adódóan megkívánt eltérő tulajdonságokat, illetve szövetszerkezetet úgy is el lehet érni, hogy a kohászati ötvözéssel a magtulajdonságok elérésének feltételeit biztosítjuk, majd a felületi réteget utólagosan ötvözzük a megfelelő elemmel, illetve elemekkel az itt szükséges szövetszerkezet, illetve tulajdonságok elérésére. Erre adnak lehetőséget a termokémiai kezelések. Így igen változatos igénybevételi kombinációknak megfelelő darabokat lehet előállítani az ötvözölemek megfelelő megválasztásával. Emiatt az alkatrészekkel és szerszámokkal szemben támasztott fokozódó igények kielégítésében a termokémiai kezelések igen fontos szerepet játszanak, az eljárásokat folyamatosan fejlesztik, részarányuk a hőkezelésen belül nő.

A következőkben a két legelterjedtebben alkalmazott termokémiai kezeléssel, a nitridálással és a betétedzéssel, adunk bevezető ismertetést.

4.5.1. Nitridálás

4.5.1.1. A nitridréteg szerkezete és tulajdonságai

A vasötvözetek termokémiai kezelésekor kialakuló rétegszerkezetéről a vonatkozó állapotábra szolgáltatja az alapvető információkat. A $Fe-N$ állapotábrát a 4.62. ábra mutatja. Az ábra bal oldali része a $Fe-C$ állapotábra megfelelő részével mutat hasonlóságot. Nagyobb nitrogéntartalommal nitridfázisok képződnek.

A két szilárdoldat fázis:

- α -fázis, vagy nitrofertit: a szabályos térben középpontos rácsban az intersticiósan oldott nitrogén atomok az ún oktaéder helyzetet foglalják el; a maximális oldóképesség $590^\circ C$ -on $0,1\% N$, a szobahőmérséklet környezetében $0,001\% N$,
- γ -fázis, vagy nitroausztenit: a szabályos felületen középpontos rácsban a nitrogén atomok szintén oktaéderhelyzetben vannak; a γ -fázis maximális nitrogén oldóképessége $650^\circ C$ -on $2,80\% N$.

A γ mezőből való lassú lehűléskor a γ eutektoidosan α szilárdoldatból és γ nitridből álló, ún. braunitté alakul át. Gyors hűtéskor a γ fázisból nitromartenzit képződik.

A nitridfázisok:

– γ -nitrid: sztöchiometriai összetétele Fe_4N ; rácsszerkezete szabályos felületen középontos; 5,7 és 6,1% N-tartalom között fordul elő; 680°C-ig stabilis,

– ε -nitrid: $Fe_{2,3}N$ összetételű, hexagonális rácsszerkezetű; nitrogéntartalma széles határok között változhat; 650°C-on eutektoidosan átalakul, $\gamma+\gamma'$ fázisokra bomlik,

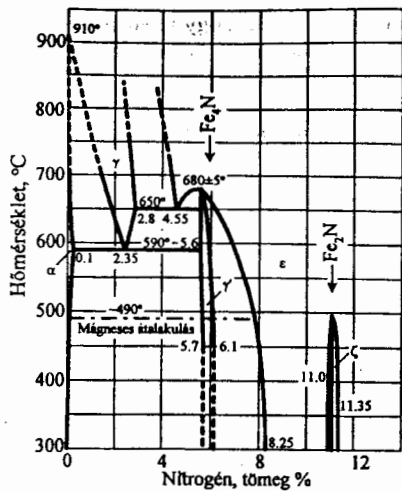
– ξ -nitrid: Fe_2N összetételű, orthorombikus rácsszerkezetű; 11,0-11,35% N tartományban, kb. 500°C alatt stabilis; nitridáláskor nem keletkezik, ezért gyakorlati jelentősége nincs.

A nitridálást a γ fázis eutektoidos átalakulási hőmérséklete alatt, 590°C-on végzik. A 4.62. ábrát és a (3.12.) összefüggést alapul véve, színvas nitridálásakor a felületről indulva a következő fázisokból álló rétegszerkezet alakul ki: $\varepsilon-\gamma'-\alpha_N-\alpha$ (itt α_N a nitrogén tartalmú α vasat jelöli). Ez a rétegszerkezet szintén az állapotábrából követhetően a szobahőmérsékletre való hűlés közben a következők szerint módosul: $\varepsilon-\varepsilon+\gamma'-\gamma'-\alpha_N+\gamma'-\alpha$. A felületen tehát ε -nitrid keletkezik, ami alatt $\varepsilon+\gamma$, illetve γ -nitrid réteg található. Ezt a nitridekből álló réteget vegyületi rétegnek nevezik. A metallográfiai csiszolaton a szokásos nital alkalmazásakor nem maródik, ezért a felület mentén elhelyezkedő fehér sávként jelenik meg. Ez alatt található, a nitridálás hőmérsékletéről való lassú lehűtéskor túszerű γ -nitrid kiválásokat tartalmazó, nitro-ferrit réteg. Ezt a színvasig terjedő részt régebben diffúziós zónának nevezték, újabban kiválási rétegnek nevezik. Nitridáláskor utólagos hőkezelésre, szemben a cementálással, nincs szükség.

Az elmondottakhoz kapcsolódóan a C 15 minőségű acélon nitridáláskor kialakuló réteg szövetképe a 4.63. ábrán látható.

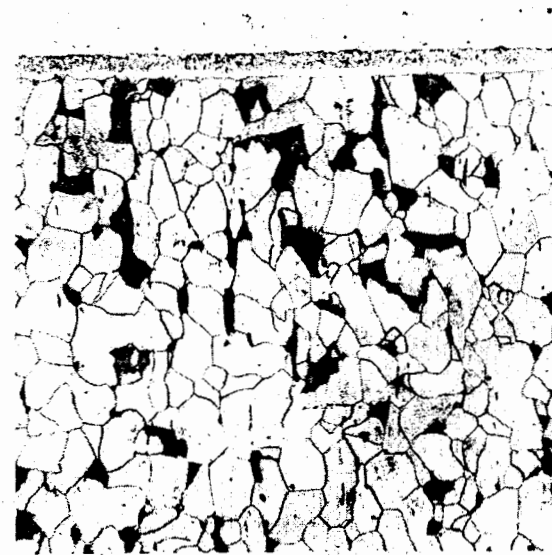
Acél nitridálásakor számolni kell a karbon és az ötvözőelemek hatásával. A karbon befolyása a következőkben foglalható össze:

- a ferritben lévő oldott karbon csökkenti a nitrogén oldóképességet,
- a γ -nitrid elhanyagolható mértékben oldja a karbonot így megtartja a nitrid jellegét,



4.62. ábra
A Fe-N állapotábra

- az ε -nitrid oldja a karbonot, így $Fe_{2,3}(N, C)$ képlettel jellemezhető karbonitrid lesz; ez a karbonitrid fázis kevésbé rideg és jobb kopásállóságú, mint az ε -nitrid; a karbon szélesíti a koncentráció tartományát.

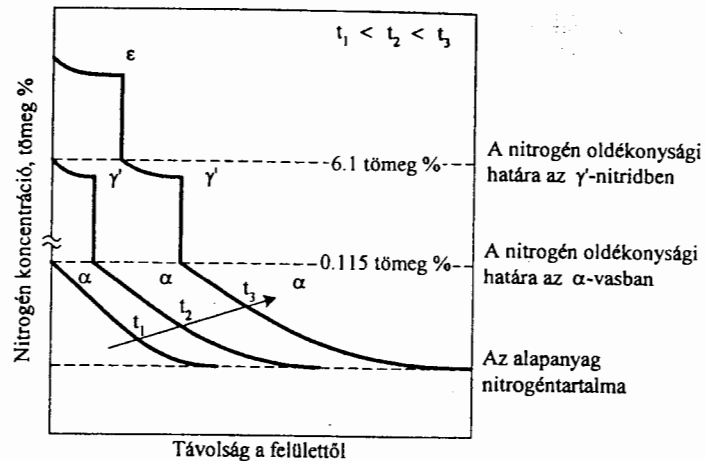


4.63. ábra
A C 15 minőségű acél nitridálásakor kialakuló réteg szövetképe
2%-os alk. HNO_3 , 200x

Az ötvözőelemek jellegzetes hatásai a következők:

- a ferritben oldott ötvözőelemek rendszerint növelik annak nitrogén oldó képességét,
- a vasatomokat helyettesítve oldódnak a γ és ε fázisban, komplex nitrideket [pl. $(Fe, Me)_4N$], illetve karbonitrideket [pl. $(Fe, Me)_2(N, C)$] hozva létre,
- ötvöző nitridek, illetve karbonitridek keletkeznek; a kiválási réteg tulajdonságait jelentősen befolyásolja a kiválások minősége, mennyisége, alakja, mérete és eloszlása, amit az ötvözőelemek megválasztásával valamint a nitridálás hőmérsékletével és idejével lehet befolyásolni.

A nitridréteg kialakulása a nitrogén α -vasban való oldódásával kezdődik a felületen. A koncentráció különbség hatására megindul a nitrogén diffúziója a darab belseje felé. Bizonyos idő elteltével az α -vas nitrogén koncentrációja a felületen eléri a maximális oldékonysági határt, megjelennek a γ csírák, majd összefüggő γ -réteg alakul ki. Amikor a γ -ben a felületen a nitrogéntartalom eléri az oldhatósági határt ε -nitrid csírák jelennek meg, kialakul az állapotábra kapcsán már említett rétegszerkezet. A folyamatot a 4.64. ábra szemlélteti. A fázisok határan a koncentráció ugrásszerűen változik.



4.64. ábra

A nitridált réteg kialakulásának folyamata

A kiválási rétegben keletkező ötvöző nitridek alacsonyabb nitridálási hőmérsékleten kisebb méretűek és koherensen kapcsolódnak az α -fázishoz. A hőmérséklet növelésével a kiválások mérete nő és a koherencia fokozatosan megszűnik, majd koagulálnak. A nitridálás hőmérsékletéről való lehűtés sebességétől függ, hogy a tútelítetté váló szilárd oldatból létrejönnek-e kiválások a nitridálás befejező szakaszában. Mindez természetesen befolyásolja a kiválási réteg tulajdonságait.

A nitridált réteg fázisának keletkezése fajtérfoogat növekedéssel jár, emiatt abban nyomó maradó feszültség alakul ki, illetve méretnövekedéssel is számolni kell. Mindezt befolyásolja a mag esetleges megeresztődése is.

A nitridált réteg felépítéséből, a vékony vegyületi réteg létéből következik, hogy egy adott esetben a keménységmérés eredménye jelentősen függ az alkalmazott terhelőerőtől. Jellemző *HV* értékek 100 *N* terhelőerőnél:

- ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok: 450-600 *HV* 10,
- *CrMo* ötvöztetésű szerkezeti acélok: 700-750 *HV* 10,
- *CrAlMo* ötvöztetésű ún. nitridálható szerkezeti acél: 800-1100 *HV* 10.

A vegyületi réteg kialakulásával hozható kapcsolatba a kopásállóság növekedése a nitridálás eredményeként. Abrázív kopásnál a kopásállóság javulása szempontjából a felület keménysége a meghatározó. Ilyen szempontból tehát a kemény, porozításmentes vegyületi réteg az előnyös. A nitridálás javítja az adhéziós kopásállóságot is. Ha egy nitridált és egy nem kezelt felület mozdul el egymáson, akár nagy terhelés és kenés hiánya mellett is, a felületek a nitridréteg jelenléte miatt nem hegednek össze. Itt nem a keménység, hanem a kristályszerkezet a meghatározó, ami miatt az összehegedés nem tud létrejönni. A kompakt, pórusmentes vegyületi réteg javítja a korrózióállóságot.

A nitridálással javulnak a kifáradási tulajdonságok. Ezt a vegyületi réteg nem befolyásolja, az csupán a kiválási réteg jellemzőitől, mindenekelőtt méretétől, va-

lamint a nyomó maradó feszültségektől függ. Utóbbi annál nagyobb, minél több nitrid marad oldatban, azaz ha lehetőség szerint gyorsan hűl le az adag a nitridálás hőmérsékletéről. A kiválási réteg jellemzője továbbá a megnövelt melegszilárdság, ami szerszámoknál növelt formatartósságot, melegkopásállóságot és termikus kifáradási határt eredményez. A különböző típusú acéloknál elérhető tulajdonságváltozásokról a 4.11. táblázat ad összefoglaló áttekintést.

4.11. táblázat

Acéltípus	Tulajdonságváltozás				
	Kopásállóság	Kifáradási határ	Korrózióállóság	Melegkeménység	Éltartam
Nitridálható acél	↑	↑	↑	↑	-
Ötvözött hidegmegmunkáló acél	↑	-	↓	↑	↑
Betétedzésű acél	↑	↑	↑	↑	-
Nemesíthető acél	↑	↑	↑	↑	-
Korrózióálló acél	↑	↑	↓	-	-
Gyorsacél	↑	-	-	↑	↑
Melegmegmunkáló acél	↑	↑	↑	↑	↑
Általános rend. szerkezeti acél	↑	↑	↑	-	-
Szelepacél	↑	↑	(↑)	↑	-
Növelt szilárdságú hegeszthető szerkezeti acél	↑	↑	↑	↑	-

A nitridálással elérhető tulajdonságváltozások különböző típusú acéloknál

4.5.1.2. A nitridálás technológiája

Az előzőekből következően a nitridálást széles körben alkalmazzák alkatrészek és szerszámok élettartamának növelésére. Mint viszonylag alacsony hőmérsékleten végzett, minimális deformációval járó kezelés, eleget tesz az energiatakarékosságot és a költségkímélő gyártás követelményeinek is. Félreértésre adhat okot ugyanakkor az, hogy létezik a „Nitridálható acél” megnevezésű szabvány. Itt azonban min-dössze arról van szó, hogy a nitridképző elemekkel (*Al*, *Cr*, *Mo*) ötvözött, ezért

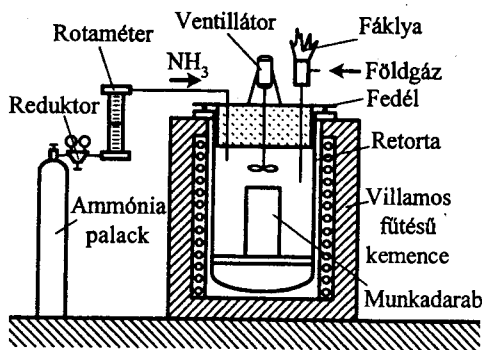
nagy réteg keménység elérésére alkalmas nemesíthető acélokat foglalták külön szabványba. A nitridálás alkalmazása az acéloknál ettől függetlenül igen széleskörű. Bizonyos korlátozások adódnak a megeresztési elridegedésre hajlamos nemesíthető acéloknál: mivel a nitridálás hőmérsékletköze a megeresztési elridegedés tartományába esik, ezek az acélok a nitridálás során elridegednek.

A nitridálás alkalmazásakor a műveleti sorrend a következő:

- nagyolás,
- magtulajdonságot biztosító hőkezelés (alkatrészeknél nemesítés, esetleg normalizálás),
- készremunkálás,
- mosás, zsirtalanítás,
- a nitridálni nem kívánt felületek bevonása (kereskedelmi forgalomban beszerezhető) védőfestékkel,
- nitridálás.

Bonyolult geometriájú, kényes alkatrészeknél a készre köszörülés előtt ajánlatos feszültségcsökkentő hőkezelést beiktatni. A nitridálási méretnövekedés oldalanként átlagosan 0,02 mm-nek vehető. Pontos illesztéseknél legalább 5-10 db-ból álló mintán elvégzett kezeléssel a méretnövekedést pontosan ki kell mérni és, ennek alapján kell előírni a csökkentett ún. technológiai méreteket. Az utólag szükségessé váló köszörüléssel a nitridált réteget távolítjuk el.

A reakcióközeg halmazállapota szerint szilárdközegű, sófürdős és gáznitridálás különböztethető meg. Egy további korszerű eljárás az ion- vagy plazmanitridálás.



4.65. ábra

A gáznitridálás elvi elrendezése

A klasszikus, ammóniában végzett gáznitridálás az 1920-as évektől terjedt el az iparban. A hagyományos gáznitridálás elvi elrendezése a 4.65. ábrán látható.

A később megjelent sófürdős, illetve szilárdközegű kezelésnél tulajdonképpen nitrogén és karbon egyidejű ötvözéséről van szó, ezek tehát ténylegesen karbonitridáló eljárások. A szilárd köze-
gű eljárás nem tett szert számottevő gyakorlati

jelentőségre nyilvánvaló hátrányai miatt. A sófürdős eljárás az 1960-as években terjedt el és vált hazai viszonylatban is népszerűvé. Az eljárással elérhető előnyök (rövid kezelési idő, kedvező tulajdonságok) mellett azonban komoly hátrányok is jelentkeztek. Ezek elsősorban az alkalmazott nátriumciamid-nátriumcianát összetételű sófürdővel voltak kapcsolatosak. Az ilyen sófürdő nagyon mérgező, ami miatt a környezetvédelmi követelmények kielégítésére költséges berendezéseket kell alkalmazni és maga a kezelés is veszélyes művelet. Időközben az eljárás elő-

nyeit biztosító, de a sófürdő hátrányait kiküszöbölő gázközegű eljárásokat is kidolgoztak, így ez a sófürdős eljárás kiszorult a gyakorlatból.

A kifejlesztett újabb sófürdők (TENIFER-TF1, MELONITE) ugyan már jóval kedvezőbb tulajdonságúak, de bizonyos hátrányok ezeknél is fennállnak. Bár a bázissó és az ún. regeneráló só nem mérgezőek, az üzemi sóoldatokban az acélfelületi reakciók során mindig keletkezik 1-5% cianid. Emiatt a nitridálás után semlegesítő hűtőfürdőt kell használni, aminek köszönhetően a mosóvíz már nem mérgező. A pH értéke miatt azonban csak közömbösítés után eresztendő a csatornába.

Az előzőek miatt, ma alapvetően a gázközegű eljárások és az ionitridálás képezi a nitridálás technológiai palettáját. Ezek az eljárások nem környezet-szennyezők és jól szabályozhatók.

A nitrogént a retortába vezetett ammónia az alábbi reakció szerinti elbomlása szolgáltatja:

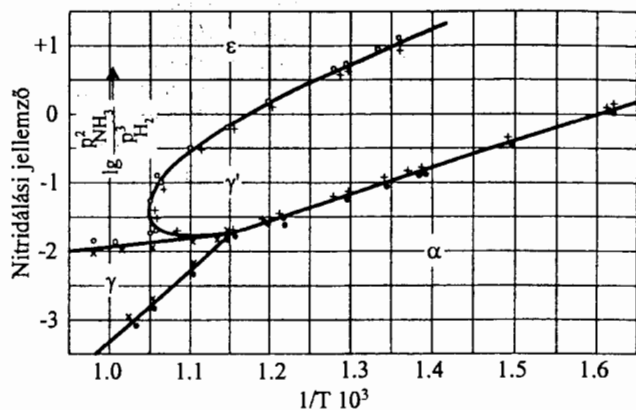


Az ammóniát palackban folyékony állapotban tárolják. Az elpárolgó ammóniát nyomáscsökkentőn és rotométeren keresztül vezetik a hőálló acélból készült retortába. Az ammónia elbomlásakor a munkadarabok fémfelülete katalizátorként hat. Mivel a nitrogén atomos állapota nem stabil, rövid idő alatt N_2 molekulák képződnek, a folyamatos nitrogénkinálat fenntartása érdekében állandó gázáramlást kell biztosítani, valamint kis túlnyomást tartanak fenn a retortában. A kemencéből távozó gázkeverék éghető komponenseit földgáz hozzákeverésével elégetik. A gyakorlatban többféle kemencetípusban nitridálnak, általános célokra kedvelt az aknás retortás kemence.

A felületen képződő fázis szempontjából az alábbi ún. nitridálási jellemző a lényeges:

$$K_N = \frac{P_{NH_3}}{P_{H_2}^{3/2}} \quad (4.18)$$

Színvasnál a Lehrer diagram mutatja az összefüggést a nitridálási jellemző és egyensúly esetén a felületen kialakuló fázisok között.



4.66. ábra

Összefüggés a nitridálási jellemző, a hőmérséklet és a színvas felületén képződő fázisok között (Lehrer diagram)

A vegyületi réteg kialakulását követően a rétegnövekedést a diffúzió irányítja ezért a folyamatot állandó hőmérsékleten a parabolikus időtörvény írja le:

$$h = k\sqrt{t} \quad (4.19)$$

ahol: k az alapanyagra jellemző, hőmérséklettől függő érték,
 t a nitridálási idő, óra
 h rétegvastagság, mm.

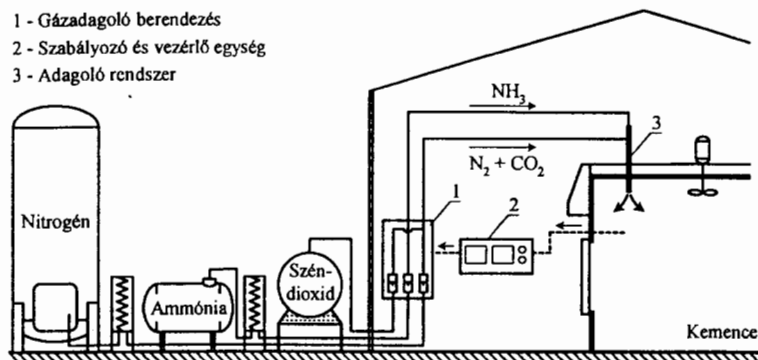
A gyengén ötvözött nemesíthető szerkezeti acéloknál az átlagos 0,4 mm-es réteg eléréséhez kb. 48 óra nitridálási idő szükséges.

A nitridálás hőmérsékletét az előírt rétegjellemzők, mechanikai tulajdonságok, anyagminőség, előzetes hőkezelés stb. alapján kell megválasztani. Az előzetes nemesítés megeresztési hőmérséklete legalább 30°C-kal legyen magasabb a nitridálási hőmérsékletnél.

A már említett sófürdős hőkezelésnek jelentős hátrányai mellett kétségtelenül vonzó jellemzője volt, hogy az az alkatrészek széles körén alkalmazhatóan, rövid kezelési idővel (1,5-4 óra) lehet előállítani a kopásállóság és a kifáradási határ javulását eredményező réteget. Érthető volt a törekvés, hogy a sófürdő hátrányait mellőzve, ezen előnyöket biztosító gáznitridáló eljárásokat fejlesszenek ki. Különböző gázadalekok alkalmazásával, különféle cégelnevezéssel (Nitroc, Nikotrlás, Deganit, Carbomix), számos ún. „gyorsnitridáló” eljárás jött létre.

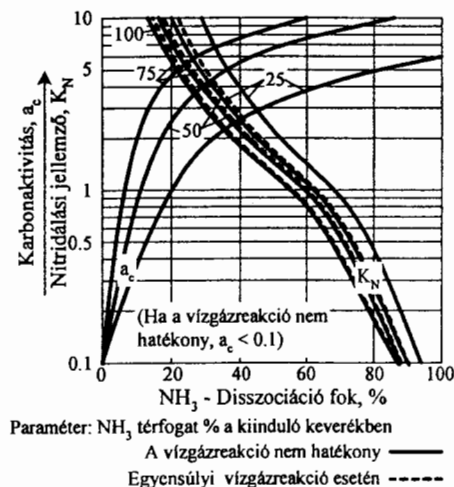
A különféle gázadalekok azonos célt szolgálnak: egyrészt a kívánt minőségű és összetételű vegyületi réteg létrehozása a felületen (a felsorolt eljárásoknál ϵ -karbonitrid), másrészt a nitridálási részfolyamatok befolyásolásával a folyamat gyorsítása.

Az adalékgázok származhatnak generátorból (endogáz, exogáz), de palackból is nyerhetők. Ez utóbbi valósul meg a LINDE-CARBOMIX karbonitridáló eljárásnál. Az eljárás elvi vázlata a 4.67. ábrán látható.



4.67. ábra

A LINDE-CARBOMIX eljárás elvi vázlata



4.68. ábra

Az $NH_3 + (14\% CO_2 + 86\% N_2)$ karbonitridáló gázkeverék nitridálási jellemzője és karbonaktivitása

A kemencébe az ammónia mellett CO_2 és N_2 gázt is adagolnak. A $H_2 + CO_2 \rightleftharpoons H_2O + CO$ homogén vízgázreakció hatására a 4.68. ábra szerint megnő a nitridálási jellemző és a karbonaktivitás, ami az ϵ -karbonitrid képződésének kedvez, és azt gyorsítja.

A folyamat optimalizálását számítógépes szabályozó egység biztosítja.

Az ionnitridáló berendezés elvi vázlata a 4.69. ábrán látható.

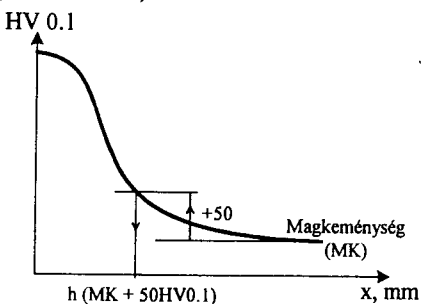
A nitridálás folyamata leegyszerűsítve a következő: a gáz a felület közelében ionizálódik, a pozitív nitrogén ionok becsapódnak a felületre; vas atomok válnak le és nitrideket képeznek; a nitridek lecsapódnak a felületen, elbomlanak, a nitrogén diffundál.

A technológiai paraméterek (hőmérséklet, idő, gázkeverék, áramerősség, feszültség) változtatásával változatos szerkezetű rétegek hozhatók létre. Külön fűtésre – mivel az ionok becsapódása a felületet felmelegíti – elvileg nincs szükség, bár az újabb berendezéseknél ezt előnyösnek találták. Teljesen automatizált, változatos kivitelű és méretű berendezéseket gyártanak.

A nitridált darabok minőségellenőrzésénél a felületi keménységet, a rétegvastagságot, illetve a felületi állapotot kell vizsgálni.

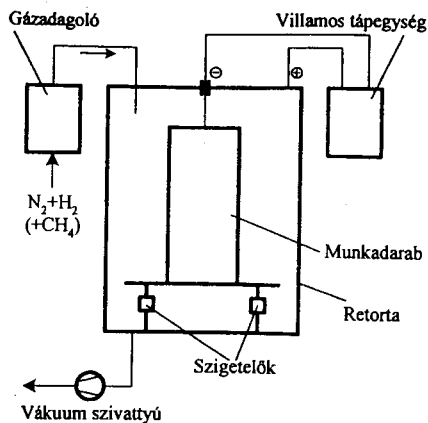
Az előírt terhelőerővel a keménység a darab alkalmas felületén rendszerint közvetlenül ellenőrizhető.

A rétegvastagság ellenőrzéséhez azonos anyagú és hőkezelt ségű próbatestet kell az adaggal együtt nitridálni. A nitridált próbatestet el kell vágni, majd a felület mellé vörösréz lemezt helyezve befogóba kell fogni és meg kell csiszolni és polírozni. Ezt követően *Vickers* eljárással $1 N$ terhelőerővel a felülettől mért távolság függvényében keménységet kell mérni, amíg a magkeménységnek (MK) megfelelően három egyforma érték nem adódik. A h -val jelölt rétegvastagságot a 4.70. ábra szerint szokás értelmezni, illetve kijelölni. A rétegvastagság megadása: $h(MK+50HV0,1)$ mm.



4.70. ábra

A nitridálási mélység megállapítása a keménységváltozási görbéből



4.69. ábra

Az ionnitridáló berendezés elvi vázlata

A kemencében gázáramban lehűlt nitridált darab felülete matt, ezüstszerű. Ha a kemencébe levegő jut, vagy ha a kemencét a darabok lehűlése előtt kinyitják, a felület oxidálódik, elszíneződik. Bár ennek műszaki hátránya nincs, esztétikai okokból ez nem kívánatos lehet.

A 4.12. táblázatban javaslatok találhatók az igénybevétel szerinti rétegekre alkatrészek nitridálásánál.

4.12. táblázat

Igénybevétel (példák)	Javasolt rétegtípus és vastagság		Alkatrész (példák)
	Vegyületi réteg, VR, μm	Rétegvastagság, h , mm	
Atmoszférikus korrózió, csúszókopás kis felületi nyomással	$\epsilon+\gamma'$ VR ≤ 10	Nincs jelentősége	Dugattyúrúd, henger, dob, vízszivattyú elemek, orsó.
Csúszókopás kis felületi nyomással	$\epsilon+\gamma'$ VR ≤ 20	$h\leq 0,5$	Tengely, kulissza, dugattyú, persely, dob.
Csúszókopás közepes felületi nyomással	$\epsilon+\gamma'$ VR ≤ 15	$h\leq 0,5$	Csúszósín, csiga, csavar-kerék, tányérkerék, kúpkeverék, menetes orsó.
Gördülőkopás nagy felületi nyomással	γ' VR ≤ 10	$h>0,5$	Nagyterhelésű fogaskerék
Közepes fárasztóigénybevétel, kopás	$\epsilon+\gamma'$ VR ≤ 15 γ' VR ≤ 10	$h\leq 0,5$ $h\leq 0,5$	Csiga, vezértengely, hajtórúd, forgattyútengely, féltengely, homlok- és kúp-fogaskerék
Nagy fárasztó és dinamikus igénybevétel, kopás	γ' VR ≤ 10 VR nélkül	$h>0,5$ $h>0,5$	Nehéz alkatrészek, fogaskerék, forgattyútengely

Javaslatok igénybevétel szerinti rétegekre alkatrészek nitridálásánál

4.5.2. Betétedzés

A betétedzés a legrégebb idő óta alkalmazott termokémiai kezelés, a régészeti leletek tanúsága szerint már az ókorban is ismerték és alkalmazták. Korszerű eljárásai fontos szerepet töltenek be a gépgyártásban, a kezelt anyag tömege alapján az első helyen áll a termokémiai kezelések között.

A szívós maggal és kemény, kopásálló, nagyszilárdságú kéreggel rendelkező alkatrész előállításánál itt a karbonnak a martenzit mechanikai tulajdonságait befolyásoló hatását használják ki. A felhasznált acél jellemzően kis karbontartalmú ($\sim 0,1-0,25\% C$), így az edzett magrészt szívós lesz. A felületi réteget a cementálásnak nevezett művelet során $0,7-0,9\% C$ tartalomra feldúsítva ez a felületi réteg a cementálást követő edzéskor keményre edződik. A betétedzésű szerkezetű acélok az előzőekből következően külön szabványban, az *MSZ EN 10084*-ben találhatók. Természetesen ezek az acélok sem nélkülözhetik az átédzhetőséget és mechanikai tulajdonságokat javító ötvözőelemeket. Részletes ismertetésünket az *Anyagismeret c.* tárgy tartalmazza.

4.5.2.1. A betétedzés technológiája

A betétedzés – szemben a nitridálással – két lépéses, cementálásból és edzésből álló hőkezelés. Ebből adódóan a hőkezelés során nagyobb deformáció lép fel, a kezelés után a darabot még általában köszörüléssel kell készremunkálni. A rétegvastagság ugyanakkor általában nagyobb, mint a nitridálásnál szokásos. A betétedzés alkalmazásának legnagyobb területe a hajtómű fogaskerék gyártás.

A cementálásra a darabokat köszörülési ráhagyással kell megmunkálni, majd mosás-zsírtalanítás következik. A cementálni nem kívánt felületeket legcélszerűbb – a nitridáláshoz hasonlóan – a kereskedelmi forgalomban beszerezhető védőpasztával bevonni. Ennek hiányában a rétegvastagságnak megfelelő ráhagyás is alkalmazható, amit a cementálást követően le kell munkálni.

A cementálást az ausztenitmezőben 900-930°C-os hőmérsékleten kell végezni. Az eljárások csoportosítása itt is a reakcióközeg halmazállapota szerint történhet: sófürdős, szilárd közegű és gázcementálást szokás megkülönböztetni. Hasonlóan a nitridáláshoz, végezhető még plazma, vagy ion cementálás is.

A sófürdős eljárásnál azonos típusú cianidok használhatók mint nitridálásnál, csak az összetételt a cementáló hatás fokozásának megfelelően kell módosítani. A karbon felvétel mellett nitrogén ötvözés is végbemegy, tehát ilyenkor tulajdonképpen nitrocementálásról van szó. E sófürdők hátrányai ugyanazok, mint amit már a nitridálásnál említettünk, illetve nagyobb méretű és sorozatú darabok hőkezelésére eleve alkalmatlanok.

A szilárd közegű cementálásnál a darabokat az alakhoz igazodóan elkészített dobozokba helyezik, cementálószerbe ágyazva. A doboz falánál, a darabok között és a felső részen kb. 40-50 mm-es cementálószer réteget kell hagyni. A dobozt jól illeszkedő fedéllel le kell zárni, majd a széleket agyaggal le kell tapasztani. A cementálószer szemcseformájú faszénből áll, amire kötőanyaggal, ún. aktivátorként, bárium- és kalciumkarbonátot visznek fel. A báriumkarbonát például a cementálási folyamatot, nagyobb hőmérsékleten disszociálva, a következők szerint segíti elő, aktiválja:



Alacsonyabb hőmérsékleten a folyamat visszafelé játszódik le, a szer regenerálódik, többször felhasználható. A további reakciók:

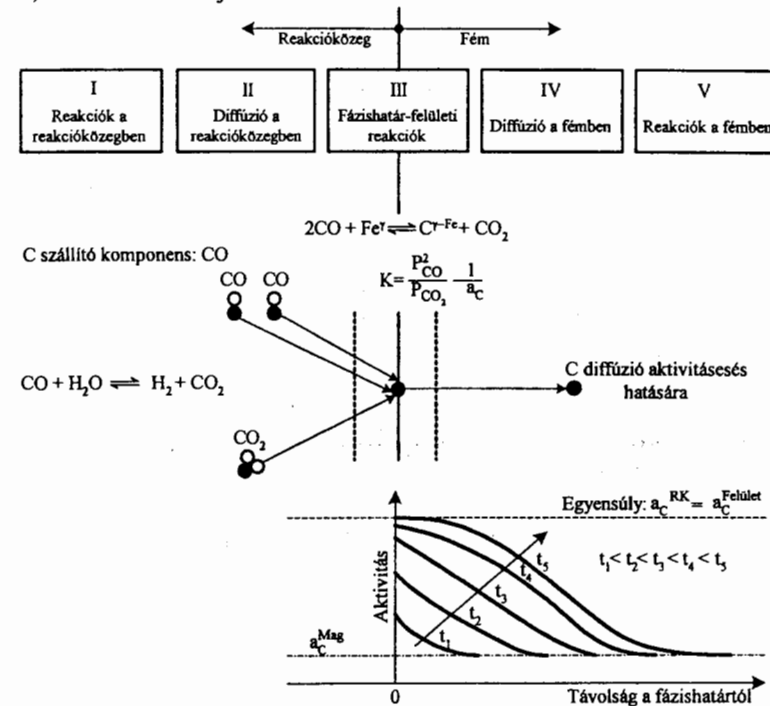


A szilárd cementálószernek az MSZ 2136 szerinti minőségekben kereskedelmi forgalomban beszerezhetők. Ötvözetlen betétedzésű acélokhoz 1 mm rétegvastagságig a nagyobb BaCO_3 tartalmú szert kell használni. Ötvözött betétedzésű acéloknál 0,6 mm feletti rétegvastagságnál és ötvözetlen acéloknál vastag kéreghez az alacsonyabb BaCO_3 tartalmú szerek előnyösebbek. Ha ötvözött acélon vastag kéreg kell létrehozni, a CaCO_3 tartalmú szemcse a legalkalmasabb, mert a CaCO_3 megátolja a túlcementálódást. A hőtartási idő az előírt rétegvastagság függvénye,

durván óránként 0,1 mm-es rétegnövekedéssel lehet számolni. Az adag dobozzal együtt hűl le, ezt követően lehet kibontani.

A szilárd közegű eljárás körülményes, környezetszennyező, a folyamat nem szabályozható ezért nem korszerű. De mivel egyszerűen végrehajtható, nem nagy darabszám esetén, korszerűbb eljárás hozzáférhetőségének hiányában, megőrizte gyakorlati jelentőségét.

A cementálás korszerű és széles körben alkalmazott technológiája a gázcementálás. Az anyagátvitel folyamatát, a 4.1.5 pontban említett részfolyamatok szerint, a 4.71. ábra mutatja.



4.71. ábra

Az anyagátvitel folyamata cementálásnál

Az ún. tömegáram, azaz időegységben felületegységként a felületbe belépő karbon mennyisége a gáz reakcióközeg és az acél karbonaktivitásának különbségével arányos:

$$m = \beta (a_{\text{C}}^{\text{G}} - a_{\text{C}}) \quad (4.23)$$

A képletben:

- β karbonátmeneti szám
- a_{C}^{G} karbonaktivitás a gázban,
- a_{C} karbonaktivitás az acélban.

A karbonátmeneti szám az anyagátvitel kinetikáját jellemzi (analóg mint a hőátvitelnél a hőátadási tényező) és a gázösszetétel által meghatározott. A karbonaktivitást az acélban a karbontartalom, az ötvözőtartalom és hőmérséklet szabja meg:

$$a_c = f(C, \% ; \text{ötvöző}, \% ; T, ^\circ\text{C}). \quad (4.24)$$

Az ötvözők két csoportba sorolhatók aszerint, hogy a karbonaktivitást növelik vagy csökkentik:

- a karbonaktivitás-növelő ötvözők: *Ni, Si, B, Co, N,*
- a karbonaktivitás-csökkentő ötvözők: *Cr, Mo, Mn, W, Ti, V.*

Az előzőkből következik az a technológia szempontjából fontos tény, hogy adott karbonaktivitású gázatmoszférában különféle összetételű acélokat cementálva eltérő lesz a felületi karbontartalom. A *Ni* ötvöztetésű acéloké kisebb, a *Cr, CrMn, CrMo* ötvöztetésű acéloké nagyobb. Azonos eredmény eléréséhez egy adagban csak azonos minőségű acélokat lehet hőkezelné, illetve a minőség változtatásával az atmoszférát is módosítani kell.

Számos gázcementáló eljárás ismeretes. Az atmoszférikus nyomáson (kis túlnyomáson) végzett eljárások két csoportba sorolhatók:

1. Külön bontással létrehozott atmoszférák:

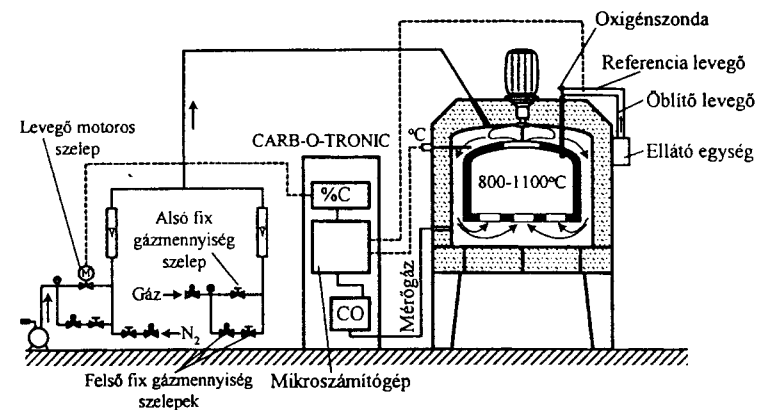
- a kemence mellé telepített vagy központi endogenerátorral,
- kemencével egybeépített vagy sugárzócsőként kialakított retortában,
- külön metanol bontóban.

2. Közvetlenül a kemencében előállított atmoszférák:

- földgáz (propán)/ levegő bevezetésével,
- N_2 /metanol befúvással,
- N_2/C_2H_6 bevezetéssel,
- folyadék (alkohol stb.)/ levegő elgázosítással,
- 2 folyadék (metanol/etilacetát stb.) becsépegtetésével.

Az 1973-as olajválságot követően a szénhidrogén árak megnövekedése miatt jelentősen megrágultak a generátoros atmoszférák, így a cementáláshoz elterjedten használt endogáz is. Ugyanakkor az LD acélgártó eljárás elterjedése miatt a piacon nagy mennyiségben állt rendelkezésre nagytisztaságú nitrogén. Emellett jelentősen fejlődött a mérés és szabályozástechnika is. Mindez a költségek csökkentését lehetővé tevő közvetlen atmoszféra előállító eljárások elterjedéséhez vezetett, amelyek közül az alábbi kettő érdemel külön figyelmet.

A szénhidrogén/levegő gázok bevezetésével végzett közvetlen atmoszféra előállítás elvi vázlatát a 4.72. ábra mutatja.



4.72. ábra

A szénhidrogén/levegő bevezetéssel végzett közvetlen atmoszféra előállítás vázlat (IPSEN-SUPERCARB)

A felületi széntartalmat az ún. *karbonpotenciál* alapján szabályozzák. Ez az a karbontartalom, amely a cementáló atmoszférában egyensúly esetén a színvasban beáll. Közvetlenül a kemencébe helyezett színvas fólia vegyelemzésével, az ún. fóliapróbával ellenőrizhető. Ez a módszer szabályozásra nem alkalmas. Adott esetben a karbonpotenciált egy mikroszámítógép az ún. oxigénszonda, a termoelem és a *CO* elemző adataiból folyamatosan számítja. A beállított és számított érték eltérése alapján a szabályozó a levegő ágba beépített motoros szelep segítségével avatkozik be.

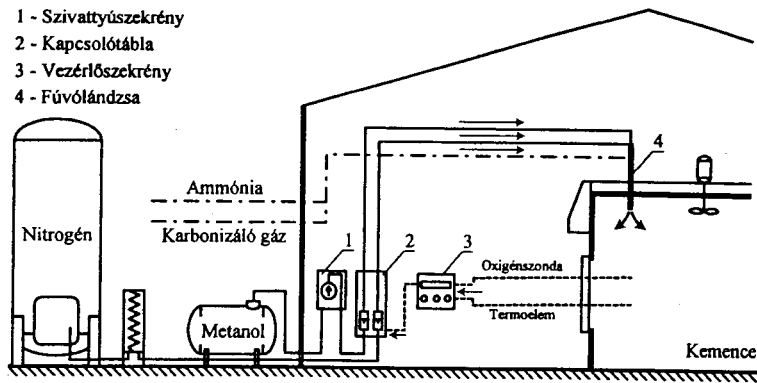
Az N_2 /metanol eljárásnál a kemencébe vezetett metanol 700°C felett a $CH_3OH \rightarrow CO + 2H_2$ egyenlet szerint elbomlik és az így keletkezett gázok 2 rész nitrogénnel a korábban generátorban előállított endogázhoz hasonló összetételű atmoszférát hoznak létre. Ehhez aztán cementáláshoz, illetve nitrocementálásoz a szükséges mennyiségű propánt illetve ammóniát adagolnak.

A berendezés a 4.73. ábrán látható nitrogén tartályból és párologtatóból, propán és ammónia tartályból és metanol tároló és adagoló rendszerből áll.

A berendezéshez tartozik még egy befúvató lándzsa, amellyel a metanolt a nitrogén segítségével elporlasztják és a kemencébe juttatják, valamint egy szabályozó berendezés. Az eljárással gazdaságosan oldható meg cementálásra alkalmas kemencék pótlólagos gázellátása vagy a gázellátó rendszer rekonstrukciója. Az atmoszféra szabályozás a már említett oxigénszondával oldható meg.

Az oxigénszonda az 1970-es évekből terjedt el és lépett a korábbi harmatpont majd CO_2 elemzésre támaszkodó atmoszféraszabályozás helyébe, mint számos előnnyel rendelkező korszerű mérőeszköz. Kinézetre a kerámia védőcsővel ellátott termoelemre hasonlít. Segítségével az atmoszféra oxigén parciális nyomása határozható meg.

- 1 - Szivattyúszekrény
- 2 - Kapcsolótábla
- 3 - Vezérlőszekrény
- 4 - Fűvólándsza



4.73. ábra

A nitrogén-metanol közvetlen atmoszféra előállító berendezés vázlata (LINDE-CARBOTHAN)

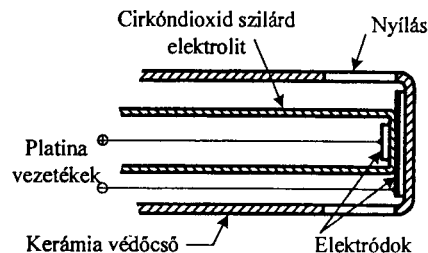
A szabályozás alapjául szolgáló reakcióegyenlet illetve egyensúlyi állandó az alábbi:



$$K = \frac{p_{CO}}{a_c \cdot p_{O_2}^{1/2}} = f(T). \quad (4.26)$$

Az egyensúlyi állandó képletéből megállapíthatóan, ha a CO tartalom állandónak vehető (CARBOTHAN eljárás) az oxigénszonda önmagában elegendő a szabályozáshoz, ha viszont a CO tartalom nem tekinthető állandónak, járulékosan CO elemzőre és mikroszámítógépre van szükség (SUPERCARB eljárás).

Az oxigénszonda szerkezetét a 4.74. ábra mutatja.



4.74. ábra

Az oxigénszonda szerkezeti vázlata

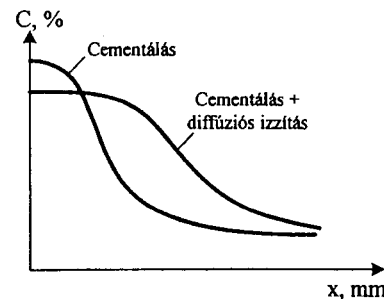
Az oxigénszondát a termoelemhez hasonlóan építik be a kemencébe, benyúlik a munkatérbe. A védőcsőn lévő nyíláson keresztül a cirkondioxid szilárd elektrolit – végén zárt – cső külső oldala a kemence-atmoszférával érintkezik. A belső oldalon a levegő mint referenciagáz szerepel, amit egy szivattyú állandóan felújít. A

cirkondioxid csak az oxigént ereszt át, ionok formájában. A nagy oxigén parciális nyomású, levegővel érintkező belső oldal felől oxigén ionok irányított áramlása

jön létre az alacsony parciális nyomású, kemenceatmoszférával érintkező külső oldal felé. Az ionos állapot miatt elektronáramlás is létrejön az elektroliton, ami miatt feszültségesés lép fel. Ez *Nerst* szerint az alábbi képlettel számítható:

$$U = 0,0496 \cdot T \cdot \lg \frac{p_{O_2}}{p_{O_2}^0}, \text{ mV}. \quad (4.27)$$

Itt: T, K hőmérséklet,
 $p_{O_2}, \text{ bar}$ oxigén parciális nyomás a kemencében,
 $p_{O_2}^0, \text{ bar}$ oxigén parciális nyomás a levegőben.



4.75. ábra

A karbonkoncentráció alakulása a kétlépcsős cementálás során

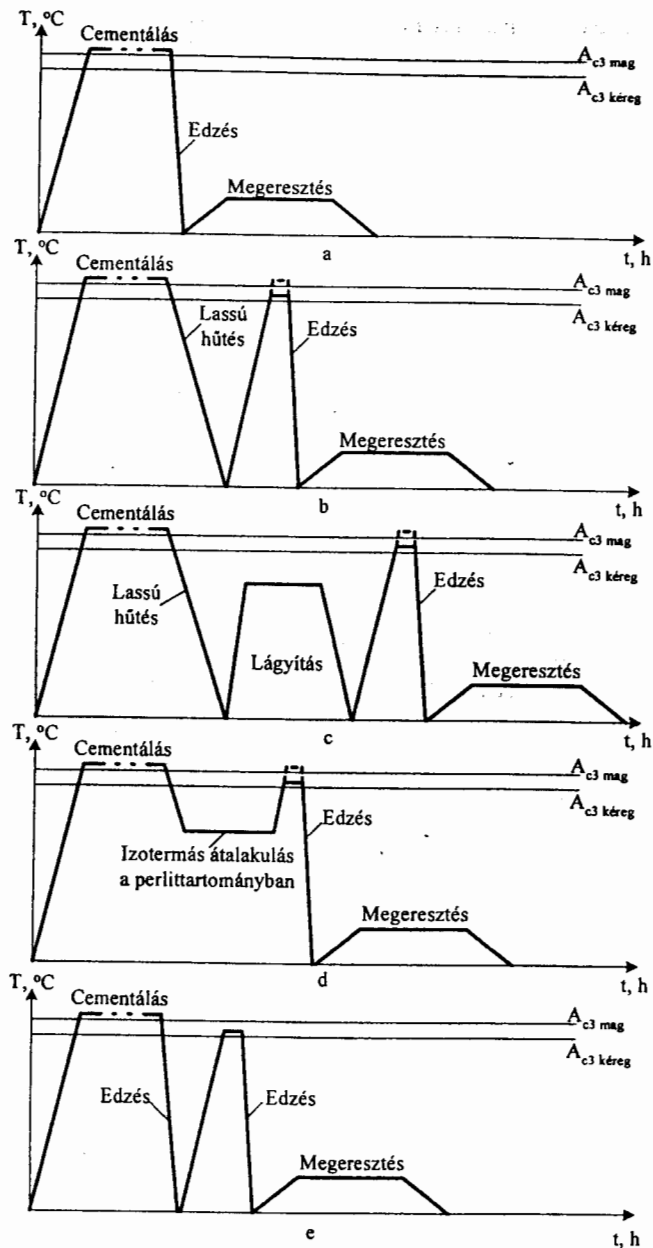
A feszültség platina érintkezőkről vezethető el és a (3.26.) egyenlet szerint mérőszámot szolgáltat a karbonaktivitásra és ezen keresztül a karbonpotenciálra.

A cementálást gyakran ún. kétlépcsős eljárással valósítják meg. Ezzel gyorsítható a folyamat és kedvezőbb karbonkoncentráció eloszlás érhető el. A karbonkoncentráció alakulását a 4.75. ábra mutatja. Első lépcsőben túlkarbonizálnak, majd az ezt követő diffúziós lépcsőben beállítják a kívánt felületi

karbontartalmat. A kialakuló kezdeti lapos lefutási görbének köszönhetően a felületi keménység még köszörülés után is megfelelő marad.

A cementálást követő edzés a 4.76. ábra hőmérséklet-idő diagramjai szerint végezhető el. A 4.76. ábra a) részén szereplő közvetlen edzésnél a cementálás során eldurvult szemcsézet nem finomodik a mechanikai tulajdonságok kedvezőtlenek. Eredményes alkalmazása ún. finomszemcsés acélok használatát feltételezi, amelyek a cementálás során nem hajlamosak szemcsedurvulásra. Az edzés előtti visszahűtés csökkenti az edzési deformációt és a maradék ausztenit tartalmat.

A 4.76. ábra b) változatánál az adagot lehűtik, az esetleg szükséges megmunkálások ezt követően elvégezhetők. Erősebben ötvözött minőségeknél, ha szükséges ezt megelőzően a 4.76. ábra c) részlete szerint lágyítást is be lehet iktatni. Az edzést rendszerint a kéreg edzési hőmérsékletéről végzik az optimális kéreg tulajdonságok biztosítása érdekében. A mag edzési hőmérsékletéről végzett edzések a mag szövete teljesen átkristályosodik, ami szükség esetén jobb magtulajdonságokat biztosít és az esetleg képződött szekunder cementit kiválás is oldatba vihető. A kéreg tulajdonságai viszont ilyenkor kedvezőtlenebbek. A 4.76. ábra d) részlete szerinti kezelés erősebben ötvözött betétedzésű acéloknál alkalmazható, amelyek a cementálást követő lehűtésnél feszültségi repedésre hajlamosak.



4.76. ábra

A cementálást követő hőkezelések hőmérséklet-idő diagramjai

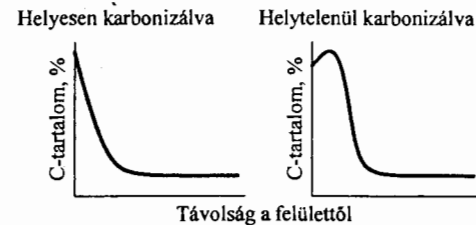
A 4.76. ábra e) része ún. kettős edzést mutat, amelyet azonban a nagy deformáció miatt ritkán alkalmaznak. A hőkezelés befejező művelete minden esetben a 180-200°C-on elvégzett megeresztés.

A betétedzett darabnál a kifáradási határ növelésében jelentős szerepe van a nyomó maradó feszültség kialakulásának a kéregben. Ennek feltétele, hogy az M_S

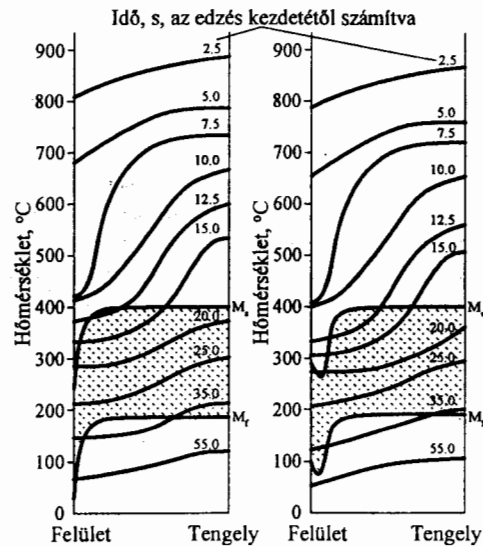
hőmérsékletnek

a karbonkoncentráció változással összefüggő alakulásának megfelelően, amint azt a 4.77. ábra a) része szemlélteti, az átalakulás a felület alatt kezdődjön és a felületen érjen véget. Ha a felület dekarbonizálódik a 4.77. ábra b) része szerinti kedvezőtlen viszonyok alakulnak ki. Ilyenkor az átalakulás a felületen is megindul és a felület alatt ér véget.

A betétedzett darabok ellenőrzésénél a felületi keménységet, a rétegvastagságot és a mag szilárdsági jellemzőit írják elő. A felületi keménység a kész darabon rendszerint Rockwell eljárással közvetlenül ellenőrizhető. Fogaskerekekénél pl. a szokásos előírás: 58 ± 2 HRC. A rétegvastagság edzett próbatest, vagy darab felhasználásával, felületre merőleges metszeten vizsgálható. A megfelelően előkészített felületen a felülettől mért távolság függvényében 10 N terhelőerővel Vickers keménységet kell mérni. A

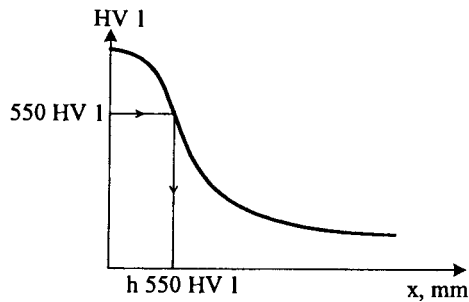


Távolság a felülettől



4.77. ábra

A karbonkoncentráció alakulásának hatása a felületi réteg átalakulási folyamatára a megrajzolt diagramon a 4.78. ábra szerint a választott határkeménység alapján kell a rétegvastagságot meghatározni. A határkeménység egyéb megállapodás hiányában 550 HV 1. Az eredmény megadásánál a határkeménységet fel kell tüntetni, pl.: $h=1,2$ mm 550 HV 1.



4.78. ábra

A betétedzett rétegvastagság meghatározása

A mag szilárdsága egyszerűbb esetben keménység-méréssel, igényesebb esetben szakító és ütőpróbatestekkel ellenőrizhető.

Egyidejű karbon és nitrogén ötvözés valósítható meg a nitrocementálással, amelynél ammóniát adagolnak a cementáló gázhoz. A nitrocementálás alacsonyabb hőmérsékleten végezhető, mint a cementálás, így közvetlen edzés végezhető. Kiseb-

sebbek lesznek az edzési deformációk, kedvezőbbek a mechanikai tulajdonságok és mindehhez kisebb költségek társulnak.

A nitridálásnál ismertetett elrendezéssel plazma, vagy ion cementálás is végezhető, bár elterjedtsége még nem jelentős. A cementálásra ilyenkor szénhidrogént alkalmaznak és minden esetben járulékos hőforrásra is szükség van.

A betétedzés és nitridálás újabban alkalmazott érdekes kombinációja a duplex kezelés. A technológiához nitridképzőkkel ötvözött kiválóan keményedő betétedzésű acélok használata. Ezeket az acélokat 500-600°C között eresztik meg, így a megeresztési hőmérséklet alatti hőmérsékleten végzett nitridálás a szilárdságot nem befolyásolja. A technológiát fogaskerekekénél alkalmazva, a cementálás, edzés, nitridálás művelet sor eredményeként kapott kedvezőbb kifáradási jellemzők a korszerű hajtóműveknél megkövetelt, nagyobb üzemi hőmérsékletet engednek meg. A nitridált réteg berágódási hajlamot csökkentő hatásának köszönhetően az ilyen fogaskerekek bizonyos ideig kenés nélkül is üzemképesek maradnak, ami igen előnyös, ha a hajtóműnek ún. olajvesztési tartalékkal is rendelkeznie kell (pl. katonai helikoptereknél).

IRODALOMJEGYZÉK

Felhasznált és ajánlott irodalom a *Képlékenyalakítás* című fejezethez

1. Billigmann, K.; Feldman, D.: Sajtolás, zömftés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
2. Dévényi, L.; Geleji, S.; Kiss E.; Széki, P.: Az acél képlékeny alakítása, Vaskohászati enciklopédia XII/1. kötet, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1964.
3. Gál, G.; Kiss, A.; Sárvári, J.; Tisza, M.: Képlékeny hidegalakítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1994.
4. Gillemot, L.; Ziaja, Gy.: Fémek képlékeny alakítása, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
5. Kiss, E.; Voith, M.: Kohógéptan, Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
6. Kiss, E.: Képlékeny alakítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1997.
7. Lange, K.: Gesenkschmieden von Stohl Spriliger Verlag, 1958.
8. Lange, K.: Lehrbuch der Unformtechnik 1-3. Spriliger Verlag, 1974-75.
9. Mielnik, E.: Metalworking: Science and Engineering, McGraw-Hill Inc. New York, 1991.
10. Oehler, G.; Kaiser, : Vágó-, húzó és sajtolószerszámok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest,
11. Osman, M.: Képlékeny hidegalakítás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
12. Pöhm Gy.: Alkatrészgyártás acéllemezből, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
13. Thomsen, E.; Yang, C.; Kobayashi, S.: Mechanics of Plastic Deformation of Metals, MacMillan Publ. Co. London, 1965.
14. Voith, M.: A képlékenyalakítás elmélete, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1998.

Felhasznált és ajánlott irodalom az *Elsődleges alakadó technológiák* című fejezethez

1. Crawford, R.: Plastic Engineering, Pergamon Press, Oxford, 1987.
2. Dénes, M.; Romvári, P.: Anyagismeret és technológia I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1980.
3. Schwarz, E.; Ebeling, K.; Lüpke, F.; Schelter, M.: Műanyagfeldolgozás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
4. Sors, I.; Bardócz, M.; Radnóti, I.: Műanyagalakító szerszámok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
5. Gál, I.; Kocsisné, M. B.; Lenkeyné, B. Gy.; Lukács, J.; Marosné, B. M.; Nagy, Gy.; Tisza, M.: Anyagvizsgálat, Miskolci egyetemi Kiadó, Miskolc, 2001.
6. Varga, I.: Öntészeti kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.

Felhasznált és ajánlott irodalom a *Hegesztés* című fejezethez

1. Balogh, A.: Hegesztett szerkezetek, Miskolci Egyetem Továbbképző Intézete, 2002.
2. Balogh, A.: Ömlesztő hegesztések, Miskolci Egyetem Továbbképző Intézete, 2001.
3. Baránszki, J. I.: Hegesztési kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
4. Beckert, I.; Neumann, G.: A hegesztés alapismeretei, Hegesztési eljárások, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
5. Bödök, K.: Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére, CORWELD, Budapest, 1997.
6. Gáti, J.: Hegesztési zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1996.
7. Gremperger, G.; Kristóf, Cs.: CO₂ védőgáz asztali hegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
8. Herden, G.: Hegesztési kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
9. Karsai, I.: A hegesztés biztonságtechnikája, Táncsics, Budapest, 1976.
10. Metals Handbook, 10th Edition, Volume 6. AWS, 1995.
11. Probst, R.: Grundlagen der Schweisstechnik, Schweissmetallurgie. VEB Verlag Technik, Berlin, 1970.

12. Richter, H.: Fügetechnik, Schweisstechnik. DVS Verlag, Düsseldorf, 1990.
13. Romvári, P.; Béres, L.: Javító és felrakóhegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
14. Ruge, J.: Handbuch der Schweisstechnik, Band I. Springer, Berlin, Heidelberg, New-York, Tokyo, 1985.
15. Schatz, W.: Fedettívű hegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
16. Szvarka v masinosztroenii, tom 1-4. Masinosztroenie, Moszkva, 1978.
17. Tisza, M.: Metallográfia, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2002.
18. Ushio, M.: Automation Technology of Arc Welding, Japan Welding Society, 1996.
19. Welding Handbook, 8th Edition, Volume 1 to 4. AWS, Miami, 1991.

Felhasznált és ajánlott irodalom a *Hőkezelés* című fejezethez

1. AICHELIN Szakmai ismertető
2. Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle, Band 1., Verlag Stahleisen M. B. H., Düsseldorf, 1961.
3. Beukowszky, G.: Indukciós hevítés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
4. BÖHLER Szakmai ismertető
5. Chatterjee-Fischer, R.: Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen, Nitrieren und Nitrocarburieren, expert verlag, 1986.
6. Daves, C.; Tranter, D. F.: Kontrolle des Gasaufohlens in der Produktion, TZ für praktische Metallbearbeitung, 1979.3.
7. Eckstein, H.-J.: Wärmebehandlung von Stahl (Metallhündliche Grundlagen), VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1969.
8. Eckstein, H.-J. Hrg.: Technologie der Wärmebehandlung von Stahl, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1987.
9. Gál, I.; Schäffer, J.: Számítógépes hőkezeléstechnológiai tervező program, XVII. Országos Hőkezelő Konferencia, Sopron, 1997. okt. 14-17., Gépgyártástechnológia 1997. 10. sz. p. 33-37.
10. Horn, W.; Horn, H. J.; Marfels, W.: Wärmebehandlung von Stahl, DVS-Verlag, Düsseldorf, 1987.

11. IPSEN Szakmai ismertető
12. IPSEN Vákuumkemence ismertető, 2001.
13. Komócsin, M.: Gépipari anyagismeret, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1995.
14. LINDE Szakmai ismertető
15. Lizák, J. szerk.: Hőkezelés, Gyakorlati segédlet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
16. Neményi, R.: Védőgáz hőkezelés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
17. Reinbold, H.; Geschke, D.; Seifert, H.: Stähle und ihre Wärmebehandlung, Werkstoffprüfung, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1973.
18. Schön, Gy.: Vasötvözetek és hőkezelésük, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
19. Smoling, K.: Az acélok és a vas hőkezelése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
20. Spur, G. Hrsg.: Handbuch der Fertigungstechnik Band H/2, Wärmebehandeln, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1987.
21. Szőke, L.: A hőkezelés fizikai alapjai I., II., Tankönyvkiadó, Budapest, 1964., 1965.
22. THYSEN Szakmai ismertető
23. Tisza, M.: Metallográfia, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1998.
24. Tisza, M.: Physical Metallurgy, American Society of Materials, Ohio Park, Columbus, London, 2001.
25. Verő, J.: Vaskohászati Enciklopédia IX/1., IX/2., Az ipari vasötvözetek metallográfiája, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960., 1964.
26. Verő, J.; Káldor, M.: Vasötvözetek fémtana, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
27. Zorkóczy, B.: Metallográfia és anyagvizsgálat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
28. WELDOTHERM Szakmai ismertető

TÁRGYMUTATÓ

A, Á

acélok hegeszthetősége, 266
 aknaskemencék, 289
 alakítási mérték, 298
 alakítási sebesség, 29
 alakítási szilárdság, 20
 közepes, 22
 alakíthatóság, 28, 29
 alakváltozás következményei
 keményedés, 30
 alakváltozási keményedés, 31
 alakváltozási mérőszámok, 15
 alakváltozási sebesség, 17
 mérnöki nyúlás, 15
 valódi nyúlás, 15
 alakváltozási munka, 15
 ideális, 25
 állapotényezők, 28
 alakváltozási sebesség, 28
 feszültségállapot, 28
 hőmérséklet, 28
 amorf termoplasztok, 139
 anyagátvitel módjai, 162
 finomcseppes, 202
 nagyseppes, 163
 rövidzárlatos, 162

Arrheniusi egyenlet, 300
 átedződő átmérő, 312
 átkovácsolási szám, 34
 áttolás, 35
 ausztenit, 304
 ausztenites lehűtés, 273, 307
 ausztenites Mn acél, 308
 automatikus hegesztés, 147

B

bainites hőkezelés, 273, 330
 beöntő rendszer, 103
 betétedzés, 346
 bevonatos elektróda, 161, 186
 bevontelektródás
 kézi ívhegesztés, 181

C

Carbomix, 342
 cementálás, 345
 gázcementálás, 345
 sófördős, 345
 szilárd közegű, 345
 C-görbe, 305

- Cs**
 csőgyártás sajtolással
 Erhardt-eljárás, 56
 csőgyártó eljárások, 54
 Harmata-eljárás, 58
 hengerléssel, 55
 sajtolással, 56
 csőhengerlés, 55
- D**
 dekarbonizálódás, 282
 dörzshegesztés, 257
 dudorhegesztés, 247, 252
 duó-járat, 51
 duzzasztás, 35
- E,É**
 edzés, 308
 edzhetőség, 308
 edzőolaj, 313
 effektív nyúlás, 98
 egyesített szerszám, 95
 egynyomású zártmatricás sajtó, 72
 elektródafofogók, 185
 elektronsugaras felületi edzés, 324
 elektronsugárhegesztés, 229
 élhajlítás, 97
 ellenálláshegesztés, 243
 ellenállás-vonalhegesztés, 247
 előtölés-határolás, 93
 extrudálás, 143
 extrudáló csigasajtó, 144
- F**
 fedettívű hegesztés, 216
 fedőporok, 222
 keramikus, 223
 olvasztott, 223
 felrakóhegesztés, 237
- felületi edzés, 273, 317, 320
 fémporok előállítás, 116
 fémporok sajtolása, 121
 fémszűrők, 129
 feszültségcsökkentő izzítás, 273, 294
 finomcseppes anyagátvitel, 202
 fogyási üregek, 103
 fóliás-vonalhegesztés, 247, 256
 folyási feltétel, 13
 Huber-Mises-Hencky, 13, 15
 Tresca-St. Venant, 13, 14
 folyási görbe, 21
 felvétele, 22
 folyasztószer, 237
 folytatás
 direkt, 54
 indirekt, 54
 folyató eljárások, 74
 előre folytatás, 75
 hátrafolyatás, 75
 kétirányú folytatás, 75
 formázóanyagok, 100
Fourier egyenlet, 275
 fröccsöntés, 141
 fűrtös öntés, 107
- G**
 gáznitridálás, 334
 gépesített hegesztés, 265
 gépi formázás, 107
 göngyöltés, 97
- Gy**
 gyorsnitridáló eljárás, 336
- H**
 hajlítás, 96
 Hametag malom, 117
 hártás forrás, 313
 hasító körolló, 89

- határsúrlódás, 31
 hegesztés, 143
 gyártási dokumentumai, 270
 hőforrásai, 156
 hegesztés rokoneljárásai, 260
 keményforrasztás, 261
 lágyforrasztás, 259
 ragasztás, 259
 termikus szórás, 263
 hegesztésmélelet, 144
 hegesztési felelős, 269
 hegesztési hibák, 273
 alakhibák, 273
 kötészabályok, 273
 repedések, 273
 üregek, 273
 zárványok, 273
 hegesztési műveleti utasítás, 272
 hegesztési terv, 272
 hegesztett csövek gyártása, 57
 hegesztett kötések, 150
 osztályozása, 152
 részei, 150
 varratfűzés, 152
 hegesztett szerkezetek gyártása, 264
 hegeszthetőség, 266
 hegesztőív statikus jelleggörbéje, 178
 hegesztőláng, 235
 hegesztőmester, 270
 hegesztőpisztoly, 195, 210
 hegfűrdő, 148
 hőmérséklete, 167
 kristályosodása, 167
 létideje, 166
 héjformázás, 108
 hengerítés, 97
 hengerlés, 46
 behúzás feltétele, 46
 elvi alapok, 46
 hengerversor, 51
 heterogén kristályosodás, 168
 hevítési módszerek, 278
 hidegfolyatás, 74
 hidegrepedések, 267
 hidegzömftés, 65
- hidegzömftés alaki jellemzői, 67
 hidegzömftő sajtók, 71
 osztott matricás, 74
 zárt matricás, 72
 hidrodinamikai súrlódás, 31
 hipereutektoidos, 301
 hipoeutektoidos, 302
 homogén kristályosodás, 168
 horonyvarratok, 152
 hőáram, 157
 hőáramsűrűség, 157
 hőfoltátmérő, 157
 hőhatásövezet, 170
 hőkezelés, 271
 definíció, 272
 hőkezelő berendezések, 287
 hőre keményedő műanyag, 137
 hőre lágyuló műanyagok, 138
 huzalelektroda, 162, 197
 huzalgyártás, 58
 hőkezelés, 63
 húzás, 61
 korrózióvédelem, 64
 revéltetés, 59
 húzógépek, 61, 64
 csúszva-húzó, 61
 egyenes-húzó, 61
 egyfokozatú, 61
 gyűjtve-húzó, 64
 többfokozatú, 61
- I,Í**
 indukciós melegítés, 324
 intenzív hűtés, 313
 ionnitridáló berendezés, 338
 ívhegesztések, 173
 ívkarakterisztika, 179
 ívkisülés, 173
 izotermás lágyítás, 273, 306
 izzítások, 294
 feszültségcsökkentő, 294
 izotermás, 306
 normalizáló, 303
 szemcsedurvító, 299

	L
szferoidizáló, 300	
teljes lágyítás, 304	
újrakristályosító, 296	
J	
javítóhegesztés, 274	
Jominy görbe, 311	
Jominy próbatest, 311	
Jominy vizsgálat, 311	
Joule-Lenz törvény, 241	
K	
kamrás kemence, 288	
karbonkoncentráció, 346	
keményfémek, 131	
keményforrasztás, 261	
keménysegnövelő hőkezelések, 308	
képlékenyalakítás, 13	
kéregöntvények, 105	
kermetek, 136	
kétirányú vegyes folyamat, 75	
kézi hegesztés, 265	
kézi homokformázás, 101	
kifáradási határ, 64	
kisajtolás, 54	
kivágás-lyukasztás, 90	
kokillaöntés, 110	
kontakt formázás, 145	
kontrakció, 34	
konvektív hűtés, 313	
korrózió, 63	
kovácshegesztés, 38	
kovácsolás, 33	
süllyesztékes, 38	
szabadalakító, 35	
kovácsoló gépek, 43	
kovácsológépek	
ejtőkalapács, 43	
ellenütős kalapács, 44	
gőzkalapács, 43	
hidraulikus kovácsajtó, 44	
kristályosodási repedések, 267	
	lágyszerelés, 261
	lánghegesztés, 231, 236
	LD acélgártó eljárás, 351
	legkisebb hajlítási sugár, 98
	Lehrer diagram, 342
	lemezalakító eljárások, 84
	lemezhengelés, 53
	szalaghengelés. <i>Lásd</i>
	lemezvágó eljárások, 85
	lemezvágó ollók, 88
	kőollók, 89
	táblaollók, 88
	lengő hajlítás, 97
	lézersugaras felületi edzés, 322
	lézersugarhegesztés, 228
	Ly
	lyuk- és horonyperemvarratok, 152
	lyukasztás, 36
	M
	magkésztés, 105
	Mannesmann-féle csögyártás, 55
	maradékusztenit, 390
	maradó feszültség, 286
	martenzit, 308
	megeesztési elridegedés, 328
	melegalakítás, 29
	melegfolytatás, 54
	mélyhúzás, 100
	rángató nélkül. <i>Lásd</i>
	rángatóval, 103
	mélyhúzó sajtók, 103
	mérethelyreállítás, 238
	méret pontos formázó eljárások, 107
	minőségterv, 273
	minősített hegesztők, 270
	mintakészítés, 99
	műanyag fröccsajtolás, 141
	műanyagfeldolgozó technológiák, 136

N	R
nagyceppes anyagátvitel, 202	ragasztás, 262
nemesgázok, 206	ragasztástechnológia, 262
nemesítés, 273, 325	ragasztott kötések, 262
Nikotrállás, 339	rángató nyomás, 101
nitridálás, 331, 335	redukálás, 69
nitridált réteg, 334	redukált feszültség, 13
nitroausztenit, 331	retorta, 291
normalizálás, 273, 303	revetlenítés, 58
	maratással, 58
	mechanikus, 59
Ny	robothegeztés, 265
nyomásos öntés, 112	Rockwell eljárás, 356
hidegkamrás, 113	rövidzárlatos anyagátvitel, 162, 201
melegkamrás, 112	rúd és csőhúzás, 64
nyújtás, 35	gépei, 65
	szerszámai, 65
O,Ó	S
osztott matricás sajtók, 73	saját feszültségek, 284
oxi-acetilén, 231	sajtolóhegesztés, 240
	dörzshegesztés, 257
	dudorhegesztés, 252
	ellenállásponthegesztés, 243
	fóliás vonalhegesztés, 256
	vonalhegesztés, 254
	sarokvarratok, 152
	sávterv, 92
	semleges réteg, 99
	semlegesvédőgáz, 205
	volfrámlektrodos ívhegesztés,
	205
	soldering, 261
	sorjacsatorna, 39
	sorjázó szerszámok, 41
	sorozatvágó szerszám, 95
	söntáram, 255
	strukturális feszültség, 286
	sugarhegesztések, 227
	elektronsugarhegesztés, 229
	lézersugarhegesztés, 228
P	
pácolás, 58	
Pilgerezés, 55	
ponthegeztés, 250	
porcsapágó, 129	
porkohászat, 115	
porkohászati termékek, 128	
precíziós öntés, 109	

súrlódás, 31
 Coulomb-féle, 32
 határsúrlódás, 31
 hidrodinamikai, 31
 száraz, 31
 vegyes, 31
 stüllyesztékes alakítás
 nyitott, 39
 zárt, 40

Sz

szemcsedurvító eljárás, 299
 szemcsedurvító izzítás, 300
 szerkezetterv, 270
 szferoidizáló izzítás, 273, 300, 301
 szívósságfokozó hőkezelések, 325

T

tárcsavágó körolló, 90
 teljes edzés, 309
 teljes lágyítás, 273, 304
 térfogatalakító eljárások, 65
 zömítés, 65
 térfogatállandóság, 16
 tétele, 18
 térfogati edzés, 273
 terhelhetőség, 284
 teríték átmérő, 100
 termikus eljárások, 273
 termikus feszültség, 286
 termikus szórás, 263
 termofizikai eljárások, 273
 termokémiai eljárások, 273
 termokémiai kezelések, 331
 termomechanikus eljárások, 273
Thermal Spray, 263
 tompavarratok, 152
 tömör test előre folytatása, 75
 triójárat, 52

U, Ú

újrakristályosító izzítás, 273, 296
 újrakristályosodási diagram, 30, 297

Ü, Ű

üreges test hátra folytatása, 75
 üregezés, 52
 ütőmunka, 326
 üvegszálás műanyagok, 145

V

vágás, 35
 vákuum formázás, 144
 vákuumkemence, 292
 vállazás, 35
 védőgáz, fogyóelektródás
 ívhegesztés, 188
 védőgázellátó rendszer, 196, 212
 védőgázok, 199
 vízűtés, 316
 vonalenergia, 159
 vonalhegesztés, 254

W

Widmanstätteni ferrit, 303
 WPS, 272

Z, Zs

zömítés
 alapesetei, 65
 zömítés alaki jellemzői
 alakviszony, 67
 átmérőviszony, 67
 zömítési viszony, 67
 zsugorítás, 126