

# **TERMINOLÓGIA**

**Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság**

## **Magyar nyelvű szakelőadások a 2001-2002-es tanévben**

**Kolozsvári Műszaki Egyetem  
Gépészmérnöki Kar**

### **Szerzők:**

Dr. Bicsak Jenő  
Kovács István  
Dr. Timár Imre  
Dr. Varga Béla

**Kolozsvár, 2002**

### **Támogató**

**Apáczai Közalapítvány – Budapest**

### **Kiadó**

**Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság**

### **Felelős kiadó:**

**Égly János**

### **Szerkesztő:**

**Dr. Csibi Vencel József**

### **Nyelvi lektor:**

**Horváth Erika**

### **Borítóterv**

**Prokop Zoltán**

---

## Tartalomjegyzék

*Dr. Timár Imre*

Az optimális méretezés műszaki alkalmazásai

*Dr. Bicsak Jenő*

Vasalapú szerkezeti anyagok

*Dr. Bicsak Jenő*

Nemvas fémek és ötvözetek

*Dr. Bicsak Jenő*

Fémes anyagok hegesztése

*Dr. Varga Béla*

Gépkocsiipar és alumínium

*Kovács István*

A hőkezelés magyar és román nyelvű szakkifejezései (EN 10052:1995)

## Az optimális méretezés műszaki alkalmazásai

Dr. habil. Timár Imre, docens  
Veszprémi Egyetem, Mérnöki Kar,  
Géptan Tanszék

### 1. Bevezetés

Az anyag-, energia-, gyártási és üzemeltetési költségek növekedése szükségessé, a numerikus módszerek fejlődése pedig lehetővé tette az optimális méretezési módszerek széleskörű elterjedését a műszaki gyakorlatban. E módszerek segítségével elérhető, hogy a különböző konstrukciók, rendszerek, stb. ne csak kielégítsék a velük szemben támasztott követelményeket, hanem lehetőséget nyújtsanak a költségek csökkentésére is. Az optimális méretezés elterjedésének kezdeti szakaszában a szerkezet tömegét ill. térfogatát igyekeztek csökkenteni, majd később a problémákat a költségek irányából közelítették meg. A tömeg csökkentésére vonatkozóan a természetben sajátos példákat találunk. Nevezetesen a fák ágai az elágazási helyeken a legvastagabbak, mivel a hajlító nyomaték és a nyíróerő értéke ott a legnagyobb. Hasonlóképpen a jégcsap keresztmetszete a teljes húzóerőt felvevő keresztmetszetben a legnagyobb. Az említett példák az alak optimalizására vonatkoznak, de a természetben ezeken kívül is számos egyéb optimumra törekvést figyelhetünk meg.

Az optimális méretezési módszerek eredményes műszaki alkalmazásához ismerni kell a matematikai módszereket és tisztában kell lenni a feladat műszaki tartalmával. Ennek megfelelően először röviden áttekintjük a matematikai alapokat, majd különböző műszaki alkalmazásokkal ismerkedünk meg.

### 2. Az optimális méretezés matematikai alapjai

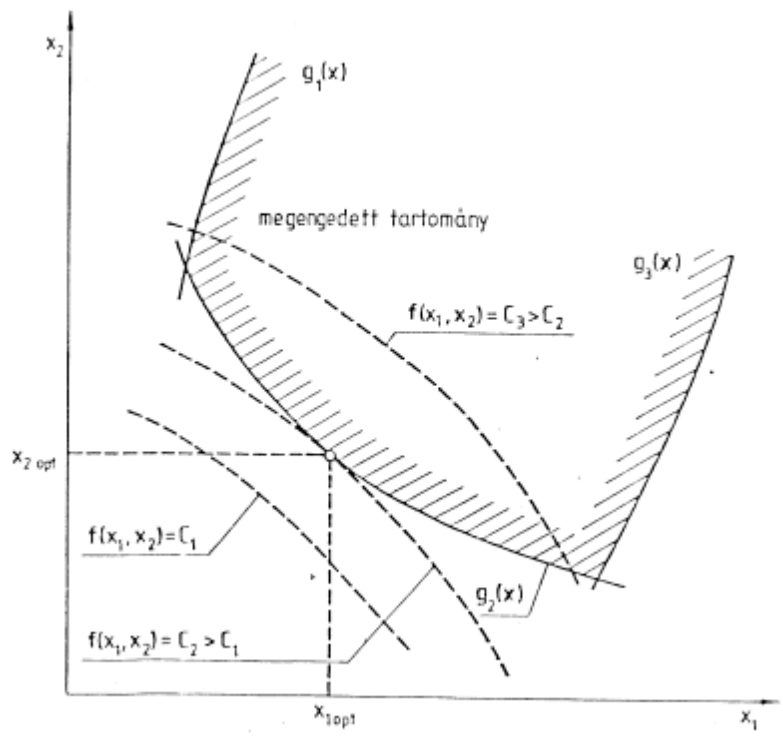
#### 2.1. Az optimalizálás általános megfogalmazása

Az optimalizálás érdekében először meg kell választani azokat a paramétereket, geometriai méreteket, stb., melyeket ismeretleneknek tekintünk. Ezen ismeretlenek alkotják a változók halmazát és összességüket a következőképpen jelöljük:  $\underline{x}=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ , ahol  $n$  az ismeretlenek száma. Ezt követően meg kell fogalmazni a célfüggvényt,  $f(\underline{x})$ -et, ami lehet a szerkezet tömege, térfogata, költsége (beleértve az anyag-, gyártási-, üzemeltetési-, stb. költségeket). A célfüggvényhez kapcsolódóan meg kell fogalmazni azokat a feltételeket, melyeket az adott szerkezetnek, rendszernek üzemelés során ki kell elégítenie. A korlátozási feltételek lehetnek egyenlőtlenségek ( $g_j(\underline{x})$ ), ill. egyenlőségek ( $h_j(\underline{x})$ ). A korlátozások vonatkozhatnak a maximális feszültségekre, alakváltozásokra, felületi hőmérsékletre, stb. A fentiekben vázolt feladat matematikailag úgy fogalmazható meg, hogy meg kell határozni a többváltozós függvény minimumát úgy, hogy a kapott megoldás elégítse ki a megfogalmazott korlátozási feltételeket:

---

$$\begin{aligned} g_j(\underline{x}) &\geq 0, & \min f(\underline{x}), & & j=1,2,\dots,m; \\ h_j(\underline{x}) &= 0, & & & j=m+1,\dots,p. \end{aligned} \quad (1)$$

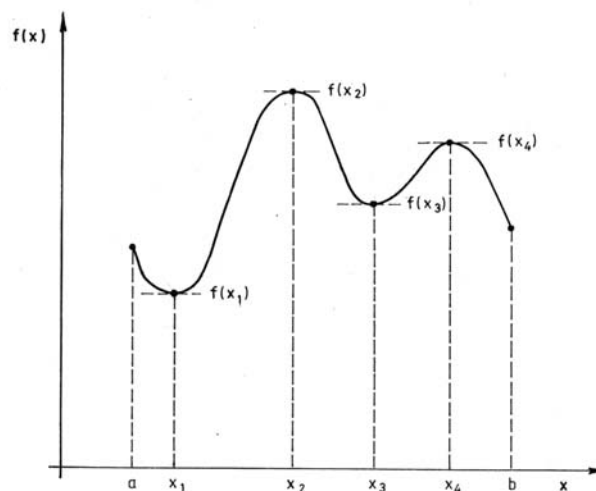
A fentebbi függvények lineárisak, nemlineárisak ill. speciális típusúak lehetnek. Előfordul, hogy hiányoznak az egyenlőségi ill. az egyenlőtlenségi korlátozások, vagy mindkettő. A változók száma tetszőleges lehet. Ennek megfelelően különböző optimálási feladatokkal állunk szemben, melyek megoldása sokszor nehézségekbe ütközik. A matematikai optimálási módszerek lényegében az (1) alatt megfogalmazott feladat megoldásához kapcsolódnak.



1. ábra. Kétváltozós optimálási feladat

Az (1)-es probléma megoldása két változó (két ismeretlen) és három egyenlőtlenségi korlátozás esetén nagyon szemléletesen ábrázolható (1. ábra). A két ismeretlen ( $x_1$ ,  $x_2$ ) koordináta-rendszerében ábrázolni lehet a  $g_1(x)$ ,  $g_2(x)$ ,  $g_3(x)$  egyenlőtlenségi korlátozási feltételeket. A korlátozási feltételek meghatározzák az ún. megengedett tartományt, melynek minden pontja kielégíti a feltételeket. A megengedett tartomány pontjai közül meg kell keresni azt (azokat), melyek egyúttal a célfüggvény minimumát adják. Ha a célfüggvénynek különböző  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  értékeket adunk, akkor azt tapasztaljuk, hogy önmagával párhuzamosan tolódik el. Ahol a célfüggvény érinti a megengedett tartományt, ott leolvashatjuk az optimális értékeket ( $x_{1min}$ ,  $x_{2min}$ ). Ezen értékeket a célfüggvénybe helyettesítve megkapjuk annak minimumát. Bonyolult függvények esetén azonban nemcsak egy, hanem több helyi (lokális) minimum lehet (2. ábra). A műszaki problémák megoldása során azonban az a cél, hogy a helyi minimumok közül megkeressük azt, amelyik a célfüggvénybe

helyettesítés után a legkisebb értéket adja. A lokális minimumok közül ezt az értéket nevezzük globális minimumnak. Az ábrán látható, hogy a függvénynek az  $x_1$  és  $x_3$  értéknél helyi (lokális) minimuma van. A kettő közül azonban a globális minimum  $x_1$ -nél van. Hasonlóképpen az  $x_2$  és  $x_4$  értéknél a függvénynek helyi maximuma van. A globális maximum azonban az  $x_2$ -nél jelentkezik. Konvex megengedett tartomány esetén a lokális minimum egyúttal globális is. Konvex a tartomány, ha tetszőleges két pontját összekötő egyenes minden pontja a tartományon belül helyezkedik el. A következő részben röviden áttekintjük az optimalizációs módszerek történeti fejlődését és csoportosítását.



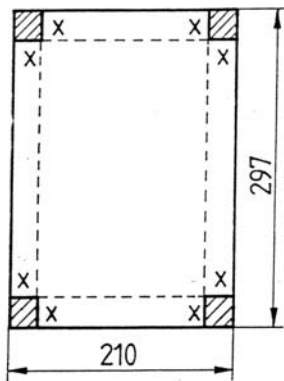
**2. ábra.** A függvény szélsőérték-helyei

## 2.2. A matematikai optimalizációs módszerek fejlődése és csoportosítása

Az optimalizációs módszereket különböző szempontok alapján lehet csoportosítani [1]. Emiatt a szakirodalomban többféle megközelítéssel találkozunk. Az alábbiakban a történeti sorrendet szem előtt tartva röviden áttekintjük a módszerek fejlődését.

### 2.2.1. A differenciálszámításon alapuló módszerek

E módszert Newton (1643-1727) és Leibnitz (1646-1716) alapozta meg. Ők egymástól függetlenül egyidejűleg dolgozták ki a differenciálszámítás alapjait. Ezáltal lehetőség nyílt a korlátozások nélküli egy- ill. többváltozós függvények szélsőértékének



3. ábra. A doboz terítéke

meghatározására és számos egyszerűbb optimalási probléma megoldására. Közülük egy olyan szemléletes feladatot mutatunk be, ami segíti az optimalás lényegének megértését.

Feladatunk, hogy egy A4-es lap (210x297 mm) minden sarkából vágjunk ki egy  $x \cdot x$  méretű négyzetlapot, majd a megmaradt síkidomból az oldalak felhajtásával készítsünk egy nyitott dobozt (3. ábra). Látható, hogy végtelen sok megoldás létezik, de feladatunk az, hogy a doboz térfogata ( $V$ ) legyen maximális.

A térfogat:

$$V(x) = (297 - 2x)(210 - 2x)x = 4x^3 - 1014x^2 + 62370x.$$

Könnyen belátható, hogy a  $V(x)$  függvény maximumának helye megegyezik az  $f(x) = -V(x)$  függvény minimumának helyével. A szélsőérték (minimum) létezésének szükséges feltétele, hogy az  $f(x)$  függvény deriváltja legyen zérus:

$$f'(x) = -12x^2 + 2028x - 62370 = 0.$$

A másodfokú egyenlet megoldása révén két értéket kapunk:  $x_1 = 40,423$  mm;  $x_2 = 128,577$  mm. Az eredményekből látható, hogy gyakorlatilag csak az  $x_1$  méretű kivágás valósítható meg. (A függvény deriváltjának vizsgálatával ellenőrizhető, hogy valóban létezik szélsőérték). Az  $x_1$  értéknek a  $V(x)$  függvénybe helyettesítése után megkapjuk a doboz maximális térfogatát  $V_{\max} = 1128495,1 \text{ mm}^3$ .

### 2.2.2. A variációszámításon alapuló módszerek

A variációszámítás alapjait Bernoulli (1654-1705), Euler (1707-1783), Lagrange (1736-1813), Hamilton (1805-1865), Weierstrass (1815-1897) fektette le. A variációszámítás módszere előnyösen alkalmazható statikai, dinamikai, rezgéstani, stb. problémák megoldásakor [3]. Legegyszerűbb matematikai megfogalmazása az, hogy meg kell határozni azt az  $u(x)$  függvényt, amelyik minimálja az  $A$  funkcionált:

$$A = \int_{x_a}^{x_b} F(x, u, u', u'') dx,$$

ahol  $u'$  és  $u''$  az  $u(x)$  függvény első ill. második deriváltja.

### 2.2.3. Lineáris programozás

A lineáris programozás egy alapvető matematikai programozási módszer. Jellemzője, hogy az (1) alatti megfogalmazásban mind a célfüggvény, mind a korlátozások a változók lineáris függvényei. A lineáris optimalás elterjedését jelentősen meggyorsította a digitális számítógépek elterjedése és hozzáférhetősége. A lineáris programozás simplex módszerét Dantzig dolgozta ki 1947-ben [4]. A módszert eredményesen alkalmazták gazdasági feladatok megoldására, de segítségével sok műszaki probléma megoldása is lehetővé vált. Számos képlékeny méretezési

problémát fogalmaztak meg lineáris optimalizációs feladatként és így méreteztek rácsos tartókat, keretszerkezeteket, stb.

#### 2.2.4. Nemlineáris programozás

Amennyiben az (1) alatt megfogalmazott feladatban a függvények valamelyike nem lineáris, akkor nemlineáris optimalizációs feladattal állunk szemben. A mérnöki problémák tekintélyes része nemlineáris, emiatt e módszer különös jelentőséggel bír. A megoldási módszer Lagrange nevéhez fűződik, aki az (1)-ben megfogalmazott feladat megoldását dolgozta ki egyenlőségi korlátozások esetén. Lényege, hogy a célfüggvényhez hozzáadta az egyenlőségi korlátozási feltételeket ( $m=0$ ) és így kapott egy  $L(\underline{x}, \lambda_j)$  függvényt:

$$L(\underline{x}, \lambda_j) = f(\underline{x}) + \sum_{j=1}^p \lambda_j h_j(\underline{x}),$$

ahol  $\lambda_j$  – az ún. Lagrange szorzók.

A Lagrange függvény minimumát ezután deriválással lehet meghatározni. A módszer korai indulása ellenére viszonylag keveset fejlődött a XX. század közepéig. A nagysebességű és nagykapacitású számítógépek azonban ösztönözték és lehetővé tették az újabb módszerek kutatását és az optimalizálás széleskörű elterjedését. 1951-ben Kuhn és Tucker az (1) alatti probléma megoldására egyenlőtlenségi korlátozások esetén megoldási módszert dolgozott ki, ami a 60-as évektől optimalitási kritériumok néven terjedt el [5]. Lényege, hogy meg kell határozni az  $f(\underline{x})$  célfüggvény minimumát

$$g_j(\underline{x}) \leq 0, \quad j=1, \dots, m,$$

korlátozások esetén. Az egyenlőtlenségi korlátozásokat nem negatív kiegészítő változók  $y_j^2$  hozzáadásával

$$G_j(\underline{x}, y_j) = g_j(\underline{x}) + y_j^2 = 0, \quad j=1, \dots, m$$

egyenlőségekké alakítjuk át, ahol a kiegészítő változók ismeretlenek. Ezután a problémát a Lagrange-féle multiplikátoros módszerrel lehet megoldani. A Lagrange függvény

$$L(\underline{x}, y_j, \lambda_j) = f(\underline{x}) + \sum_{j=1}^m \lambda_j G_j(\underline{x}, y_j). \quad (2)$$

A lokális minimum szükséges feltétele:

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial f(\underline{x})}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial g_j(\underline{x})}{\partial x_i}, \quad i=1, \dots, n; \quad (3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = g_j(\underline{x}) + y_j^2 = 0, \quad j=1, \dots, m; \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial y_j} = 2\lambda_j y_j = 0, \quad j=1, \dots, m. \quad (5)$$


---

Aktív feltétel esetén  $g_j=0$  így  $y_j=0$ ,  $\lambda_j \leq 0$ . Ha a feltétel nem aktív, akkor  $g_j < 0$ ,  $y_j \neq 0$  és  $\lambda_j = 0$ . Aktív feltétel esetén tehát a (4) és (5) helyett a

$$\lambda_j \geq 0 \text{ és } \lambda_j g_j = 0$$

feltételeket használjuk. A

$$\frac{\partial f(\underline{x})}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial g_j(\underline{x})}{\partial x_i} = 0, \quad i=1, \dots, n;$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad \lambda_j g_j = 0$$

feltételek az ún. Kuhn-Tucker féle optimalitási kritériumok. Konvex megengedett tartomány esetén a Kuhn-Tucker feltételek a globális minimum szükséges és elégséges feltételeit adják.

A modern szerkezetoptimalás terén az első átfogó munka Schmit nevéhez fűződik [6], aki a matematikai programozási módszert nemlineáris egyenlőtlenségi korlátozások esetén rugalmas szerkezetek méretezésére alkalmazta bonyolult terhelési feltételek mellett. Ki kell emelni még azt is, hogy ez a tárgyalásmód új tervezési filozófiát honosított meg a mérnöki gyakorlatban és hozzájárult ahhoz, hogy a végeselemes analízis és a nemlineáris programozás meghonosodjon az automatizált optimális méretezésben. A nemlineáris optimalás erőteljes fejlődésnek indult amikor Caroll [7] tanulmánya alapján Fiacco és McCormick [8] kifejlesztette a szekvenciális feltétel nélküli minimálás módszerét (a SUMT-módszert). Lényege, hogy az (1) alatti feltételes szélsőérték feladatot egy  $P(\underline{x}, r_k)$  függvény sorozatos feltétel nélküli szélsőérték feladataira alakítja át.

$$P(\underline{x}, r_k) = f(\underline{x}) - r_k \sum_{j=1}^m \ln g_j(\underline{x}) + r_k^{-1} \sum_{j=m+1}^p \left\{ \min[0, h_j(\underline{x})] \right\}^2,$$

ahol az  $r_k$  paraméter kezdő értékétől ( $r_1$ -től), illetve csökkenésének mértékétől függ a konvergencia sebessége. Az  $r_k$  értéke a számítás során monoton csökken

$$r_1 > r_2 > \dots > 0; \quad r_{k+1} = r_k / c; \quad c > 1,$$

ahol  $c$  állandó.

$$\lim_{r_k \rightarrow 0} [\min P(\underline{x}, r_k)] = \min f(\underline{x})$$

Kimutatható, hogy  $r_k \rightarrow 0$  esetén a feltétel nélküli függvényminimumok sorozata az eredeti  $f(\underline{x})$  függvény feltételes szélsőértékéhez tart:

A következőkben egy számpéldát mutatunk, ami segíti a módszer lényegének megértését.

*Számpélda:*

Keressük az

$$f(\underline{x}) = x_2 - x_1$$

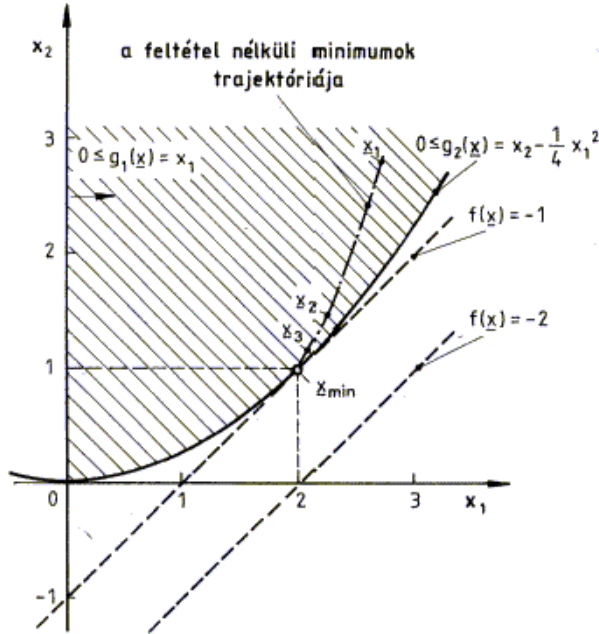
célfüggvény minimumát

$$0 \leq g_1(\underline{x}) = x_1$$

$$0 \leq g_2(\underline{x}) = x_2 - 0,25 x_1^2$$

feltételek esetén. Előállítjuk a korlátozások nélküli függvényt logaritmikus büntető tag alkalmazásával:

$$P(\underline{x}, r_k) = x_2 - x_1 - r_k \ln x_1 - r_k \ln(x_2 - 0,25x_1^2)$$



4. ábra. A feltétel nélküli optimumok elhelyezkedése

A függvényt a változók szerint differenciálva megkapjuk az optimum szükséges feltételét

$$\frac{\partial P(\underline{x}, r_k)}{\partial x_1} = 0 = -1 - \frac{r_k}{x_1} + \frac{0,5x_1 r_k}{x_2 - 0,25x_1^2}$$

$$\frac{\partial P(\underline{x}, r_k)}{\partial x_2} = 0 = 1 - \frac{r_k}{x_2 - 0,25x_1^2}$$

Az egyenletrendszer megoldása után az

$$x_1(r_k) = 1 + \sqrt{1 + 2r_k}, \text{ illetve}$$

$$x_2(r_k) = r_k + 0,25(1 + \sqrt{1 + 2r_k})^2$$

összefüggések adódnak.

Csökkenő  $r_k$  paraméterek esetén a kapott eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A célfüggvény és a változók értékei az  $r_k$  paraméter függvényében

$r_k$	$x_1(r_k)$	$x_2(r_k)$	$P(\underline{x}, r_k)$	$f(\underline{x})$
1	2,732	2,866	-0,871	0,134
$1/4$	2,225	1,487	-0,591	-0,738
$1/16$	2,061	1,124	-0,802	-0,931
$1/64$	2,016	1,031	-0,930	-0,985
minimum	2,000	1,000	-1,000	-1,000

A táblázat adatainak megfelelően a 4. ábra a célfüggvényt, a korlátozási feltételeket, valamint a feltétel nélküli optimumokat mutatja. Látható, hogy a feltétel nélküli optimumok trajektóriája a feltételes szélsőérték-feladat megoldásához tart, miközben a korlátozás nélküli  $P(\underline{x}, r_k)$  függvény és az  $f(\underline{x})$  függvény értékei fokozatosan közelednek egymáshoz.

A nemlineáris optimálás terén napjainkban is számos publikáció jelenik meg és az optimum megkeresésére sok algoritmust dolgoztak ki.

Ha az (1) alatt megfogalmazott függvényekben polinomok szerepelnek, akkor ezt a szakirodalom *geometriai programozásnak* nevezi és a módszer a nemlineáris optimálási feladatok meghatározott körének megoldására alkalmas [9].

A *kvadratus programozási* feladat legtöbbször jól kezelhető nemlineáris optimálási probléma, mivel a célfüggvény konvex és a korlátozási feltételek lineárisak. Az ilyen feladatokat a lineáris optimálás simplex módszerének megfelelő módosításával lehet megoldani.

Az utóbbi években a több célfüggvényes optimálást egyre elterjedtebben alkalmazzák szerkezetoptimalizációs problémák megoldásakor [10]. A módszer kidolgozása Pareto nevéhez fűződik, aki ezt 1896-ban ismertette. Matematikai megfogalmazása a következő:

$$\begin{aligned} \min F(\underline{x}) &= \{f_1(\underline{x}), \dots, f_n(\underline{x})\}, \\ g_j(\underline{x}) &\leq 0, & j &= 1, \dots, m, \\ h_j(\underline{x}) &= 0 & j &= m+1, \dots, p, \end{aligned}$$

ahol  $f_i(\underline{x})$  – az  $i$ -edik célfüggvény;  $g_j(\underline{x})$  ill.  $h_j(\underline{x})$  – az egyenlőtlenségi ill. egyenlőségi korlátozási feltételek. A fentebbi függvények némelyike vagy mindegyike nemlineáris lehet. A probléma megoldására számos módszer létezik, de közülük legismertebb az ún. goal módszer.

A *szétválasztásos (szeparábilis) programozás* lényege, hogy az  $f(\underline{x})$  célfüggvény és a  $g_j(\underline{x})$  korlátozási feltételek az  $x_i$  változók szerint szétválaszthatók. Az ilyen problémák megoldására ismertet algoritmust az [1] irodalom.

#### 2.2.5. Egész számú (integer) programozás

Az egész számú optimálás az utóbbi időben gyors fejlődésnek indult, mivel vannak olyan optimalizációs feladatok, ahol a változók csak meghatározott egész számú értékeket vehetnek fel. Ha a változók csak egész számok lehetnek, akkor egész számú (integer) programozással állunk szemben. Ha csak a változók némelyike vesz fel egész értéket, akkor vegyes-egész számú programozásról van szó, ha viszont a változók csak 0 és 1 értéket vehetnek fel, akkor ezt „nulla-egy” programozási feladatnak nevezzük.

#### 2.2.6. Dinamikus programozás

A dinamikus programozás olyan matematikai módszer, amelyik jól használható többlépcsős döntési problémák megoldásakor.

#### 2.2.7. Véletlenszerű (sztochasztikus) programozás

A véletlenszerű vagy valószínűségi programozás olyan problémákkal foglalkozik, melyeknél az optimalizációs paraméterek némelyikét vagy mindegyikét valószínűségi függvényekkel lehet leírni.

### 2.3. Újabb eredmények az optimalizálás terén

Az optimalizációs problémák megoldásához különböző kereső algoritmusokat dolgoztak ki és napjainkban ezeket fejlesztik tovább ill. újabb algoritmusok is születnek. Az automatizált szerkezetoptimalizálás terén óriási előrelépést jelentett a véges elemes módszer és az optimalizációs módszer összekapcsolása [2].

#### 2.3.1. A véges elemes módszeren alapuló optimalizálás

Az optimalizáló módszerek többségénél a korlátozási feltételeket függvények formájában kell megfogalmazni, ami bonyolult szerkezetek esetén nem lehetséges. Ilyen esetekben az optimalizáló módszereket csak úgy lehet alkalmazni, ha a korlátozási feltételek aktuális értékét (pl.

---

feszültségeket, alakváltozásokat, stb.) valamilyen numerikus módszerrel előzőleg meghatározzák. Ez az igény vezetett el a véges elemes módszer és az optimalálás összekapcsolásához.

### *2.3.2. Az evolúciós szerkezetoptimalálás*

Az optimalálás terén az ún. evolúciós algoritmusok erőteljes térhódítása figyelhető meg [11]. A módszert gyakorlati problémák megoldására az 50-es években és a 60-as évek elején kezdték alkalmazni. A munkák alapján egymástól függetlenül három iskola fejlődött ki:

- evolúciós programozás,
- evolúciós stratégiák és
- genetikai algoritmusok.

Valamennyi módszer az evolúciós folyamat alapelveit alkalmazza. A 90-es évek kezdetétől a három módszer egymásba folyt és összeolvadt. Azóta a különböző iskolák algoritmusainak megjelölésére az evolúciós algoritmusok megnevezés terjedt el. Az evolúciós algoritmusok és a véges elemes módszer összekapcsolását használja az ún. evolúciós szerkezetoptimalálás.[12].

A matematikai optimalálási módszereket fel lehet osztani analitikus és numerikus módszerekre. Az analitikus módszereknél a célfüggvény, valamint a korlátozási feltételek függvények alakjában megfogalmazhatók, a szélsőérték meghatározása pedig a differenciál- ill. variációszámítás módszereivel történik. A numerikus módszerek matematikai programozási technikákat használnak és segítségükkel olyan problémák is megoldhatók, melyek analitikusan nem kezelhetők.

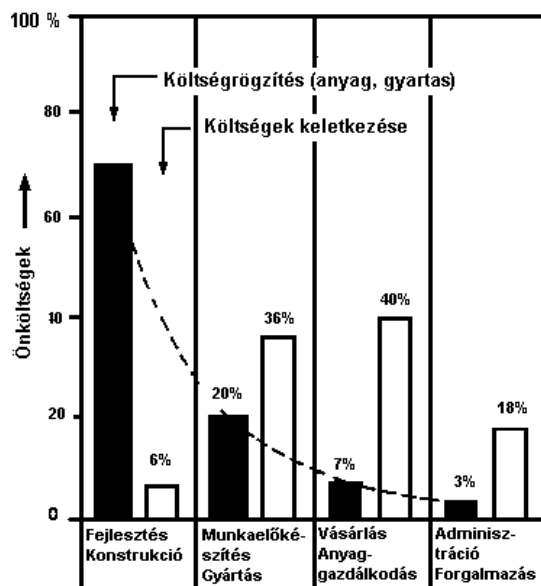
A következő részben áttekintjük a költségmegtakarítás érdekében figyelembe veendő szempontokat, valamint az optimalálási problémák megfogalmazását.

## **3. Az optimalálási problémák megfogalmazása**

### **3.1. A költségtakarékos tervezés néhány szempontja**

Minden egyes műszaki probléma megoldásakor fontos, hogy milyen költségekkel valósítható meg. Rendszeres és alapos költségelemzéssel fel lehet tárni a költségeket befolyásoló tényezőket. Ez azért fontos, mert a konstrukciók költségeinek legnagyobb részét a tervezés folyamán a konstruktőr automatikusan lerögzíti [13]. Ez a lerögzített hányad különböző területeken végzett elemzések alapján eléri a 70% -ot (VDI-Richtlinie 2235). Az 5. ábra szemléletesen mutatja az adott munkafázisban lerögzített (fekete oszlop) és a keletkezett költségeket (fehér oszlop). A gyártási költségeket értékelemzéssel csökkenteni lehet, ugyanakkor elmondható, hogy az értékelemzést a gyártmányok többségénél nem végzik el.

---



5. ábra. A költségek alakulása

- a szükségesnél nem finomabb felületek ill. tűrések alkalmazása;
- szabványos anyagok és félkész-termékek használata;
- a darabszámnak megfelelő gyártástechnológia megválasztása;
- a szükségesnél nem drágább szerszámok és berendezések használata, stb.

A felsoroltakon túlmenően számos egyéb költségcsökkentési szabály létezik, melyeket tervezéskor célszerű összegyűjteni és figyelembe venni. Az egyszerűbb költségcsökkentési lehetőségek mellett léteznek olyan módszerek is, melyek segítségével matematikai alapon vizsgálhatók a költségek. Ezeket az eljárásokat költségbecslési módszereknek nevezzük.

A konstrukciók költségbecslése vagy más néven a költségek korai felismerésének módszere a nyolcvanas években indult erőteljes fejlődésnek [14],[15],[16]. A kutatók különböző indítatásból és különböző módon közelítették meg a problémát. A tervezési változatok megítélése szempontjából a költségek korai felismerése kiemelkedő jelentőségű, mivel ily módon a konstruktőr tevékenységével jelentős mértékben befolyásolni tudja a költségek alakulását. A költségek (anyag- és gyártási) számítására különböző módszereket dolgoztak ki, melyek közül a legfontosabbak:

- relatív költségekkel való számítás [17],
- számítás regressziós egyenletekkel [18],
- hasonlósági összefüggésekkel való számítás [19] és
- gyártástechnológiai műveletek műveleti elemként való számítása [20].

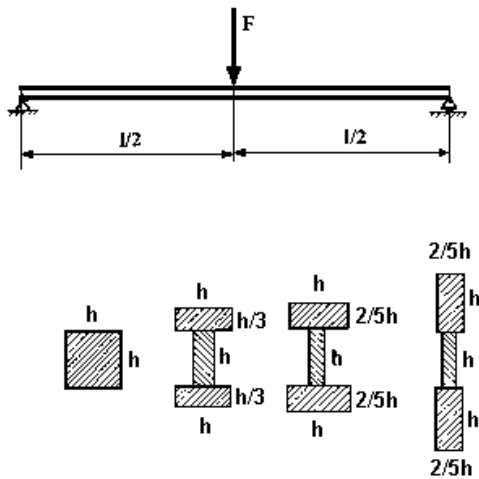
A fenti módszerek közül az anyagköltségek, a félkész termékek és a vásárolt termékek számításánál elsősorban a relatív költségekkel való kezelésmód terjedt el, míg a gyártástechnológiai költségek célszerűen műveleti elemként kezelve számíthatók. A relatív költségeknél az árakat ill. a költségeket valamilyen mennyiségre (méret, anyag, stb.) vonatkoztatják. Ennek előnye, hogy az adatok sokkal hosszabb ideig helytállóak összehasonlítva az abszolút költségekkel. Anyagokra, félkész termékekre és késztermékekre relatív költség katalógusokat dolgoztak ki. A félkész termékek (csövek,

A tervezési folyamat során a költségek korai felismerése a gazdaságos termékfejlesztés alapja. A termékek költségének csökkentése céljából léteznek olyan általános szabályok, amelyeket a tervezőknek szem előtt kell tartaniuk a költségmegtakarítás érdekében. Néhány könnyen betartható költségcsökkentési szabály:

- meglevő/kereskedelmi egységek használata;
- szerelési egységekre ill. kevés alkatrészre törekvés;
- alkatrész csoportok, szabványos alkatrészek előnyben részesítése;
- kereskedelmi kötőelemek használata;

négyszög-szelvények, különböző profilok) közelítőleg azonos fajlagos árral rendelkeznek hengerléssel való gyártás esetén. Azonos tömeg esetén viszont lényegesen drágábbak a húzott és a zárt profilok.

A regressziós egyenletekkel való költségszámítás alapos előkészítő munkát és nagy időráfordítást igényel, amihez legtöbbször számítógépre van szükség. A [18]-as irodalom ismerteti a kézi formázású, szürkeöntvényből készült darabok regressziós egyenletét.



**6. ábra.** A teherbírás növekedése a keresztmetszet alakjának változtatásakor

A költségnövekedési törvényszerűségeknek hasonlósági összefüggésekkel való meghatározását elsősorban hasonló, vagy közel hasonló gyártmány-sorozatok esetén célszerű elvégezni [19]. A gyártástechnológiai műveletek költségbecslése a bér- és anyagköltségek figyelembevételével történik [20].

A megfogalmazott szempontok mellett, léteznek olyan konstrukciós megoldások [12], melyek gazdaságosabb anyagkihasználást tesznek lehetővé (6. ábra) és így növelhető a szerkezet teherbírása. A 6. ábrán látható  $h \times h$  keresztmetszetű csuklós kéttámaszú tartó közepén  $F$  erő terheli. A tartó igénybevétele hajlítás és nyírás (az utóbbit elhanyagoljuk). A hajlításból a tartó közepén, a szélső szálaban  $\sigma_{\max} = M_h / K$  feszültség ébred ( $M_h$  – a hajlító nyomaték;  $K$  – a keresztmetsze-

ti tényező). A tartó anyagának jobb kihasználása érdekében megkívánjuk, hogy a szélső szálaban a maximális feszültség éppen az anyag megengedett feszültségével ( $\sigma_m$ ) legyen egyenlő. Ezt az esetet tekintjük kiindulási állapotnak. Amennyiben a keresztmetszet területét változatlanak tekintjük, de az alakját változtatjuk az 5. ábra szerint, akkor a keresztmetszeti tényező növekszik és ezáltal nő a teherbírás (2. táblázat).

**2. táblázat.** A tartó teherbírásának növekedése a keresztmetszet alakjának változtatásakor

Keresztmetszet	Teherbírás növekedés az első változathoz viszonyítva
első	1
második	2,378
harmadik	2,795
negyedik	3,533

A fentebbi példa mutatja, hogy a mechanikai ismeretekre alapozva el lehet érni az anyag jobb kihasználását és ezáltal gazdaságosabb szerkezetet kapunk. Ha e gondolatmenetet tovább folytatjuk, akkor eljutunk az egyenszilárdságú tartókhoz [21], melyeket különböző terhelések esetén bizonyos értelemben „optimális” alakúra tervezhetünk.

A következő fejezet részben áttekintjük, hogy a műszaki optimalizációs problémát miként lehet általánosan megfogalmazni.

### 3.2. A célfüggvény és a korlátozási feltételek felépítése

#### 3.2.1. Az optimalizációs probléma változói

Minden optimalizációs feladat megfogalmazásakor el kell dönteni, hogy milyen értékeket tekintünk változónak (ismeretleneknek). Szerkezetek tervezésekor általában a geometriai méretek lehetnek változók. Például egy tartó méretezésekor legtöbb esetben a keresztmetszet méretei szerepelhetnek ismeretlenként. Bizonyos esetekben változók lehetnek az anyagjellemzők is.

Technológiai folyamatok, rendszerek optimális méretezésekor ismeretlen lehet a nyomás, a hőmérséklet, az idő, stb. Az optimális méretezés kezdeti szakaszában arra törekedtek, hogy a problémát minél több változóval írják le. A gyakorlati tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy nem szükséges sok változót használni, hanem azokat kell ismeretlenként kezelni, melyekre a probléma leginkább érzékeny. A szakirodalomban közölt publikációkból látható, hogy viszonylag kevés változó esetén is jelentős súly- ill. költségmegtakarítás érhető el [22].

#### 3.2.2. A célfüggvény felépítése

Az optimalizációs kezdeti szakaszában a szerkezet tömegét vagy térfogatát tekintették célfüggvénynek és ennek minimumát keresték. A gyakorlati eredmények azonban azt mutatták, hogy a minimális tömegű, térfogatú szerkezetek nem a legkisebb költségűek. Az optimális méretezés fejlődésével párhuzamosan a költségfüggvény került előtérbe. Először az anyagköltség szerepelt célfüggvényként, majd később a gyártási-, üzemeltetési- és egyéb költségeket is beépítették. Elmondható, hogy minél körültekintőbben fogalmazzuk meg a célfüggvényt, a modell annál jobban leírja a valóságot.

Szerkezetoptimalizációs feladatoknál gyakran a feszültség szintet igyekeztek minimálni és ezt tekintették célfüggvénynek. Ebben az esetben is elmondható, hogy költség szempontjából nem biztos, hogy optimális a szerkezet. A szakirodalomban a célfüggvényre vonatkozóan számos egyéb példát találunk (pl. alakoptimalizálás), ez amiatt van, hogy gyakran a célfüggvényt a megoldandó feladatokhoz kell igazítani. Vannak olyan feladatok, ahol több célfüggvényt is választhatunk (2.2. fejezet) így eljutunk a több-célfüggvényes optimalizáláshoz.

#### 3.2.3. A korlátozási feltételek megfogalmazása

A szerkezetektől, rendszerektől, stb. megkívánjuk, hogy elégítsenek ki bizonyos követelményeket. E követelményeket az optimalizálás során korlátozási feltételként fogalmazzuk meg. A korlátozások a feladattól függően nagyon különbözőek lehetnek, de vannak olyanok, melyek a műszaki problémák megoldásakor gyakran előfordulnak. Ilyenek lehetnek a feszültség- ill. alakváltozás korlátozások, melyek lényege a szerkezetben ébredő feszültségek ill. a létrejött alakváltozások ne haladják meg a megengedett vagy előírt értéket. A gyártástechnológiából szintén adódhatnak korlátozások, amit ki kell elégíteni. Szerszámgépeknél, rezgésre hajlamos szerkezeteknél fontos, hogy ne jöjjenek létre káros rezgések emiatt rezgéscsillapítás-korlátozást szokás előírni. Ez különösen a rétegezett (szendvics) szerkezeteknél fordul elő. Különböző rendszereknél, folyamatoknál szükség van a megengedett hőmérséklet, nyomás, hőveszteség, stb. korlátozására, ami szintén korlátozási feltételeket eredményez. A geometriai méreteknek sok esetben egy bizonyos tartományon belül kell elhelyezkedniük, ezért e feltételeket geometriai korlátozásoknak nevezzük.

---

Az általános áttekintés után az optimális méretezésre különböző szakirodalmi ill. saját eredményeket mutatunk be. A bemutatott példák az optimálás lényegét mutatjuk be, a részletekre nem térünk ki, hanem mindig megadjuk, hogy hol található meg a probléma részletes tárgyalása.

#### 4. Az optimális méretezés alkalmazásai

##### 4.1. A szerkezetoptimálás folyamata

A szerkezetoptimálást az ún. szerkezetszintézist a [22] alapján három fő szakaszra bonthatjuk.

1. *A mérnöki-tervezői előkészítő fázis (analízis):*

- az anyagok, a szerkezettípus, a gyártástechnológia megválasztása;
- a korlátozási (méretezési) feltételek megfogalmazása a kutatási eredmények és előírások alapján;
- a célfüggvény felépítése.

2. *Matematikai munkafázis:*

- a célfüggvény minimumának meghatározása a korlátozási feltételek figyelembevételével.

3. *Mérnöki-tervezői értékelő, feldolgozó fázis:*

- érzékenység vizsgálat, méretezési diagramok kidolgozása, beépítés magasabb szintű rendszerekbe.

Az érzékenység vizsgálat azért fontos, mert az optimálás során a kapott eredményeket gyakran kerekíteni kell és emiatt eltérünk az optimális értékektől. Az érzékenység vizsgálat során meg kell vizsgálni, hogy a célfüggvény minimuma mennyire érzékeny a változók esetleges módosítására.

Az optimális méretezésnek a szerkezettervezésben történő alkalmazását szemléletesen mutatja be [23], [24]-es könyv.

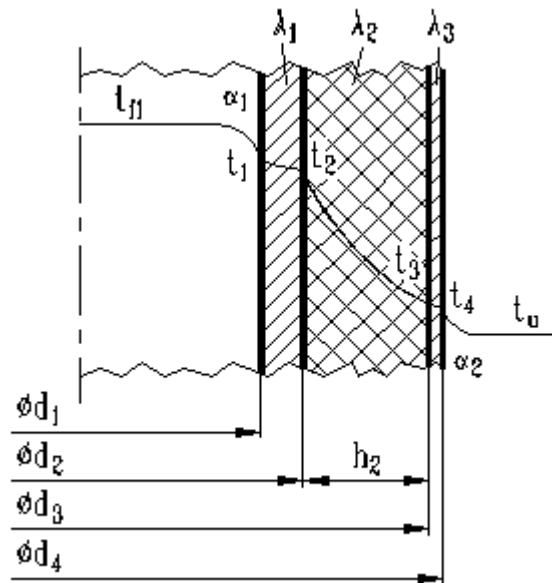
##### 4.2. Csővezeték optimális szigetelőréteg vastagságának meghatározása

Az alábbiakban a [25] alapján röviden ismertetjük a meleg közeg szállító csővezeték optimális szigetelőréteg vastagságának meghatározását. A 7. ábra a cső falában kialakult hőmérséklet eloszlást mutatja. Optimálás során ismeretlennek tekintjük a szigetelőréteg vastagságát ( $h_2$ ). Az ábrán látható mennyiségek jelentése a következő:  $t_n$  – a meleg közeg hőmérséklete;  $t_1, t_2, t_3, t_4$  – a falhőmérséklet értéke a jelölt pontban;  $t_u$  – a környezeti (levegő) hőmérséklet;  $\alpha_1$  ill.  $\alpha_2$  – a cső belső falán ill. a szigetelt cső külső felületén értelmezett hőátadási tényező;  $\lambda_1$  – a csőfal hővezetési tényezője;  $\lambda_2$  – a szigetelő réteg hővezetési tényezője;  $\lambda_3$  – a szigetelést burkoló (alumínium) lemez hővezetési tényezője.

A célfüggvény (K) esetünkben az alábbi költségösszetevőket tartalmazza:

- a szigetelést borító lemez költségét ( $K_a$ )
  - a lemez vágásának ( $K_v$ ), peremezésének ( $K_p$ ) és mivel szegecseléssel kapcsoljuk őket össze, ezért a szegecselés költségét ( $K_{sz}$ ) is;
  - a csővezeték anyagköltségét ( $K_{csa}$ );
-

- a cső tisztításának költségét ( $K_t$ );
- a csőszakaszok egymáshoz hegesztésének költségét ( $K_h$ );
- a szigetelőréteg elkészítésének (habosításának) költségét ( $K_{hab}$ );
- a hőveszteség költségét ( $K_{hő}$ ). A szigetelt cső külső felülete és a környezeti (levegő) hőmérséklete között különbség van, emiatt a környezetbe hő adódik át. Ez különösen télen jelentős hőveszteséget okozhat.



7. ábra. Hőmérséklet-eloszlás a szigetelt cső falában

A fenti költségösszetevőket figyelembe véve a célfüggvény:

$$K = K_a + K_v + K_p + K_{sz} + K_{csa} + K_t + K_h + K_{hab} + K_{hő}.$$

A korlátozási feltételeket a feladat műszaki tartalmának megfelelően az alábbiak szerint fogalmazzuk meg:

- a megengedett hőveszteség korlátozása;
- a szigetelt cső külső falhőmérsékletének korlátozása.

A megengedett hőveszteség értékét a műszaki hőtani ismeretek alapján tudjuk számítani. A hőveszteség mértékét azért kell korlátozni, mert ez téli időszakban, szabad térben üzemelő csővezeték esetén tekintélyes lehet. A hőveszteséggel összefüggésben van a külső falhőmérséklet, melynek értékét szintén korlátozni kell. A  $t_4$  falhőmérséklet nem lehet nagyobb a megengedett  $t_m$  értéknél.

A 3. táblázat a költségfüggvény minimumát ( $K_{min}$ ), ezen belül egy adott időszakra vonatkoztatva a hőveszteség költségét ( $K_{hő}$ ) és az optimális szigetelőréteg vastagságát ( $h_2$ ) ismerteti,  $d_1=100$  mm belső átmérőjű és  $l=500$  m hosszú csővezeték esetén.

**3. táblázat.** A költségminimum és az optimális szigetelőréteg vastagság változása különböző környezeti ill. falhőmérséklet esetén

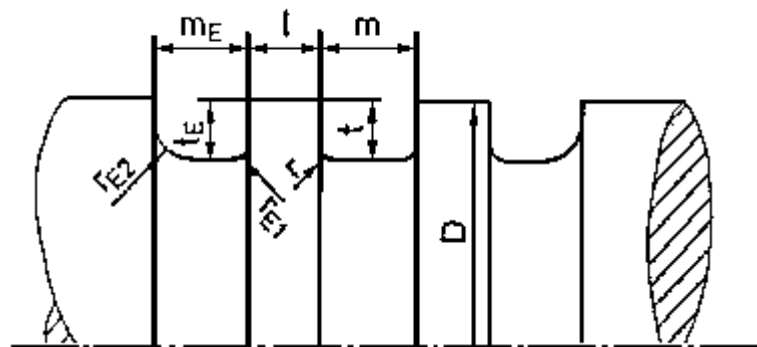
$T_u$ [°C]	$t_{\text{meg}}$ [°C]	$K_{\text{min}}$ [HUF]	$h_2$ [mm]	$K_{\text{hő}}$ [HUF]
-15	-5	1118909	48,5	257000
-15	0	1073739	33,6	331000
-15	5	1072189	31,0	351000
0	10	1084263	45,2	249000
0	15	1045354	31,2	322000
0	20	1044732	29,6	335000
15	25	1048922	41,8	241000
15	30	1016431	28,8	313000
15	35	1016338	28,2	318000

A környezeti hőmérséklet ( $t_u$ ) és a megengedett külső falhőmérséklet ( $t_4$ ) változik.

A [26]-os irodalomban egy kétrétegű hőszigeteléssel ellátott csővezeték optimális méretezésére találunk példát.

#### 4.3. Biztosító gyűrűk tehermentesítő hornyainak optimalása

Ismeretes, hogy a tengelyeken levő hirtelen keresztmetszet változások feszültségkoncentrációt eredményeznek, ami jelentősen csökkentheti a tengelyek élettartamát. Ugyanakkor az is tény, hogy a kialakult feszültségkoncentrációt beszűrésokkal (tehermentesítő hornyokkal) csökkenteni lehet (8. ábra). A DIN 471 szerint biztosító gyűrűk (Seger-gyűrűk) alkalmazásakor általában derékszögű-négyszög alakú hornyokat készítenek, melyek jelentős feszültségcsökkentést okozhatnak.



**8. ábra.** A főhorony és a tehermentesítő horony kialakítása

Ebben az esetben felvetődik a kérdés, hogy a feszültségkoncentrációt milyen geometriai kialakítású horonnyal lehet hatékonyan csökkenteni. E kérdésre a [27]-es irodalomban bemutatott megoldással lehet válaszolni. A feszültségkoncentráció a bruttó alaktényezővel szoros összefüggésben van.

Esetünkben *célfüggvénynek* tehát a főhorony bruttó alaktényezőjét tekintjük és ezt kívánjuk minimális értékre szorítani úgy, hogy ismeretleneknek a főhorony lekerekítési sugarát ( $r$ ), valamint a

tehermentesítő horony mélységét ( $t_E$ ) és lekerekítési sugarait ( $r_{E1}$ ,  $r_{E2}$ ) tekintjük. A célfüggvény (a bruttó alaktényező):

$$\alpha_{kH} = c_a + c_0 \sqrt{c_1 \frac{t}{r}}, \quad \text{ahol } c_a, c_0 \text{ és } c_1 \text{ állandók.}$$

A *korlátozási feltételek* megfogalmazásakor ügyelni kell arra, hogy a baloldali és a jobboldali tehermentesítő horony (8. ábra) bruttó alaktényezője ne legyen nagyobb a főhorony (középső) alaktényezőjénél, mert akkor megszűnik a tehermentesítő hatás. Ennek megfelelően az alaktényezőre vonatkozó korlátozási feltételek:

$$\alpha_{kE1} \leq \alpha_{kH},$$

$$\alpha_{kE2} \leq \alpha_{kH},$$

ahol:

$$\alpha_{kE1} = c_a + c_0 \sqrt{c_2 \frac{t}{r_{E1}}}, \quad \alpha_{kE2} = c_a + c_0 \sqrt{c_3 \frac{t}{r_{E2}}},$$

ahol  $c_2$ ,  $c_3$  állandók.

A változók értékeire vonatkozó korlátozási feltételek az alábbiak:

$$r \leq 0,1s,$$

$$0,1 \leq r_{E1} \leq t,$$

$$0,1 \leq r_{E2} \leq t,$$

$$0,1 \leq t_E \leq 2t,$$

ahol  $s$  a gyűrű vastagsága.

A célfüggvény és a korlátozási feltételek megfogalmazása után konkrét értékekkel megoldottuk az optimálási feladatot.

A horony optimális geometriai méretei:  $r_{E1}=0,62$  mm;  $r_{E2}=1,25$  mm;  $t_E=1,45$  mm;  $r=0,15$  mm.

Az optimális kialakítású horornál végeelemes módszerrel kiszámítottuk a feszültségeket a főhoronyban ( $\sigma_{\max,H}=236$  N/mm<sup>2</sup>) és a tehermentesítő horonyban az 1-es és 2-es sugárnál ( $\sigma_{\max,E1}=233$  N/mm<sup>2</sup>;  $\sigma_{\max,E2}=237$  N/mm<sup>2</sup>). Az eredményből látható, hogy a maximális feszültségek a főhoronyban és a tehermentesítő horonyban szinte megegyeznek, ami gyakorlati szempontból kedvező. Az optimálistól eltérő geometriai kialakítású hornyokat is vizsgáltunk, de a kapott értékek a várakozásnak megfelelően rosszabbak lettek. A számítási eredményeket a kísérleti vizsgálatok igazolták.

#### 4.4. Rácsos tartószerkezet optimálása

A rácsos szerkezetek optimálására vonatkozóan számos szakirodalmi példát találunk. Az optimálási feladatoknál legtöbbször két eset fordul elő:

- adott a szerkezet geometriai kialakítása és emiatt ismeretlenként a rúdkeresztmetszetek szerepelnek;

- a szerkezet geometriai kialakítása nincs mereven lerögzítve, ezért a geometriai kialakítást is optimalni kell.

Célfüggvénynek:

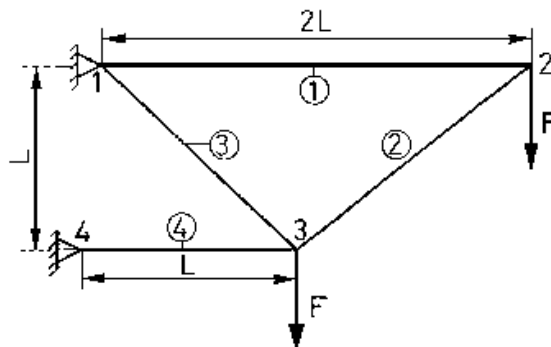
- a szerkezet térfogatát ( $f_1(\underline{x})$ );
- a 2-es csomópont elmozdulását ( $f_2(\underline{x})$ ) és
- a 3-as csomópont elmozdulását ( $f_3(\underline{x})$ ) választjuk.

Mivel három célfüggvénnyel állunk szemben, ezért a feladat a 2.2 fejezet szerint a több cél-függvényes optimalás módszereivel oldható meg. Az egyik megoldási módszer az ún. súlyozásos módszer, melynek lényege, hogy a célfüggvényeket megszorozzuk a súlyozó tényezővel ( $w_i$ ) majd összeadással egyetlen célfüggvényt állítunk elő:

$$F(\underline{x}) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(\underline{x}),$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i \geq 0.$$

Látható, hogy a súlyozó tényezőknek nullánál nagyobbak kell lenniük, összegük pedig egy.



9. ábra. A rácsos tartó felépítése

A 9. ábrán látható tartó geometriai kialakítását adottnak tekintjük és ismeretlennek a négy rúd keresztmetszetét ( $A_i$ ) választjuk. Ily módon a célfüggvények:

- a szerkezet térfogata

$$f_1(\underline{x}) = \sum_{i=1}^4 A_i l_i,$$

ahol  $l_i$  az egyes rudak hossza;

- a 2-es csomópont elmozdulása

$$f_2(\underline{x}) = u_1,$$

- a 3-as csomópont elmozdulása

$$f_3(\underline{x}) = u_2.$$

A korlátozási feltételek az egyes rudak minimális keresztmetszetére vonatkoznak, vagyis egy minimális értéknél ( $A_{\min}$ ) nagyobbak kell lenniük:

$$A_{\min} \leq A_i, \quad i=1, 2, \dots, 4.$$

A tartó optimalizálásához az alábbi értékeket tekintjük állandónak:

$$F=10 \text{ kN}; E=210 \text{ GPa}; L=2 \text{ m}; A_{\min}=0,001 \text{ m}^2.$$

A számítások eredményeit a 4. táblázat foglalja össze.

**4. táblázat.** A rácsos tartó optimalizálásának eredményei

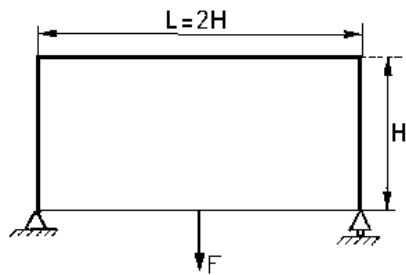
Súlyozó tényezők	Optimális keresztmetszetek	Minimális térfogat [cm <sup>3</sup> ]	A2-es csomópont elmozdulása [mm]	A3-as csomópont elmozdulása [mm]
w <sub>1</sub> =0,8 w <sub>2</sub> =0,1 w <sub>3</sub> =0,1	A <sub>1</sub> =1,430 A <sub>2</sub> =0,988 A <sub>3</sub> =3,728 A <sub>4</sub> =3,745	2656	7,378	2,318
w <sub>1</sub> =0,10 w <sub>2</sub> =0,45 w <sub>3</sub> =0,45	A <sub>1</sub> =2,508 A <sub>2</sub> =2,300 A <sub>3</sub> =7,827 A <sub>4</sub> =7,900	5448	3,500	1,100

A 4. táblázatból látható, hogy ha a szerkezet térfogatát nagyobb súlyozó tényezővel vesszük figyelembe, akkor az elmozdulások viszonylag nagyok lesznek, a térfogat azonban kicsi. Ha a csomópontok elmozdulását csökkenteni kívánjuk, akkor meg kell növelni a súlyozó tényezőjüket (w<sub>2</sub>=0,45; w<sub>3</sub>=0,45). Ebben az esetben egy nagyobb térfogatú, merevebb szerkezetet kapunk. Az eredményekből látható, hogy több célfüggvényes optimalizáláskor vizsgálható az egyes célfüggvények fontossága és ehhez kapcsolódóan az optimális megoldás érzékenysége.

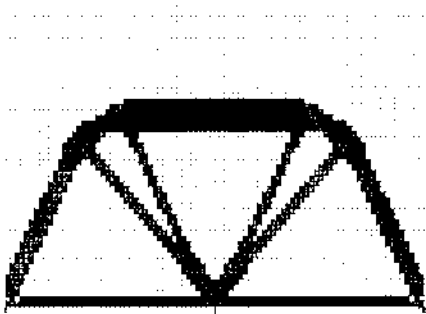
#### 4.5. Az evolúciós algoritmus alkalmazása tartószerkezet optimalizására

A utóbbi években az optimalizálás terén előretört az evolúciós algoritmusok alkalmazása. A módszert nemcsak szerkezetoptimalizálásra, hanem a legkülönbözőbb típusú feladatok megoldására használják. A [11]-es irodalomban szemléletes példát találunk egy üvegház paramétereinek optimalizására. A [12]-es irodalom bemutatja az evolúciós szerkezetoptimalizálást, majd számos alkalmazást ismertet. A módszer lényege, hogy a szerkezetet végeselemekre bontja, majd a kevésbé igénybe vett elemeket eltávolítja és így valójában egy feszültségre kihasznált konstrukciót kapunk. Az eltávolítás a megadott mértékig folytatódik úgy, hogy a megoldás fokozatosan az optimum felé halad. Az egyes elemekben a redukált feszültségeket a Huber-Mises-Hencky elmélet alapján számítja. A szerkezet optimális alakját az ún. csökkentési arány (RR) szerint számítja:

$$\frac{\sigma_e^{\text{HMH}}}{\sigma_{\max}^{\text{HMH}}} \leq \text{RR}_i,$$



10. ábra. A tartó alakja optimalás előtt



11. ábra. Az optimalis tartó

ahol  $\sigma_e^{HMH}$  - az elem maximális feszültsége;  $\sigma_{\max}^{HMH}$  - a teljes szerkezet maximális feszültsége;  $RR_i$  – az i-edik csökkentési arány vagy eltávolítási hányados.

A módszer felhasználásával több rácsos tartót optimaltunk, közülük a 10. ábrán látható tartóra vonatkozó megoldást ismertetjük. Feladatunk, hogy az ábrán látható tartóból kiindulva meghatározzuk az optimális rácsos tartót. A kiindulási állapotban a tartó egy 10 mm vastagságú és  $H=500$  mm méretű tömör lemez. Az optimalást különböző terhelőerők esetén végeztük el és közben vizsgáltuk a feszültség szintet, valamint az eltávolított anyag térfogatának alakulását. Az optimalás eredményeként kapott tartó a 11. ábrán látható. Mivel optimalás során az egyes elemekben a feszültségek értékét is számítja a program, ezért végeredményként a teljes szerkezet feszültségállapota is ismert lesz. Ennek ellenőrzése céljából elkészítettük az optimális tartót és nyúlásméréssel ellenőriztük a számítások helyességét.

#### 4.6. További alkalmazások

Az optimális méretezés gyakorlati alkalmazására vonatkozóan számos példát találunk a szakirodalomban. Közülük néhány érdekesebb megoldást célszerű megemlíteni. A [28]-as irodalom tárcsafék, hőcserélő axiális ventilátor optimalását mutatja be. A [29]-ben egyéb alkalmazások mellett ágyúcső, a [30]-as cikkben egy villáskulcs alakoptimalását követhetjük nyomon. A példákat tovább lehetne folytatni mivel az optimalás témakörében már nemzetközi konferenciákat rendeznek és folyóiratok jelennek meg. Elmondható, hogy az optimalás ma már a mérnöki gyakorlat részévé vált.

#### Könyvészet

- 1] RAO, S.S.: *Optimization theory and applications*, Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1984.
- 2] BELEGUNDU, A.D.–CHANDRUPATLA, T.R.: *Optimization concepts and application in engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999.
- 3] WASHIZU, K.: *Variational methods in elasticity and plasticity*, Pergamon Press, Oxford, 1982.
- 4] DANTZIG, G.B.: *Linear programming and extensions*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1963.

- 5] KUHN, H.W.–TUCKER, A.: *Nonlinear programming*, Proc. of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press, Berkeley, 1951.
  - 6] SCHMIT, L.A.: *Structural design by systematic synthesis*, Proc. of the Second Conference on Electronic Computation, ASCE, New York, 1960. p.:105-122.
  - 7] CAROLL, C.W.: *The created response surface techniques for optimizing nonlinear, restrained systems*, Operations Research 9(1961), No.2. p.:169-184.
  - 8] FIACCO, A.V.–MCCORMICK, G.P.: *Nonlinear programming: sequential unconstrained minimization techniques*, Wiley, New York, 1968.
  - 9] DUFFIN, R.J.–PETERSON, E.–ZENER, C.: *Geometric programming*, Wiley, New York, 1967.
  - 10] HERNANDEZ, S.–EL-SAYED, M.–et al.(ed.): *Structural optimization. Computer Aided Optimum Design of Structures IV. Computation Mechanics Publications*, Southampton, 1995.
  - 11] POHLHEIM, H.: *Evolutionäre Algorithmen*, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
  - 12] XIE, Y.M.–STEVEN, G.P.: *Evolutionary Structural Optimization*, Springer-Verlag, Berlin, 1997.
  - 13] EHRENSPIEL, K.–KIEWERT, A.–LINDEMANN, U.: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren*, Springer-Verlag, Berlin, 1978.
  - 14] PAHL, G.–BEELICH, K.H.: *Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlich-keitsbeziehungen für Schweißverbindungen*, VDI-Berichte. Nr.457, 1982. p.:129-141.
  - 15] GLIMM, G.: *Früherkennung der Entwicklungs- und Konstruktionskosten*, VDI-Berichte. Nr.457, 1982. p.:173-193.
  - 16] PAHL, G.–BEELICH, K.H.: *Methoden zur Kostenerkennung* Konstruktion 39(1987) No.7, p.:267-274.
  - 17] BUSCH, W.: *Fünf Jahre Erfahrung mit Relativkosten in der Industrie*. VDI-Berichte, Nr.457, 1982. pp.:53-60.
  - 18] PACYNA, H.–HILLEBRAND, A.–RUTZ, A.: *Kostenfrüherkennung für Gußteile*, VDI-Berichte, Nr.457, 1982. pp.:103-114.
  - 19] PAHL, G.–RIEG, F.: *Kostenwachstumsgesetze für Baureihen*, Carl Hauser Verlag, München, 1984.
  - 20] RACHOR, N.: *Kostengünstig gestalten mit Operationselementen und Kostenstrukturen*, TH Darmstadt, 1986.
  - 21] MUTTNYÁNSZKY ÁDÁM: *Szilárdságtan*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
  - 22] FARKAS J.–TIMÁR I.: *Fémszerkezetek optimális méretezése*, BME Továbbképző Intézet. Budapest., 1985.
  - 23] FARKAS J.: *Optimum design of metal structures*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984.
-

- 24] JÁRMAI K.–IVÁNYI M.: *Gazdaságos fémszerkezetek analízise és tervezése*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001.
- 25] TIMÁR I.–BORBÉLY T.: *Optimization of insulated pipelines*, Publ.Univ.of Miskolc, Series C. Mechanical Engineering, Vol.47. (1997) pp.:253-258.
- 26] TIMÁR I.–ÁRPÁD I.: *Csővezetékek hőszigetelésének optimalása*, Energiagazdálkodás 27(1986), pp.: 449-459.
- 27] BORDÁS K.–HEINRICH, J.–TIMÁR I.: *Optimierung von Entlastungskerbén an Sicherungsringnuten*, Konstruktion 37(1985), pp.:61-65.
- 28] SIDDAL, J.N.: *Optimal Engineering design*, Marcel Dekker, New York, 1982.
- 29] HAUG, E.J.–ARORA, J.S.: *Applied Optimal design*, Wiley&Sohns, New York, 1979.
- 30] HERSKOVITS, J.–DIAS, G.–SANTOS, G.–et al.: *Shape structural optimization with an interior point nonlinear programming algorithm* Struct. Mulidisc. Optim 20(2000), pp.:107-115.

## Vasalapú szerkezeti anyagok

Dr. Bicsak Jenő, egyetemi tanár  
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Anyagtudományi és Mérnöki Kar,  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék

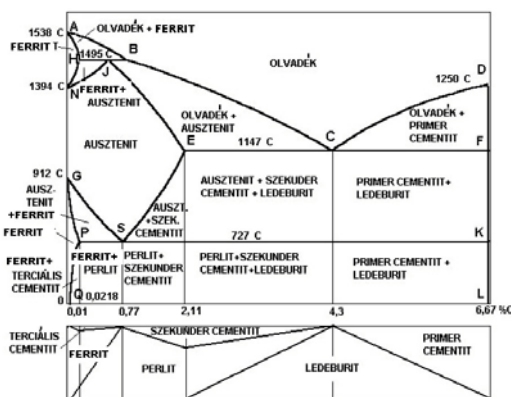
### 1. Bevezetés

A vas ma az egyik legnagyobb mennyiségben használt ipari anyag, különösen annak szénnel alkotott ötvözete. A föld szilárd kérgében a vas, az oxigén (47% ), szilícium (29% ) és az alumínium (8,8% ) után a legnagyobb mennyiségben, 4,65% -ban fordul elő. Az iparban és a mindennapi életben felhasznált fémmennyiség 94% -a vasötvözet (kb.150 kg/fő/év), mivel az előállításának energiaszükséglete az összes többi fémekhez viszonyítva a legkisebb: 18–20 GJ/t (pl. az alumínium gyártása 60–80 GJ/t, a réz 200-280 GJ/t energiát igényel).

A *ferrum* elnevezés a rómaiaktól származik, a magyar nyelvben a *vas* szó urali időkből lett átvéve és eredetileg rezeset jelenthetett, mint ma is a finn és az észti nyelvekben. Az emberi civilizáció az időszámításunk előtti IX–VII. században kezdi előállítani és felhasználni a vasat (vaskorszak), mint fegyverek és szerszámok anyagait, de az ipari vaskohászat csak az angol polgári forradalom után, a XVII. században jelenik meg a társadalom gazdasági fejlődésének alapvető mérföldköveként, a vasútépítés és a szövőgépgyártás kapcsán. Magyarországon az acélgyártás a XVIII. században válik ipari méretűvé a borsodi iparvidéken, Erdélyben meg a vajdahunyadi, resicai tájakon. Ugyanakkor bányásztak és nyersvasat állítottak elő széntüzelésű hutákban Torockón, Szentkeresztbányán stb. már a XVII. század végétől.

### 2. A vasötvözetek szerkezete

Az alapvető vasötvözet a vas és szén alkotókból áll, ezek osztályozása és szövetszerkezete a Fe-C állapot diagram alapján tanulmányozható (1. ábra).



1. ábra. A vas-szén ötvözetek egyensúlyi diagramja és szövetelem állapotábrája

A vas polimorf fém, amelynek a hőmérséklettől függően, az olvadásponton kívül ( $1538^{\circ}\text{C}$ ), a szilárd állapotban két fázismódosulata van: az első kritikus pont hőmérséklete  $912^{\circ}\text{C}$  ( $A_3$ ), melyen a térközepes köbös kristályrácsú  $\alpha$ -vas (ferrit) lapközepes köbös  $\gamma$ -vassá (ausztenit) alakul, a második pont  $1394^{\circ}\text{C}$ -on van ( $A_4$ ), melyen a lapközepes  $\gamma$ -vas vissza alakul térközepes köbös  $\delta$ -vassá.

A tiszta vas szobahőmérsékleten feromágneses tulajdonsággal rendelkezik, mely az  $A_2$  kritikus hőmérséklet ( $770^{\circ}\text{C}$ ), az ún. Curie pont felett paramágnesessé válik. Az  $A_1$  kritikus pont ( $727^{\circ}\text{C}$ ) csak az acéloknál van jelen és a perlitikus változás hőmérsékletét jellemzi.

A szén a vas-karbon ötvözetekben három különböző formában lehet jelen:

- oldott állapotban ( $\alpha$ ,  $\gamma$ , vagy  $\delta$  szilárd oldat);
- vegyületként, karbidok formájában (pl. a cementit:  $\text{Fe}_3\text{C}$ );
- szabad állapotban (pl. a grafit).

Az  $\alpha$ -vasban (ferritben) maximum  $0,0218\%$  C oldódhat  $727^{\circ}\text{C}$ -on, a  $\gamma$ -vasban (ausztenitben) legtöbb  $2,14\%$  szén oldódik  $1147^{\circ}\text{C}$  -on és végül a  $\delta$ -vas max.  $0,17\%$  C-et oldhat  $1493^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten ( $\delta$  ferrit). A folyékony vasban a szén oldhatósága végtelen.

A kétalkotós vas-szén ötvözetek egyensúlyi állapot diagramja tulajdonképpen három részből áll: a *primér diagram*  $1147^{\circ}\text{C}$ -ig a krisrályosodást jellemzi és ez egy korlátozott, a hőmérséklet függvényében változó szén oldhatóságú, eutektikus és egy peritektikus reakciójú diagram, a *szekunder diagram*  $727$ - $1147^{\circ}\text{C}$  között létezik, melynek legfontosabb jellemzője az eutektoidikus reakció és végül egy *terciális diagram*  $727^{\circ}\text{C}$  alatt, mely egy csökkenő szénoldhatóságú egyszerű diagram.

A vas-szén ötvözetekre tulajdonképpen három fázis jelenléte a jellemző: ferrit, cementit és a magasabb hőmérsékleteken az ausztenit. A *ferrit* egy térközepes köbös vas-szén szilárd oldat, melynek a szakítószilárdsága kicsi ( $300\text{ MPa}$ ), a nyúlása nagy ( $40$ - $60\%$ ), lágy és jó az alakíthatósága. A *cementit* egy rombos rendszerben kristályosodó, nagyon kemény ( $700\text{ HB}$ ), rideg, nem alakítható vaskarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), mely csökkenti az ötvözetek alakíthatóságát, de kedvező elosztásban növeli az anyag szilárdságát, keménységét és a kopásállóságát. Az *ausztenit* szintén egy szilárd vas-szén oldat, mely lapközepes köbös rendszerben kristályosodik, sok szént tud oldani (max.  $2,14\%$ ), lágy, rendkívül jól alakítható, nem mágnesezhető, de csak  $727^{\circ}\text{C}$  felett stabil, egészen  $1493^{\circ}\text{C}$ -ig. A  $\delta$ -ferrit ugyan olyan mint az  $\alpha$ -ferrit, de csak  $1394^{\circ}\text{C}$  felett jelenkezik egészen az olvadás pontig, szintén nem mágnesezhető és gyakorlatilag az esetek nagyobb részében nincs ipari fontossága.

A vas-szén ötvözetekre jellemző még két szövetelem jelenléte: a *ledeburit*, mely egy kétfázisú, cementitbe ágyazott ausztenitből álló,  $1147^{\circ}\text{C}$ -on és  $4,3\%$  C-tartalomnál alakuló, nagyon kemény és rideg eutektikum, és a *perlit*, mely egy  $727^{\circ}\text{C}$ -on,  $0,77\%$  C-os széntartalmú ausztenit szétbomlása útján létrejövő, cementit és ferrit fázisokból rétegeződött eutektoidikum. A perlit keménysége kb.  $180\text{ HB}$ , szilárdsága  $800\text{ MPa}$ , nyúlása  $10\%$ , és aránylag képlékenyen, jól alakítható.

A vas-szén ötvözetek két nagy csoportját különböztetik meg:

- *acélok*:  $0$ - $2,11\%$  széntartalommal,
  - *öntöttvasak*:  $2,11$ - $6,67\%$  széntartalommal.
-

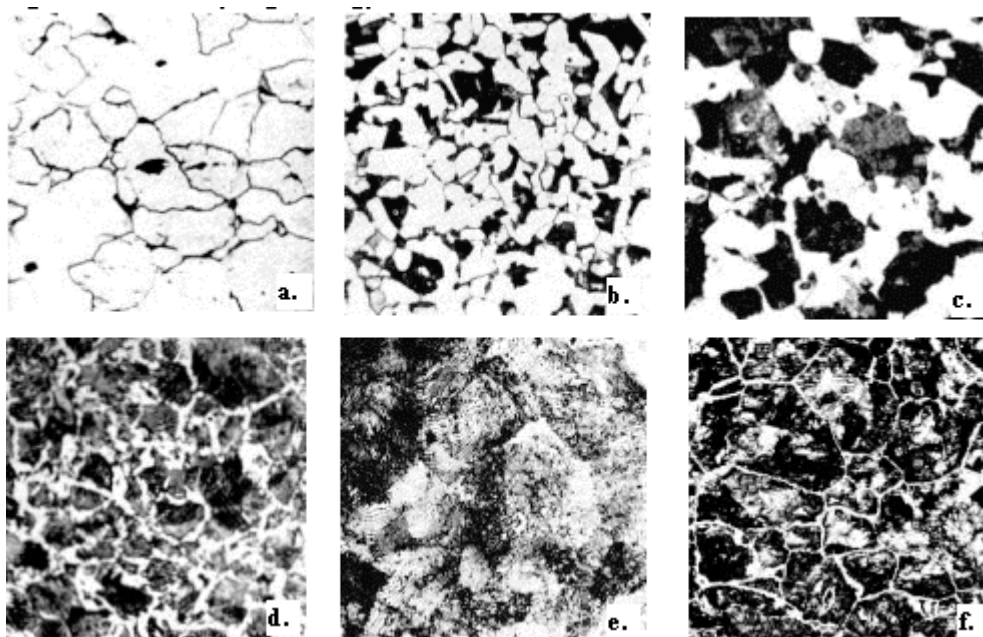
A tiszta vas-szén ötvözetekben gyors, például levegőn való lehűléskor, a szén cementit alakjában jelenkezik, az ennek megfelelő állapotdiagramot *metastabil Fe-C diagramnak* nevezik, lassú lehűléskor és egyes ötvöző elemek (például Si) hatására a szén grafit lemezek alakjában kristályosodik, a megfelelő diagramot pedig *stabil Fe-C diagramnak* nevezik.

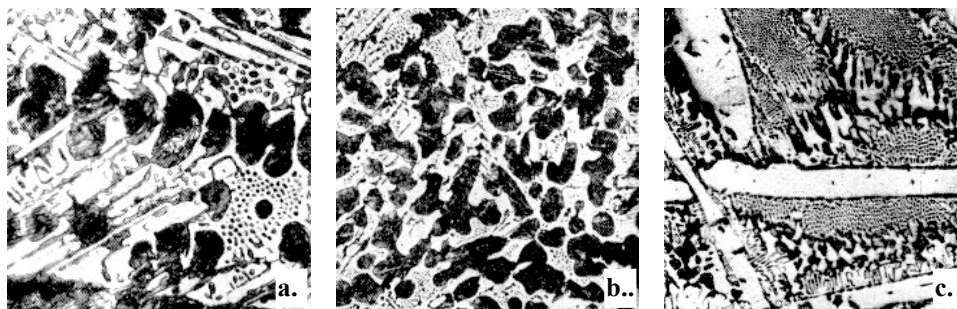
A metastabil vas-szén diagramban jelenkező öntöttvasakat *fehérvasaknak* hívják, mivel ezen anyagok törete fehér színű, a szövetben nagy mennyiségben jelen levő cementit fázisból kifolyólag. A stabil Fe-C rendszerben az elemi szén grafit alakjában van jelen, ezáltal töretük szürke színű és az ilyen öntöttvasakat *szürkevasnak* nevezik.

A *grafit* elemi szén, amely egyszerű, réteges, hexagonális rendszerben kristályosodik, a szilárdsága és keménysége nagyon kicsi, erősen csökkentve a szürkeöntvények szilárdságát, alakíthatóságát és az ütőmunka ellenállását. Attól függően, hogy a grafit milyen mennyiségben és alakban van jelen, a szürkeöntvények tulajdonságai tág határok között változhatnak. A grafitos kristályosodás függ a lehűlési sebességtől és az öntöttvasban jelen levő ötvöző elemektől.

Az acélok karakterisztikus szövetszerkezeteinek mikroszkópikus képei a 2. ábrán láthatók.

A ferritikus szövet *(a.)* nagy fehér poligonális krisztalítokból áll, melyben néhol a ferrit szemcsék között kevés szintén fehér színű tercier cementit látható. Nagyobb széntartalmú acéloknak poligonális sokkristályos ferrito-perlitikus szövete van *(b.)* mely fehér ferrit szemcsékből és fekete perlit szemcsékből tevődik össze. A széntartalom növekedésével a perlit szemcsék mennyisége nő *(c.)*. A nagy szén tartalmú (0,6-0,7% C) acélok esetében *(d.)* a perlito-ferritikus szövet szemcse nagysága megnő és a kevés mennyiségű ferritkrisztalítok a perlit szemcsék között jelenkeznek, fehér hálós formájában. Az eutektoidos, 0,8% C tartalmú acélok *(e.)* teljesen perlitikus szövetet mutatnak, amelyben a perlit szemcsék nagy részben lemezes alszerkezetűek, amit azonban csak nagy nagyításban lehet megfigyelni. A hipereutektoidos acélok szövete szintén polikrisztalitikus, melyben a nagy fekete perlit szemcséket fehér szekunder cementit háló veszi körül *(f.)*.





2. ábra

*Lassan hűtött ötvözetlen szénacélok fontosabb szövetszerkezetei: a. 0,05% C tartalmú acél ferritikus szövete; b. 0,15% C szénacél ferrito-perlitikus szerkezete; c. 0,45% C tartalmú perlito-ferritikus szövet; d. 0,60% C tartalmú ferrithálós perlito-ferritikus szerkezet; e. 0,80% C eutektoidikus acél perlitikus szövete; f. 1,0% C tartalmú hipereutektoidos acél szekunder cementit hálós perlitikus szerkezete (Nital, 300:1)*

A metastabil vas-szén diagramban jelentkező öntött fehérvas-ötvözetek két fontosabb szövetalakot tartalmaznak fekete perlit alakzatok és fehér cementit mezők formájában (3. ábra).

A hipoeutektikus fehér öntvények szerkezete 2,7-3,8% széntartalom között, fekete dendritikus, vagy gömb formájú perlit mezőket mutat, fehér szekunder cementit mezőkkel körülfogva, melyben néhol ledeburit alakzatok jelentkeznek (a.). Ezt a szerkezetet a gyakorlatban csak a szürke temper öntvények eredeti öntött, még nem hőkezelt, állapotában találhatjuk, mikor is az anyag nagyon kemény, rideg és törékeny. Az eutektikus, 4,3% C tartalmú öntöttvas ledeburitikus szerkezete, fehér cementit alapmezőben megjelenő finom fekete dendritikus vagy globuláris perlit alakzatok sokaságából áll (b.). A hipereutektikus öntvények esetében (4,3-6,63% C) nagy fehér primer cementit tűk (lapok) jelennek meg, ledeburitikus alap mezőben (c.). E két utóbbi anyagszerkezet a nagy cementit tartalom miatt, szintén nagyon kemény és törékeny, a gyakorlatban csak első olvasztású kúpoló kemencében előállított fehérvas öntvényekben található.

3. ábra

*Metastabil állapotú fehérvas öntvények jellemző szövetszerkezetei.  
(a. 3,5% C-el; b. 4,3% C-el; c. 5,5% C széntartalommal) (Nital, 100:1)*

A gyakorlatban használt acélok túlnyomó részt vasat és 2% -nál kevesebb korbont tartalmaznak, de emellett még tartalmaznak úgynevezett szennyező és ötvöző elemeket:

$$\text{Acél} = \text{Fe} + \text{C} + \text{szennyező (+ötvöző) elemek}$$

A szennyező elemek olyan, az acél előállítása során visszamaradt elemek, amelyek annak tulajdonságait lerontják, miáltal a gyártási eljárások folyamán a visszamaradt mennyiségét minél kisebb értékre igyekeznek lecsökkenteni. Az ötvöző elemeket az acélgyártás folyamán beleviszik az anyagba, azon célból, hogy bizonyos tulajdonságait feljavítsák.

### 3. Az vas ötvözetek osztályozása

Az egyensúly diagram szerint az acélok az eutektoidikus pont széntartalmához (0,77% C) viszonyítva három csoportba oszthatók:

- *hipoeutektoidos acélok* (0-0,77% C);
- *eutektoidos acélok* (0,77% C);
- *hipereutektoidos acélok* (0,77-2,11% C).

Az öntöttvasak az eutektikus pont szerint feloszthatók:

- *hipoeutektikus öntöttvasak* (2,11-4,3% C);
- *eutektikus öntöttvasak* (4,3% C);
- *hipereutektikus öntöttvasak* (4,3-6,67% C).

A vegyi összetétel alapján az acélok feloszthatók:

- *ötvöztelen vagy szén acélokra*, amely a karbonon kívül nem tartalmaznak szándékosan bevitt elemeket, csak olyanokat, amelyek az acélok gyártásához szükségesek;
- *ötvözött acélokra*, melyek a mindig megtalálható elemekből a normális módon elérhető legkisebb mennyiségnél többet, vagy pedig ezeken kívül szándékosan hozzá adott elemeket is tartalmaznak.

Az ötvöző elemek mennyisége alapján megkülönböztetnek:

- *gyengén ötvözött acélokat* (az összes ötvözőelem mennyiség max. 5% );
- *közepesen ötvözött acélokat* (az ötvözőelem mennyisége 5-10% );
- *erősen ötvözött acélokat* (10% feletti összötvözőelem mennyiség).

Az acélok minősége szerint vannak:

- *alap acélok* (ötvöztelen acélok, amelyekre nincs előírva olyan minőségi követelmény, amely a gyártás folyamán különleges gondosságot igényelne);
- *minőségi acélok* (különös gondossággal előállított szén vagy gyengén ötvözött acélok, alacsony S és P tartalommal, előírt szemcsemérettel, felületi minőséggel, stb.);
- *nemesacélok* (különleges gondossággal előállított ötvöztelen, vagy ötvözött acélok, amelyeket utólagos hőkezelésnek vetnek alá).

A gyártási mód szerint az acélok lehetnek Siemens-Martin-, konverteres Bessemer vagy Thomas-, levegő-, vagy oxigén befúvásos konverteres-, elektromos ív kemence-, tégely-, vakum- stb. acélok, annak függvényében, hogy milyen típusú kemencében állítják elő és milyen technológiát alkalmaznak.

Az alkalmazott dezoxidálási eljárás alapján gyártanak:

- *csillapítatlan acélokat*, amelyek gyártásánál csak a szokásos oxigén kivonó eljárásokat alkalmaznak;
- *csillapított acélok*, melyeknél az oxigént szilárd halmazállapotú, vegyületeket képző elemekkel lekötik (Si, Mn) és salak formájában eltávolítják;
- *különlegesen csillapított acélok*, melyeknél a dezoxidálás folyamán nitrogént lekötő és szemcsefinomító elemeket is alkalmaznak (Ti, Al, V, Nb).

A szövetszerkezetük függvényében az acélok lehetnek:

- |                           |                                      |
|---------------------------|--------------------------------------|
| – ferrites acélok         | – félausztenites acélok              |
| – félferrites acélok      | – ausztenites acélok                 |
| – ferrito-perlites acélok | – duplex, ausztenito-ferrites acélok |
| – perlito-ferrites acélok | – martenzites acélok                 |

- perlitese acélok
- perlitó-cementitese acélok
- bénitese acélok
- ledeburitose acélok

A felhasználási mód szerint megkülönböztethetők:

- *szervezeti acélok*, melyeket a gép- és járműgyártás, acélszerkezetek gyártása, stb. területen, mint alapanyagot hasznosítanak, kis széntartalommal ( $C=0,25\%$ ), vagy közepes szén tartalommal ( $C=0,2-0,6\%$ ), nemesített szövetszerkezettel. Ezen acéloknál a szilárdság mellett megfelelő szívósságot és képlékenységet is megkövetelnek;
- *szerszám acélok*, melyeket forgácsoló- és alakítóműveletek szerszámai készítésére gyártanak. Ezen acélfajtáknál nemesített állapotban elengedhetetlen a nagy kopásállóság, valamint, hogy a rájuk ható igénybevételeket alakváltozás nélkül elviseljék;
- *különleges acélok és ötvözetek*, melyek általában erősen ötvözöttek, különleges tulajdonságokat mutatnak és speciális esetekben alkalmazzák, mint hőálló, korrózióálló, mágneses, nem hőtáguló, stb. acélok, vagy ötvözetek.

#### 4. A szennyező és ötvöző elemek hatása az acélok tulajdonságaira

A *szennyező elemek* általában csökkentik az acélok minőségét, csökkentik a szilárdságot, képlékenységet, szívósságot, növelik a törékenységet és a melegen vagy hidegen jelentkező repedési hajlamot.

Az *oxigén* a legnemkívánatosabb szennyező elem, mely nagyban csökkenti az acél minden mechanikai és technológiai tulajdonságát. Az oxigén a vasércből, rozsdából vagy a levegőből kerül az anyagba, az acél szerkezetében vegyületek formájában fordul elő ( $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$  stb.) és dezoxidálással, finomítással, vákuumos eljárással stb. távolítják el, úgy, hogy a maradék mennyiség  $0,005\%$  alatt legyen.

A *nitrogén* növeli az acél szilárdságát, keménységét és kopásállóságát, de erősen csökkenti a szívósságát, elősegíti a hidegen alakított acél öregedését és  $300-500\text{ }^{\circ}C$  között előidézi a kéktörékenység jelenségét. A nitrogén a levegőből vagy szerves anyagokból kerül az acél összetételébe és vákuum kezeléssel, vagy nitridképző elemek bevitelével (Al, Ti, Nb) csökkenthető a kedvezőtlen hatása. A megengedett  $N_2$  mennyiség szintén  $0,005\%$ .

A *hidrogén* az acél folyékony állapotában oldódik, de gyors lehűléskor az acél elridegését idézi elő, mikrorepedések kialakulása folytán. Általában nedvességből, rozsdából, vagy szerves anyagokból (olajok, zsírok, festékek, műanyagok) jut az olvadt acélba és teljes kivonása csak vákuumos eljárással érhető el.

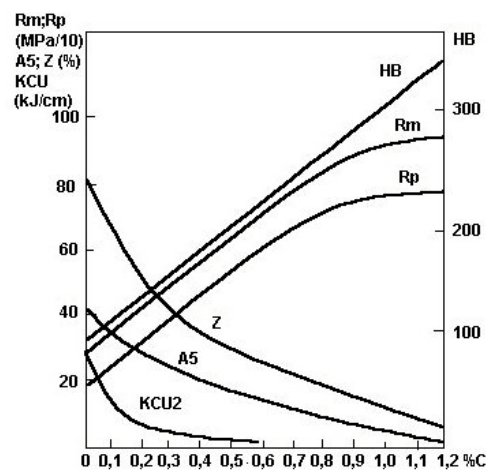
A *kén* szintén nagyon negatív hatású elem, ércből, vagy szerves anyagokból jut a folyékony acélba, mely szilárdulása után annak képlékenységét és korrózióállóságát nagy mértékben csökkenti. Előidézi az acél ún. melegrepedési hajlamát azáltal, hogy vasszulfidot ( $FeS$ ) képez, mely az alapanyaggal  $975\text{ }^{\circ}C$ -on olvadó eutektikumot képez, mely a meleg megmunkálás folyamán megolvad és repedéseket okoz. A ként Mn és Ca kezeléssel kötik meg a nemesítés folyamán. A melegrepedési veszély nagy mértékben csökken, ha a kéntartalom  $0,025\%$ -nál nem nagyobb.

A *foszfor* növeli a szilárdságot, önthetőséget és korrózióállóságot, viszont az acélt hidegen ridegíti, a szemcsehatárokon kiváló  $\text{FeP}_2$ ,  $\text{FeP}_3$  vegyület hatására. Kálciummal való kezeléssel a foszfortartalom 0,025% alá szorítható, amikor hatása már alig jelentkezik.

A *réz* szintén csökkenti az acél képlékenységet, 0,2% felett előidézi a vörös törékenységet, de növeli a szilárdságot és a korrózióállóságot.

Az *ötvözött acélok* legfontosabb adalék elemei a *C, Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Al, Ti, Nb, Co, B, N* stb. Ezeknek különböző pozitív és negatív hatásuk van az acélok tulajdonságaira, de az ötvözés folyamán általában csak a pozitív hatások összegeződnek, úgy, hogy hatásukra javul a mikroszövet finomsága, nő a szilárdság, szívósság, keménység, képlékenység, fáradási ellenállás, edzhetőség, hegeszthetőség, forgácsolási megmunkálhatóság, meleg és hideg ellenállás, kopás-, korrózió- és oxidációellenállás stb.

A *karbon* hatására a szakítószilárdság, keménység és a folyáshatár nőnek, de a szívósság, ütőmunka, szakítási nyúlás és szűkülés jelentősen csökkennek, mint ez a 4. ábrán látható.

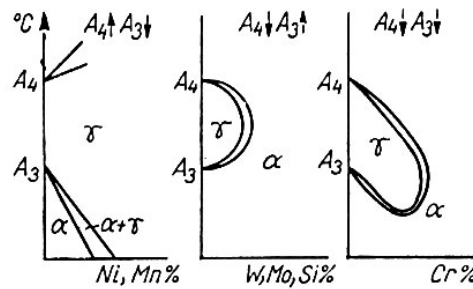


4. ábra

Az ötvözetlen acélok egyes mechanikai tulajdonságainak változása a szén tartalom függvényében  
(HB–keménység,  $R_m$ –szakítószilárdság;  $R_p$ –folyási határ; Z–fajlagos szakító szűkülés;  
A–fajlagos szakító nyúlás;  $KCU_2$ –fajlagos ütőmunka).

Az *ötvöző elemek* többsége oldódik a vasban, a Cr és V korlátlanul, a Co <75% -, Ni <24% -, Si <14% -, Mn <10% -, Mo <32% -, W <32-ig, míg a Ti csak 6% -ig, a Cu meg 1% -ig. A Pb és az Ag a vassal nem alkotnak szilárd oldatot. Ezek az elemek oldódhatnak úgy az ausztenitben, mint a ferritben, megváltoztatva a vas kritikus átlakulási hőmérsékleteit (5. ábra).

---

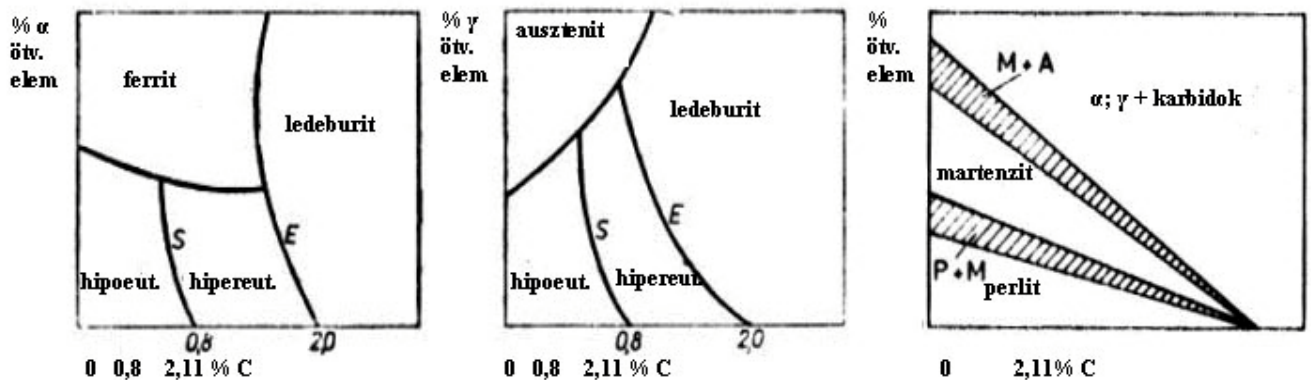


5. ábra. Egyes ötvöző elemek hatása a vas fázisváltozási kritikus hőmérsékleteire

Ezek szerint vannak úgynevezett  $\gamma$ -gén, ausztenit mező szélesítő elemek (Ni, Mn, Pt), melyek emelik az  $A_4$  és csökkentik az  $A_3$  pontok hőmérsékletét, és vannak  $\alpha$ -gén, ferrit mező növelő elemek (W, Mo, Si, Cr), melyek bezárják az ausztenit területét, mivel az  $A_4$ -es kritikus pontot csökkentik és az  $A_3$ -t emelik, míg a kettő össze nem ér. Persze vannak ötvöző elemek, melyek csak részlegesen oldódnak a vasban, de szintén növelik (C, N, Cu), vagy csökkentik (B, Zr, Nb, Ta) az ausztenit mező nagyságát. Az ötvöző elemek többsége szubsztitúciósan oldódnak a ferritben, növelve annak szilárdságát, legjobban a Ti, Si, Mo, W, Mn. Gyors hűtés esetén a ferrit keménysége és szilárdsága legjobban a Mn, Ni, Cr és Si tartalommal növekszik. Általában a ferrit nyúlását, kontrakcióját, képlékenységét a Si és Mn erősen lerontja, de 1-2% Mn tartalom esetén az acél képlékenysége javul.

A periódusos rendszerben a Fe-től balra eső elemek, a vassal alkotott szilárd oldaton kívül a szénnel vegyületeket, *karbidokat* is képezhetnek (Mn, Cr, Mo, W, Nb, V, Zr, Ti). Minél inkább az ötvöző elem a vastól balra, távolabbra helyezkedik el, a karbidok stabilitása annál nagyobb, keménységük és olvadási hőmérsékletük nő. Megkülönböztetünk komplex szerkezetű karbidokat ( $Mn_3C$ ,  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$ ), intersztíciós karbidokat ( $Mo_2C$ ,  $W_2C$ , WC, TiC, VC, NbC stb.), dupla karbidokat ( $Fe_2Mo_2C$ ,  $Fe_2W_2C$ ) és ötvözött cementitet, mint például a  $(Fe,Cr)_3C$ . A Ni, Si, Co, Al és Cu elemek az acélban nem alkotnak karbidokat.

Az ötvözött acélok szövet szerkezete nagy mértékben függ az ötvöző elem és a szén tartalom reciproka százalékos mennyiségétől (6. ábra). Nagyon lassú, kemencével történő lehűtés esetén az acél szerkezete lehet hipoeutektikus, hipereutektikus, monofázikus vagy ledeburitikus (a., b.). A levegőn való lehűléskor a főbb szövet elemek a perlit, martenzit és monofázisú szövetek ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ) karbidokkal (c.).



6. ábra

Az ötvözött acélok szövet szerkezeti diagramjai, nagyon lassú lehűlés (a.,b.) és (c.) a levegőn való lehűlés (Guillet diagram) esetére.

## 5. Szerkezeti acélok

a. Általános rendeltetésű ötvöztelen szerkezeti acélok rendszerint melegen hengerelt, vagy kovácsolt anyagok, melyeket a mechanikai tulajdonságok (minimális szakító szilárdság, nyúlás, fajlagos ütőmunka) alapján jelölnek és választanak ki, acélszerkezetek és gépelemek gyártása céljából, képlékeny alakítással, forgácsolással, hegesztéssel megmunkálva. A vegyi összetételt szintén szavatolják, de az acél tisztasága nem a legnagyobb. Jelölésük Romániában az OL betűkkel van szimbolizálva, mely után a minimális garantált szakítószilárdságot ( $\text{N/mm}^2$ ) jelölik 10-el osztva. Általában négy márka csoportot szabványosítanak:

- OL 30; OL 32 és OL 34 jelű acélok fém szerkezetek és gépelemek anyagai;
- OL 37; OL 42 gépelemek és hegesztett szerkezetekhez használatosak;
- OL 44 és OL 52 növelt szilárdságú Mn és Si-mal ötvözött jól hegeszthető acélok;
- OL 50; OL 60 és OL 70 gépelemek és mechanikai szerkezetek anyagai.

Az európai normák (EN) szerint ezen acélokat S (szerkezeti) vagy E (gépacél) betűkkel szimbolizálják, mely betűk után a garantált folyási határt írják MPa-ban jelölve. Például: S235 J0N; S275 J2N; S355 K2N; E295 N; E335 N; E360 N, stb.

b. Hegesztett szerkezetek acéljai esetében a mechanikai tulajdonságok mellett a gyártó cég a hegeszthetőséget is garantálja. Az acél nem edzhető, nagy tisztaságú, nem érzékeny hideg, vagy meleg repedékenységre, nem tartalmaz vöröstörékenységet okozó szennyeződések. A szilárdság növelése érdekében mikroötvöző elemeket is tartalmaznak (Al, Nb, V, Ti, N, Zr) összesen maximum 0,15% -ban, ami által hegesztéskor a szemcsefinomság és a folyáshatár magas értéke nem változik. Romániában ezen acélokat OCS betűkkel és a minimális garantált szakítószilárdság ( $\text{N/mm}^2$ ) 1/10 értékével jelölik: OCS 44; OCS 52; OCS 55; OCS 58.

c. Kazánacélok nagy tisztaságú melegen hengerelt hegeszthető lemez anyagok, melyeknél a szokásos szilárdsági tulajdonságok mellett a gyártó vállalat biztosítja a magasabb hőmérsékleten való működéshez szükséges tulajdonságokat, mint a 0,2% -os egyezményes folyáshatárt 50–400°C hőmérsékleti tartományban, 1% -os kúszáshatárt, a különböző

hőmérsékleten meghatározott időszilárdságot stb. Hazai kazánacél márkákat *K* betűvel jelölik, ami után egy szám a garantált minimális szakítószilárdság tized értékét tüntetik fel, vagy megadják az acél alapvető ötvöző elemeit: *K 41; k 47; k 52; 16Mo3; 14CrMo4;*

*EN* szerint ezeket a karbon acélokat *P* betűvel és a minimális garantált folyáshatár MPa-ban való kiírásával jelölik, az ötvözött acélokat meg úgy mint fent, a főbb elemek és azok tartalmával írják ki. *P275N; P355N; P460N; 16No3; 13CrMo4; 10CrMo9;*

*d. Nyomástartó edények* hasonló szén vagy ötvözött hegeszthető lemez acélok, mint a fent elsoroltak, de biztosítják a konvencionális folyáshatárt és az ütőmunkát (KV) különböző negatív hőmérsékleten (-20, -50 °C, stb.). Romániai jelölésük az *R* betű és N/mm<sup>2</sup> /10 minimális szakítószilárdság kiírásán alapul: *R 37; R 44; R 52;*

*EN* szerint ezen az acélokat is úgy jelölik mint a kazán acélokat: *P275NLI; P355NLI;*

*e. Légköri korrózióknak ellenálló szerkezeti acélok* gyengén ötvözöttek Cr, Cu, Ni, P elemekkel, összesen 1% tartalommal, melyek a normális időjárási és légköri viszonyoknak kitett szerkezeten jól tapadó, tömör foszfátos, szulfátos, hidroxidos vagy oxidos védő rozsda réteget képeznek, ami az acélt megvédi a további korróziótól. Hazai jelölésük az *RCA; RCB* betűcsoportokat használják: *RCA 37; RCB 52;*

*EN* szerint *S* (special) betű és a minimális folyáshatárt írják ki. A *W* kiegészítőjel utal az időjárásállóságra: *S235JRW; S275JRW; S355JRW;*

*f. Hidrogénnyomásálló acélok* speciális *Cr, Mo, V, W* elemekkel ötvözött acélok, melyekben stabil karbidok vannak, amelyek megkötik a szenet, úgy, hogy a hidrogén felületi disszociáció és diffúzió útján nem tudja elbontani az anyag vaskarbidjait, azt dekarbonizálni, miközben metangáz képződik. Ez a folyamat mind erősebb a magasabb hőmérsékleten és nyomáson (200 °C felett), minek következtében az acél szilárdsága és szívóssága jelentősen csökken. Ezen acélok előmelegítve hegeszthetők, főképp olajipari, finomítók, hidrogénező berendezések készítése céljából. Jelölésük a kémiai összetétel alapján történik:

*10Cr2Mo 1; 16Cr2Mo; 12Cr5Mo; 17Cr3MoV; 24Cr2Mo; 21Cr3MoW;*

*g. Csőacélok* szintén lehetnek ötvöztelenek, vagy gyengén ötvözöttek, 0,09-0,5% széntartalommal, melyekből különböző melegen, vagy hidegen húzott csöveket gyártanak. Romániai jelölésük az *OLT* betűkön alapszik, a minimális szakítószilárdság 1/10 értékének kiírásával: *OLT 35; OLT 45; OLT 65; 10CrMo10; 10CrMo50; 16Mo3; 14CrMo4;*

Ha a kazánok számára készül *K* betűt írnak a szimbólum után, ha meg nyomástartályokban használják *R* a komplementáris jel: *OLT 35K; OLT 45K; OLT 35R; OLT 45R;*

*h. Öntött ötvöztelen acélok* közönséges alap acélok, melyekből gépalkatrészeket, gépárványokat, szivattyú és csaptesteket stb. készítenek, direkt öntés útján. Ezen acélok kategóriát az *OT* jelzi, a minimális garantált szakítószilárdság N/mm<sup>2</sup> értékét kiírva:

*OT 400; OT 450; OT 500; OT 550; OT 600; OT 700;*

*i. Rugóacélok* nagy tisztaságú, ötvöztelen, vagy ötvözött (*Cr, Si, Mo, V, Mn*) acélok, 0,4-0,7% szén tartalommal, különböző lemez-, tekercs-, vagy csavar rugók számára készítve. Az ilyen célra az acél nagy folyási határral rendelkezik (1000-1350 MPa), az *R<sub>p</sub>/R<sub>m</sub>* viszonya magas kell legyen, nagy rugalmassága és nagyon kicsi képlékeny alakváltozással. Hazai jelzése az *OLC*

---

betűkkel kezdődik, a közepes széntartalom 10-szeres értékével folytatódik és az A betűvel végződik: *OLC 55A; OLC 65A; OLC 70A; OLC 75A; OLC 85A; OLC 90A; 51 Si 17A; 60 Si 15A; 51 VCr 11A; 60 CrMnSi 12A, stb;*

*j. Automata acélok* nagy teljesítményű és nagy forgácsolási sebességű automata eszterga és más megmunkáló gépeken való alkatrészek készítésére előállított, kis széntartalmú anyagok, melyek forgácsolásakor nem keletkeznek hosszú összefüggő forgácsok, amik akadályozzák a megmunkálást. A töredezett forgács létrehozása céljából az acélt ötvözik olyan elemekkel, melyek lerontják a szívóssági tulajdonságokat (S, P, Bi, Pb). Jelölésük az AUT betűk után írt 100-szoros% széntartalommal történik: *AUT 12; AUT 20; AUT 30; AUT 40 Mn*; Az ólommal ötvözött (Pb=0,18-0,25% ) automata acélokat az OL után írt szakítószilárdság 1/10 értéke és a Pb vegyjel kiírásával jelölik: *OL 56 Pb; 38 Cr 05 Pb*;

*k. Hidegen alakítható acélok*, nagy alakváltozó képességű lágy acélok ( $C < 0,2\%$  ), képlékeny hidegalakítással (hajlítás, sajtolás, mélyhúzás) gyártott alkatrészek (edények, autó-karosszériák elemei, tartályok, stb.) készítésére. A hidegalakított alkatrészek minőségét nagyban befolyásolja a ferrit szemcsék nagysága, a perlit alkja és a kiváló tercier cementit léte. A durvaszemcsés acél könnyen alakítható, de a felülete egyenlőtlen lesz, a nagyon finom szemcsés, erősen visszarugózik. A gömbszemcsés perlites acél különösen jól alakítható. A hazai normatíva szerint ezen acélok az A betűvel jelölendők, ami után egy sorszám van leírva: *A 1; A 2; A 3; A 4; A 5*.

## 6. Nemesíthető nagyszilárdságú acélok

A *nemesíthető acélok* jelentős igénybevételű gépalkatrészek (tengelyek, hajtómű alkatrészek, karok, rúdák, fogaskerekek, stb.) anyagául szolgálnak. Magas folyási és kifáradási határral, megfelelő szívóssággal, nagy dinamikus igénybevétel elbírásával rendelkeznek, amiket dupla hőkezeléssel, edzéssel és magasabb hőmérsékleten ( $500-600^{\circ}\text{C}$ ) történő megeresztéssel érnek el, ezáltal úgynevezett szorbitikus nagyon finom szemcséjű szövetszerkezetet lehet megvalósítani, melynek alapanyaga a ferrit, amelybe finom cementit gömbök ágyazódnak. Ezáltal a folyási határ a szakítószilárdságnál gyorsabban nő és így az  $R_{p0,2}/R_m$  viszonya 0,6-0,85 értékeket is elérheti. Úgyszintén jelentősen megnő a kifáradási határ és a fajlagos ütőmunka, ami a dinamikus igénybevétel szempontjából nagyon fontos.

*a. Nemesíthető ötvözetlen acélok* 0,25-0,60% széntartalmú hipoeutektoidos elektrokemencékben előállított, nagy tisztaságú, speciálisan csillapított acélok, alacsony S és P tartalommal (0,025% ). Belőlük tengelyeket, csavarokat, hengereket, hajtókarokat, horgokat, tolattyúkat, fogaskereket, excentereket, bütőkös tengelyeket stb. gyártanak, nem túl nagy keresztmetszettel. Ezen anyagok minőségét, *OLC* betűkkel és egy kétjegyű számmal jelölik, ami a széntartalom 100 szoros százalék értékét jelöli:

*OLC 25; OLC 30; OLC 35; OLC 40; OLC 45; OLC 50; OLC 55; OLC 60.*

A kisebb széntartalmúak szívóssabbak, de szilárdságuk kisebb. A nagyobb karbon tartalmú acélok nemesítve nagy szilárdságúak, de ridegebbek és az ütőmunkájuk is kisebb. A kopásállóságuk felületi edzéssel jelentősen növelhető.

---

*b. Ötvözött nemesíthető acélok* jobb minőségűek, de sokkal drágábbak mint a karbon acélok. Az ötvöző elemek (Cr, Mn, Si, Ni, Mo, V, ) megnövelik a szilárdságot, szívósságot, keménységet, az átedzhető szelvényátmérőt, csökkentik a megeresztési ridegséget és a kritikus átmeneti hőmérsékletet. Ezen acélok kiválasztása általában az elérhető folyási határ alapján, az átmérő függvényében történik. A nyúlás és az ütőmunka az átmérő növelésével nő, a folyáshatár pedig csökken.

A gyakorlatban felhasználnak egy, két, vagy több elemmel ötvözött acélokat, mivel az ötvöző elemek számának és mennyiségének növelésével a pozitív hatások összegeződnek és tovább nőnek, de ugyanakkor az anyagok ára is jelentősen megemelkedik.

*Ni-Cr* acélok a legjobban ötvözött nemesíthető anyagok, melyekben 1-5% Ni és 1,2-2% Cr van. A Ni/Cr=3 arány biztosítja a magas szilárdságot, szívósságot, átedzhetőséget. Nagyobb áruk miatt csak nagy átmérőjű ( $\varnothing > 30$  mm) alkatrészek gyártására használják.

*Ni-Cr-Mo* acélok még jobbak, mert a 0,2-0,4% Mo jelentősen csökkenti a megeresztési törékenységet és növeli a mechanikai és technológiai tulajdonságokat;

*Ni-Cr-W* acélok nagyobb keménységűek és jobb a kopásállóságú; *Cr-Mn* acélok olcsóbbak, jó az átedzhetőségük, keménységük, szilárdságuk; *Cr-Mo* acéloknak nagy az átedzhetőségük; *Cr-V* acéloknak nagy a rugalmasságuk és finom a szerkezetük; *Mn-Si* acélok a legolcsóbbak, de a szívósságuk kisebb.

Romániában az ötvözött nemesíthető acélok márka jelzései a szénttartalom 100-szoros értékét jelentő számjeggyel kezdődik, melyet az ötvöző elemek kémiai vegyjelei követnek a tartalom emelkedő sorrendjében. Az utolsó szám a legnagyobb mennyiségben jelenlevő ötvöző elem 10-szeres tartalmát mutatja. A fontosabb markák közül a következők a használatosabbak: 40 Cr10; 40 CrNi20; 34 MoCrNi16; 20 MnCr12; 26 MoCr11; 51 VMnCr11; 35 MnSi13; 20 MnCrSi11; 36 MnCrSi13; 40 BCr10; 28 TiMnCr12; 21 MoMnCr12; 39 MoAlCr15;

*c. Öntött nemesíthető acélok* hasonlóak a fentt feldolgozott anyagokkal, ezeket kész alkatrész formába öntik, aztán megfelelően hőkezelik. A STAS 17773-76 szabvány alapján a hengerelt acélokhöz hasonlóan jelölik, megtoldva egy *T* betűvel a szimbólumok előtt: *T 20 Mn14*; *T 40 Mn11*; *T30 MnSi12*; *T34 MoCr09*; *T35 MoCrNi08*;

*d. Gördülőcsapágy acélok* nagy keménységgel, kopásállósággal, szívóssággal és magas kifáradási határral rendelkeznek. Ezt főképpen az 1,5% Cr és 1% C tartalommal és megfelelő hőkezeléssel biztosítják. Hazai normák szerint csak 2 típusú csapágyacélt gyártanak: *RUL 1*; *RUL 2*; (az utóbbi 1% Mn-t tartalmaz az átedzhetőség növelésére)

## 7. Betétben edzhető acélok

Cementálással, nitridálással, vagy más felületi termokémikus kezeléssel és az azt követő edzéssel (betétedzés) nagy felületi keménység érhető el, alacsony szénttartalmú, nagy szívósságú acélokból készült alkatrészekben. Általában az alapacél 0,08-0,25% széntet tartalmaz és a cementálás után a felületen 0,9-1% C tartalom érhető el, 60-63 HRC keménységgel.

*a. Betétben edzhető szénacélok* szabvány minőségei a következők:

*OLC 08*; *OLC 10*; *OLC 15*; *OLC 20*; *OLC 25*;

---

*b. Betétben edzhető ötvözött acélokban* főképpen a Cr, Mo, Al azok az elemek, melyek elősegítik a karbon és nitrogén diffúzióját, megemelik a dúsított réteg keménységét és kopásállóságát. Fontosabbak:

*15 Cr9; 17 MnCr10; 19 MoCr11; 17 CrNi16; 17 MoCrNi14; stb.*

*c. Nitridálható acélok* nagyobb széntartalommal rendelkeznek és tulajdonképpen a nemesíthető acélok kategóriájába tehetők Cr, Mo, Al, Ti, V, W elemekkel ötvözve. Nitridálással, 500-580<sup>0</sup>C-on disszociált ammóniás közegben, az acél felületén minden további hőkezelés nélkül igen kemény, kopásálló, kifáradási határt és korrózióállóságot jeletős mértékben növelő réteg hozható létre. Nagyon fontos, hogy az ötvöző elemekkel igen kemény és stabil nitridek jöjjenek létre. Ezen acélok közül megemlíthetők a következők:

*31 CrMo12; 34 CrAlMo5; 41 CrAlMo7;*

### **Könyvészet**

- 1] VERŐ József–KÁLDOR Mihály: *Vasötvözetek fémtana*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
  - 2] VERŐ József–KÁLDOR Mihály: *Fémtan*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1993.
  - 3] ARTINGER István–CSIKÓS Gábor–KRÁLLICS György–NÉMETH Árpád–PALOTÁS Béla: *Fémek és kerámiák technológiája*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1999.
  - 4] ARTINGER István–KATOR Lajos–ZIAJA György: *Új fémek szerkezeti anyagok és technológiák*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
  - 5] PROHÁSZKA János: *A fémek és ötvözetek mechanikai tulajdonságai*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001.
-

## Nemvas fémek és ötvözetek

Dr. Bicsak Jenő, egyetemi tanár  
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Anyagtudományi és Mérnöki Kar,  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék

A nemvas fémeket és ötvözeteket, habár áruk jóval magasabb, mint a vasötvözeteké, nagyon sok ipari területen alkalmazzák rendkívüli tulajdonságaik miatt, mint alacsony fajsúlyuk, nagy korrózióállóságuk, jóval nagyobb hő- és elektromos vezetőképességük, kisebb vagy nagyobb olvadáspontjuk, jóval magasabb szilárdság-fajsúly viszonyuk, jó sugárzás bírásuk, stb. A nemvas fémek és ötvözetek a következő két nagy csoportba oszthatók:

- könnyűfémek;
- színesfémek.

Mindkét csoportból a gyakorlatban használnak úgy tiszta fémeket, mint ezek ötvözeit, két vagy többalkotós formában, a célból, hogy nagyobb szilárdságú és szívósságú anyagokat nyerjenek, megtartva az alapfémek különleges tulajdonságait. A legtöbb esetben a szilárdságnövekedést olyan mikroszövetek létrehozásával érik el, amelyekben egyensúlyi vagy túltelített szilárd oldatok, két vagy többfázisú szövetelemek vannak jelen, melyek felkeményedését az allotróp átalakulások késleltetésével, módosításával, nemesítéssel, kiválasztós keményítéssel, martenzites átalakulással, vagy hidegalakítással érik el.

### 1. Könnyűfémek

Habár a könnyűfémek csoportjába több mint 10 elem sorolható (Li, Rb, Ca, Mg, Be, Cs, Si, Sr, Al, Sc, Y, Ti, C, B), ezek közül szerekezeti anyagként nagyobb mennyiségben csak az alumínium, titán, magnézium és a berillium kerül felhasználásra. Ezen elemek főbb tulajdonságai az 1. táblázatban vannak felsorolva, az acélokéhoz viszonyítva.

1. táblázat. Fontosabb könnyűfémek egyes fizikai és mechanikai tulajdonságai

Elem és ötv.	Olvadás pont ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sűrűség $\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	Folyáshatár $R_{p0,2}$ (MPa)	$R_{p0,2}/\rho$	Rugalmassági együttható (GPa)	Kúszási hőmérsék. ( $^{\circ}\text{C}$ )
Al	660	2,7	25-650	9-250	71	150-250
Ti	1670	4,5	170-1300	38-300	120	400-600
Mg	650	1,7	70-270	40-160	45	150-250
Be	1287	1,82	100-700	50-380	250-300	>250
Acélok	1538	7,8	180-1600	25-200	210	400-600

A könnyűfémek és ezek ötvözei a vashoz képest nagyon jó viszonylagos szerkezeti szilárdsággal ( $R_{p0,2}/\rho$ ) és kitűnő korrózióállósággal (Ti, Al, Be) rendelkeznek, ami tág felhasználási területet biztosít, főképpen ott, ahol a kis önsúly nagyon lényeges, úgy mint a

repülőgépek, gépkocsik, optikai műszerek stb. gyártásánál. A könnyűfémek nagy része nem érzékeny a sugárzásra, kicsi az ún. neutronbefogási hatáskeresztmetszete, ami a kisebb elnyelést és károsodást jelenti a gyakorlatban. A legjobbak ezek közül a Bi; Pb; Zr; Al; Mg.

### 1.1. Alumínium

Az alumínium nagyon könnyű, fehér színű, lapközepes köbös térrácsú, nagyon képlékeny, korrózióálló fém, ami a földkéregben oxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) formájában van jelen és egyik leggyakoribb elemek közé tartozik (8%). A nevét a timsó latin alumen elnevezéséből kapta. Az ércét bauxitnak nevezik, ami a 25-30%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -ot és különböző más oxidokat és szennyező anyagokat tartalmazó ásvány. Nevét a délfanciaországi Le Baux községtől kapta, ahol először Berthies párizsi kémikus fedezte fel. Az alumínium ipari méretű előállítása a XIX. század végétől történik, a francia Herault és az amerikai Hall által kidolgozott eljárás alapján. A bauxitból timföldet, tiszta  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -ot, állítanak elő, amit kriolitot ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) tartalmazó,  $950^\circ\text{C}$ -on olvadt állapotban levő fürdőben elektrolízisnek vetik alá (ún. tűzfolyós elektrolízis). A 99,3-99,7% tisztaságú alumínium katódként a grafitnal bélelt kád alján válik ki, ez az ún. kohóalumínium. A gyártás energiaigénye igen nagy: 10-20 kWh/kg. Egy kilogramm Al előállításához 2 kg timföld szükséges, amit 4-5 kg bauxitból nyernek, nem igazán környezetkímélő eljárás alapján. A nagy tisztaságú (>99,9% Al) alumíniumot újabb elektrolízissel, zónásolvasztás vagy egyéb eljárásokkal állítják elő.

A tiszta alumínium szilárdsága kicsi (50-70 MPa), rugalmassági együtthatója 70 Gpa, igen jól alakítható, mert képlékenysége nagy. Főbb szennyezőelemek a Si és Fe, melyek az anyag törékenységet idézik elő. Szerkezeti anyagként nem igen használják, csak ha a szilárdságát hideg alakítással, ötvözással és hőkezeléssel megnövelik. Az utóbbi időben kompozit anyagként, részecske- vagy szálerősítéssel használják.

A nagy tisztaságú alumíniumot az igen nagy villamos ( $36\text{-}40\text{ m}/\Omega\text{mm}^2$ ) és hővezető ( $\lambda=220\text{ W/mK}$ ) képessége alapján elektromos vezetéként és hőcserélő berendezéseknél használják a drágább réz helyett. Tudni kell viszont, hogy nagy a hőtágulása ( $\alpha=24\cdot 10^{-6}\text{ 1/K}$ ). Néhány közegben (víz, hígított foszforsav, sósav) igen jó korrózióálló, mert a felületén egy jól tapadó, kemény, kémiailag igen stabil védő oxidréteg keletkezik, ami a korrózió további behatolását megakadályozza. Az oxid réteg vegyi vagy elektromos úton, anódos oxidációval tovább vastagítható. Más savakban, lúgokban, tengervízben azonban oldódik. A tiszta alumínium felülete jól tükröfényesíthető, ezáltal kiváló fényvisszaverődési tulajdonságokat kap.

### 1.2. Az alumínium ötvözátei

Az alumínium termelés több mint felét ötvözátek formájában használják fel, miután szilárdságukat különböző ötvözási, hőkezelési és megmunkálási technológiák alkalmazásával megnövelték. Ötvözással nagyobb szilárdságú szilárd oldatokat, vegyületeket képeznek. Hidegalakítással az anyag felkeményedik, hőkezelés folyamán homogénizálás és gyors hűtéssel túltelített szilárd oldatok, vegyületek, vagy öregítési, ún. Guinier-Preston zónák alakulnak ki, amik a keménységet és szilárdságot jelentős mértékben növelik. Továbbá használatos a termomechanikus alakítás, diszperziós keményítés, mechanikus ötvözá, vagy a szálerősítés.

---

Az alumíniumötvözetekben leginkább használt ötvöző elemek a következők:

*Si, Cu, Mn, Mg, Zn, Fe, Ni, Li, Ag, Zr, Sc.*

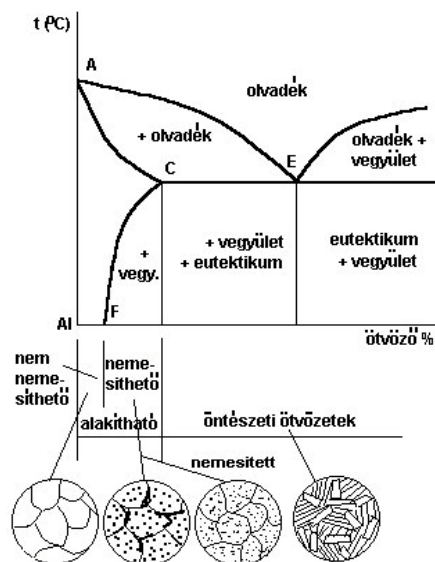
A *Si* növeli a szilárdságot, keménységet, alaktartóságot, rezgés és nyomásállóságot, dinamikai és fárasztó igénybevételi ellenállást, önthetőséget, hegeszthetőséget, korrózióállóságot. A *Cu* jelentősen emeli a szilárdságot, szívósságot, keménységet, alakíthatóságot, nemesíthetőséget, azáltal, hogy  $\theta$  fázis ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) precipitálódik az öregítés folyamán. A *Mn* a szilárdságot növeli hengerelt állapotban. A *Mg* szilárdságot, szívósságot, alakíthatóságot, keménységet növel, de szilíciummal lehetővé teszi az ötvözet nemesítését a  $\text{Mg}_2\text{Si}$  vegyület alakulásával. Több elem (*Zn, Fe, Ni*) főképp a szilárdságot növeli, mások meg a kiváló keményedésre (öregítésre) való hajlamot segítik elő (*Li, Zr, Ag, Sc*).

Az ötvöző elemek különböző mértékben oldódnak az alumíniumban, szilárd oldatokat alkotva ( $\text{Si} < 1,65\% / 585^\circ\text{C}$ ;  $\text{Cu} < 5,65\% / 548^\circ\text{C}$ ;  $\text{Mn} < 1,85\% / 595^\circ\text{C}$ ;  $\text{Mg} < 17,4\% / 450^\circ\text{C}$  stb.). Az oldhatóság jelentősen csökken a lehűlés közben. Ugyanakkor az ötvöző elemek legtöbbje vegyületet is alkot az alumíniummal, de öregítési zónák képzésére csak a *Cu, Cu-Mg, Cu-Li, Mg-Si, Zn-Mg, Zr, Ag, Sc* alkalmasak.

Az alumínium ötvözetek általában feloszthatók:

- *öntészeti ötvözetek:*
  - *nem nemesíthetők:* *Al-Si* (2-18% ); *Al-Mg* (3-10% );
  - *nemesíthetők:* *Al-Si-Mg; Al-Si-Cu; Al-Mg-Si; Al-Cu; Al-Zn-Mg;* stb.
- *alakítható ötvözetek:*
  - *nem nemesíthetők:* *Al-Mn* (1-1,6% ); *Al-Mg* (1-7% ); *Al-Mg-Si;* stb.
  - *nemesíthetők:* *Al-Cu-Mg; Al-Mg-Si; Al-Zn-Mg; Al-Mg-Li;* stb.

A nem nemesíthető ötvözetek nagyon jól alakíthatók hidegen, jól hegeszthetők, korrózióállóak. A nemesített ötvözetek nagy szilárdságúak. Villamosvezetőknek  $\text{AlMg0,5Si0,5}$  ötvözetet is alkalmaznak.



1. ábra. Az alumínium ötvözetek főbb szerkezeti felosztása és szövete.

Az alumínium ötvözetek szövetszerkezeti és megmunkálhatósági felosztása az 1. ábrából ismerhető meg. Az alakítható és hegeszthető ötvözetek mindig szilárd oldatosak, a jól önthetők meg

eutektikusok. A legjobb korrózióállóságot a homogén, egyfázisú ötvözetek mutatnak. A legnagyobb szilárdságot a nemesíthető, kiválásos keményedésre hajlamos ötvözetekkel érhetnek el, a hidegalakítás, termomechanikus megmunkálás és öregítés megfelelő kombinálásával.

A leggyakrabban felhasznált alumínium ötvözetek egyes mechanikai tulajdonságai és alkalmazási területei a 2. táblázatban vannak összefoglalva.

Az alumínium és ötvözei tulajdonságai tovább javíthatók ún. diszperziós keményítéssel, kemény  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vagy SiC porok hozzáadásával 20-30% -ban, tuskókba öntve, aztán sajtolva, vagy lemez alakra hengerelve.

Az öntött, szilíciummal ötvözött alumínium ötvözeteket *szilumin*-nak hívják, ezeket a mechanikai tulajdonságok növelése érdekében modifikálásnak vetik alá, ami abból áll, hogy a folyékony ötvözetbe, az öntés előtt ún. modifikáló anyagokat szórnak (például 2 rész NaF + 1 rész NaCl), ez által az anyag törékeny hipereutektikus szövetszerkezete, (mely Si kristályokból egy Al-alapú mátrix szövetben) nagy szilárdságú, szívós hipoeutektikussá válik, finom dendritikus szerkezettel, melyben  $\alpha$ -Al dendritek vannak finom Al+Si eutektikumban. Ez által az ötvözet szilárdsága  $R_m=120$  MPa-ról  $R_m=300$  MPa-ra növekszik.

A világszerte alkalmazott alumínium ötvözetek száma igen nagy. Ezért jelölésük különböző normatívokat követ. A tiszta alumíniumot a kémiai jel és az alumínium tartalom alapján jelölik: *Al 99,8*; *Al 99,7*; *Al 99,6*; *Al 99*; *Al 98*; *Al E<sub>2</sub>* (elektromos vezetékeknek).

Az öntődei alumínium ötvözeteket nagy AT betűkkel szimbolizálják, amelyek után az ötvözőelemek és azok százalékos mennyiségét írják (N – homokba, C – fémkokillába, P – nyomás alatt öntött állapotot jelent): *ATN Cu4Si*; *ATC Si2Mg*; *ATP Si10Mg*; *ATN Si12*; *stb.*

**2. táblázat.** Az Al és ötvözei mechanikai tulajdonságai és tipikus felhasználási területei.

Ötvözet Típusa	Állapot	$R_m$ (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	$A_5$ %	Felhasználási területek
<b>Al 99,5</b>	Lágyított Alakított	60-70 140	30 140	20 4	Villamos vezetők, vegyipari élelmiszeripari berendezések, edények, fóliák, tartálykocsik
<b>AlMn 1</b>	Lágyított Alakított	180 180-200	40-80 120-180	22 0	Lemezek vegy- és élelmiszeripari hegesztett berendezésekhez, tartályok, edények, dobozok
<b>AlMg 1</b>	Lágyított Alakított	100 185	140 155	17 4	Lemezanyagok hegesztett szerkezetekhez, építészetben, hajógyártásban, gépkocsi borításokhoz, eloxált bútorcsövekhez, tartókhoz, dekorációkhoz, dísz tárgyakhoz stb.
<b>AlMg 5</b>	Lágyított Alakított	260 370	110 200	16 4	
<b>AlMg0,5Si0,5</b>	Edzett Nemesített	180 260	85 160-310	15 12	Vezetékek, profilok, lemezek, gázpalacok, hordók, ablak/ajtókeretek, bútorok, vázszerkezetek.
<b>AlCu2,5Mg</b>	Edzett Nemesített	180 350	80 220	16 12	Motor és repülőgép szerkezetek, kötőelemek, járműtárcsák, kompresszorlapátok, kovácsolt, sajtoló termékek, szegecselt szerkezetek
<b>AlCu4Mg1</b>	Edzett Nemesített	230 400	110 270	14 10	
<b>AlZn6Mg2,5Cu1,6Cr</b>	Edzett Nemesített	350 580-650	290 430-630	6	Nagyszilárdságú repülőgép és rakéta szerkezetek, kriogén berendezések
<b>AlLi2,6Cu1,6Mg1,7Zr</b>	Nemesített	550-610	500-560	12	Nagyszilárdságú repülőgép és rakéta elemek
<b>AlSi12</b>	modifikált	250-350	120-180	4-10	Bonyolult alakú kopásálló öntvények, motor hengerfejek, dugattyúk, sebességváltószekrények

A képlékenyen alakítható alumínium ötvözeteket a kémiai összetétel alapján jelölik:

*AlMn1; AlMg1; AlMg5; AlCu6Mn; AlCu4Mg1Mn; AlSi1MgMn; AlZn4Mg3Cu; stb.*

Más országok szabványai szerint is hasonlóképpen jelölik az alumínium ötvözeteket, de az új európai normák szerint (EN) négy jegyű számot használnak, amelyekben az első szám az ötvözet csoportját jelöli, az utolsó kettő pedig a legkisebb Al tartalmat mutatja a tizedes szám után. Tehát a tiszta Al – 1000 sorozat; Al+Cu-ötvöztetésű – 2000; Mn – ötvöztetésű – 3000; Si – ötvöztetésű – 4000; Mg – ötvöztetésű – 5000; MgSi – ötvöztetésű – 6000; Zn – ötvöztetésű – 7000; Li – ötvöztetésű – 8000; más ötvöztetésű – 9000.

### 1.3 Titán és ötvözetek

A titán ezüstfehér színű, két allotrop módosulattal rendelkező, kiválóan korrózióálló, nem mágnesezhető, vasnál nagyobb szilárdságú ( $R_m=400-500$  MPa), képlékeny ( $Z=35-60\%$ ) fém. Szilárdsági tulajdonságai megmaradnak, úgy a nagyobb hőmérsékleten ( $<600^\circ\text{C}$ ), mint  $0^\circ\text{C}$  alatt. Hidegalakítással keményedik. A titán  $882^\circ\text{C}$  alatt  $\alpha$  állapotú, hexagonális térrácsal, felette meg a  $\beta$ -titán térközepes köbös kristály cellákban rendszereződik.

A titán nagyon jól ellenáll a tengervíznek, nedves, savas közegeknek. A felületén képződő oxidhártya jó védelmet nyújt a gázkorrózióval szemben  $400^\circ\text{C}$ -ig. Nehezen forgácsolható, rossz hővezető, igen nagy az oxigénhez, szénhez, nitrogénhez és hidrogénhez való affinitása. Csak védőgázban, vagy vákuumban önthető, vagy hegeszthető. A titán kompatibilis az emberi szervezettel, ezért csontprotézisek készítésére nagyon alkalmas.

Az ipari titán 99,2-99,7% tisztaságú. Szilárdsága ötvöztetéssel (Al, V, Sn, Mo, Zr, Cr, Fe stb.) és hőkezeléssel jelentős mértékben növelhető. A szövetszerkezetük alapján a titán ötvözetek 3 csoportja ismeretes (3. táblázat):

- egyfázisú  $\alpha$ -Ti típusú ötvözetek, melyek jól hengerelhetők;
- egyfázisú  $\beta$ -Ti típusú ötvözetek melegszilárdak;
- kétfázisú  $\alpha + \beta$  típusú ötvözetek, melyek intenzív hűtés hatására martenzites átalakuláson mennek keresztül, megeresztéssel  $480-650^\circ\text{C}$ -on nemesednek,  $\text{Ti}_x\text{Me}_y$  kiválások révén.

A titán-ötvözeteket főképpen rakéta-, repülőgép-, űrhajó-elemek, élelmiszer és hűtőberendezések gyártásában alkalmazzák. Ezen anyagok szilárdsága és hőállósága jelentős mértékben növelhető szál vagy részecske erősítéssel, Ti-B; Ti-Be; Ti-SiC; Ti-B<sub>4</sub>C típusú kompozitok előállítása révén.

---

**3. táblázat.** Fontosabb titán ötvözetek és azok tulajdonságai

Ötvözet típus	Ötvöző elemek	R <sub>m</sub> (MPa)	R <sub>p0,2</sub> (MPa)	A <sub>5</sub> %
Ti 99,7	–	400-550	250-300	22
$\alpha$ -Ti lágyított	Al 4	850	450	15
	Al 5 Sn2	880	850	18
	Sn11 Zr5 Al 2 Mo1	920	900	16
$\beta$ -Ti	Al 3 V13 Cr11 20 <sup>0</sup> C 315 <sup>0</sup> C	1250	1180	6
		1220	1020	8
	Mo15 Zr5	900-1000	800-900	10-12
$\alpha + \beta$ nemesített	Al 6 V4	1300	1050	13
	Al 8 Mo4	1200	1000	8
	Al 5 Cr2	1100	1100	12
	Al 4 Mn4	1120	980	10
	Al 5 Fe1,5 Cr1,5 Mo1,2	1350	1300	9

**1.4. Berillium**

A berillium igen nehezen előállítható, hexagonális térrácsú, nagyon rideg fém. Szilárdsága függ a szennyezettség mértékétől (140-770 MPa), amit melegen is megtart. Melegen hengerelve texturás szerkezet alakul ki, ami növeli a szilárdságát szálirányban. Jó hővezető képessége miatt repülőgépkerek féktárcsák készítésére alkalmazzák.

A berillium sugárzásra nem érzékeny, nem ridegedik és a fémek közül a legkisebb a neutronbefogási hatáskeresztmetszete. A Be,  $\alpha$ -sugárzás hatására neutronokat bocsát ki. Levegőn 400<sup>0</sup>C-ig nem korródál, savas közegekben meg 700<sup>0</sup>C-ig az ellenálló képessége a Cr-Ni saválló acélokkal egyenértékű. Főbb ötvözetek a Be-Cu, Be-Ce, Be-Al38. Nagyon drága és erősen mérgező, ezért csak az atomenergiái ipar és az űrtechnika alkalmazza moderátor, reflektor, röntgensugáráteresztő célokra, rakétatestek, űrvédelmi berendezések, tengeralattjárók építésénél.

**2. Színesfémek**

A vas színétől és tulajdonságaitól eltérő fémek és ötvözetek nagy csoportját alkotják a színesfémek, elsősorban a réz és ötvözetek, a nemesfémek, (Au, Ag, Pt) és más fontos műszaki fémek mint a Zn, Ni, Co, Pb, Sn, Mo, W stb. Ezek közül a legismertebb és az őskor óta használt fém a réz és ennek ötvözetek a bronz.

**2.1. A réz és ötvözetek**

A réz lapközepes köbös térrácsú, 8,94 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű, 1083 <sup>0</sup>C-on olvadó, kiválóan alakítható, korrózióálló, kitűnő elektromos áram és hővezető képességű, közepes szilárdságú vörös színű fém. Különböző szennyező elemek, mint a S, P, As, Fe, Pb, Bi, Sb, O<sub>2</sub> stb. még nagyon kis mennyiségben is (0,01-0,1% ) jelentősen rontják a réz mechanikai és fizikai tulajdonságait,

---

törékenység jelentkezik, nő az elektromos ellenállás, előáll az ún. vöröstörékenység és az oxigén hatására kialakul az ún. "hidrogénbetegség", mert a magasabb hőmérsékleteken a rézben nem oldódó rézoxid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) reakcióba lép a hidrogénnel, vízgőz keletkezik, ami az anyagban repedéseket okoz.

A tiszta réz rossz öntési tulajdonságokkal rendelkezik, könnyen kialakulnak gáz és salak zárványok, a szilárdsága meg viszonylag kicsi ( $R_m=150-200 \text{ MPa}$ ,  $A=15-25\%$ ). Alakított és lágyított állapotban a mechanikai tulajdonságok javulnak ( $R_m=250-270 \text{ MPa}$ ;  $A=40-50\%$ ). A hidegalakítás hatására a réz szilárdsága jelentősen megnő a felkeményedés folytán ( $R_m=400-500 \text{ MPa}$ ). A hidegalakítás utáni lágyítás ( $600-800^\circ\text{C}$ - való hevítés és vízben hűtés) ad a legjobb eredményt. A réz nagyon jól ellenáll a korróciónak nedves, vizes, szerves savas, füstgázos közegeknek.

Hazai szabvány szerint a rezet a tisztaság százalékos jelölésével szimbolizálják:

*Cu 99,97b; Cu 99,95; Cu 99,95k; Cu 99,9; Cu 99,9p; Cu 99,5.*

A nagyon tiszta elektrolitikus rezet ( $>99,95\%$  Cu) villamos vezetékek alapanyagaként használják, lágyított állapotban. Hidegalakítás és hegesztés céljára foszforral dezoxidált, oxigén mentes  $>99,9\%$  Cu tartalmú réz lemezeket, csöveket, idomokat stb. használnak felkeményedett, vagy lágyított állapotban, hőcserélők, radiátorok, vízmelegítők, kazánok, tűzkamrák, egyes élelmiszer- és kémiai berendezések készítéséhez.

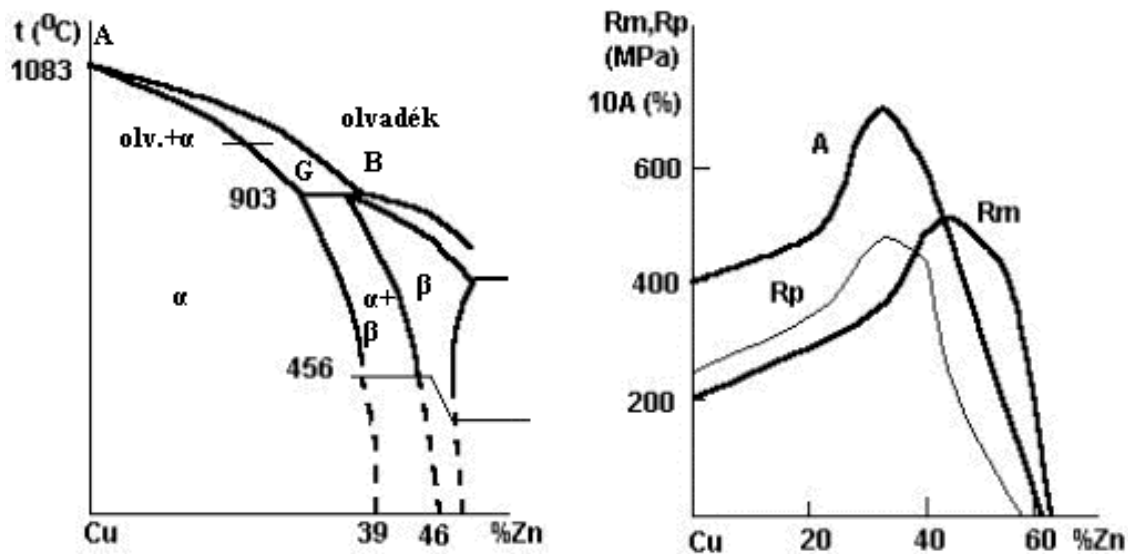
A szilárdság, szívósság, önthetőség, forgácsolhatóság, korrózióállóság stb. céljából a rezet sokrétűen ötvözik a következő elemekkel: *Zn, Sn, Al, Mn, Ni, Pb, Fe, Si, Be, Ti, P*, (kis mértékben *Cd, Cr, Ag*-al). A réz ötvözetek a következő négy nagy csoportba osztályozhatók:

- sárgarezek;
- bronzok;
- különleges rézötvözetek;
- réz alapú kompozitok.

## 2.2. Sárgarezek

A sárgarézt a réznek a horgannyal ötvözött ( $\text{Zn}=5-45\%$ ) anyaga, más elemek (Al, Sn, Mn, Fe, Si, Pb) különböző tulajdonságok feljavítása célból vannak jelen. A Cu-Zn egyensúly diagram szerint (2. ábra), 39% Zn tartalomig egy  $\alpha$ -szilárd oldat keletkezik, mely igen képlékeny, hidegen és melegen jól alakítható, hegeszthető és aránylag jól önthető. Nagyobb Zn tartalomnál ( $38-45\%$ ) bifázikus szövetszerkezet jelenik meg, melyben  $\alpha$  szilárdoldat kristallitok között egy keményebb, térközepes köbös térrácsú, intermetallikus  $\beta'$  (CuZn) vegyület szilárd oldata alakul ki, mely jelentősen emeli a szilárdságot, de csökkenti az alakíthatóságot. Ezen szerkezetet csak melegen lehet jól alakítani,  $455^\circ\text{C}$  felett, mikor a  $\beta'$  átalakul képlékeny  $\beta$  szilárd oldattá. Az ötvöző elemek közül az Al növeli a keménységet és szilárdságot, Mn, Sn a korrózióállóságot, Ni a szilárdságot, Fe a szívósságot, Pb a forgácsolhatóságot.

---



2. ábra. Cu-Zn egyensúlyi állapotábra és a sárgaréz mechanikai tulajdonságainak változása a horgany tartalom függvényében

Az öntészeti sárgarézet csaptelepek, víz, gőz és gáz szerelvények, mérőműszerek stb. készítésére használnak, 30-40% horgany tartalommal. Az öntést lehet homokba (N), fémkokillába (C), préseléssel (P) vagy centrifugálva (F) véghezvinni.

A szimbolizálásuk a réz és a fontosabb ötvöző elemek vegyjelei és százalékos mennyiségük jelölésével történik:

*CuZn33Pb2 TN; CuZn40Mn2Al TC; CuZn30Al5Fe3Mn2 TP stb.*

A hidegen alakítható sárgarézek  $\alpha$  szilárd oldatos monofázikusak, 5-40% Zn tartalommal. Lemezeket, drótokat, rúdakat, csöveket, idomokat stb. gyártanak belőlük, különböző víz, gőz, optikai és más berendezések, melegítők, radiátorok, hőcserélők, tartályok stb. számára. A sárgarézek 30% Zn tartalom fölött nagyon érzékenyek a feszültség alatti korrózióra, ezért az alakítás után 280-350 °C-on való megeresztésük nélkülözhetelen. Az 5-10% Zn tartalmú sárgarézeket *tombak* néven használják, nagyon jól mélyhúzhatók, különösképpen hangszerek készítésére használják. A 40-45% Zn tartalmú bifázikus sárgarézek, nagyon jó kopásállók, magas a szilárdságuk, tengervíznek jól ellenállnak, melegen (800-900 °C), főképpen préseléssel jól alakíthatók. Ezen anyagokból csapszárazakat, mechanikai alkatrészeket, csigakerekeket, fogaslécet, kondenzátorokat, hajómeghajtó propellereket stb. gyártanak.

Jelölésük a kémiai összetétel kiírásával történik:

*CuZn5; CuZn10; CuZn30; CuZn40; CuZn36Pb1; CuZn43Pb2.*

A speciális ötvözött sárgarézeket hasonlóképpen jelölik:

*CuZn28Sn; CuZn31Si; CuZn36Sb; CuZn34Al4Mn3Fe; CuZn39Ni3; stb.*

A 38-42% Zn tartalmú sárgaréz, 0,2-0,3% Si, vagy 1% Sn hozzáadásával kemény forrasztó hozanyagként használják vas, nikkel ötvözetek, vagy vörös réz forrasztásához. A fenti jelölés után az Lp betűk jelölik, hogy forrasztás céljából gyártották:

*CuZn30Si Lp; CuZn38Sn1 Lp; stb.*

### 2.3. Bronzok

A bronzok a legrégebbi idők (kb. 5000 év óta) óta használt ötvözetek (bronzkorszak). Kezdetben csak a réz-ón (Cu-Sn) ötvözeteket nevezték bronznak, de ma az összes két vagy háromalkotós réz ötvözetet bronznak nevezik, a horgannyal ötvözött sárgarézen kívül. A gyakorlatban legtöbbször használják az ón, alumínium, mangán, szilícium, berillium, ólom bronzokat, de vannak kádmiium, króm, ezüst bronzok is. A bronzok mikroszerkezete szerint általában  $\alpha$  szilárd oldatúak, melyek jól alakíthatók, de különböző ötvöző elemek csak részben és kis mértékben oldódnak a rézben ( $\text{Sn} < 14\%$  ;  $\text{Al} < 10\%$  ;  $\text{Be} < 0,2\%$  stb.). Nagyobb ötvöző elem tartalomnál kemény, rideg, intermetallikus vegyületek jelennek meg, amik jelentősen növelik a szilárdságot és kopásállóságot, ha finom diszperz szemcsék formájában vannak jelen. Általában a bronzok fő előnye a nagyon jó korrózió ellenállásuk vizes, tengeri vagy atmoszférikus közegben, jó kopásállóságuk és alacsony súrlódási tényezőjük.

A bronzokat általában öntött, vagy képlékenyen hidegen alakított állapotban használják, nagyon jó forgácsolási tulajdonságokkal rendelkezve. Öntött bronzok dendritikus vagy polikrisztallinos szerkezetűek, a képlékenyen alakítottak szemcséséek.

Az ón-bronzok 2-14% Sn-t tartalmaznak, nagyon jó minőségűek, de ugyanakkor meglehetősen magas az áruk, mert az ón nagyon drága. Az  $\alpha$  szilárd oldat fázisú, 2-8% Sn-t tartalmazó bronzok nagyon jól önthetők és hidegen kiválóan alakíthatók hengerléssel, húzással stb., miáltal huzalokat, lemezeket, rudakat, csöveket gyártanak.

Az öntött bronzok is a kémiai összetétel alapján jelölendők, a TN, TC, TF, TP betűpárok az öntés módját mutatják. A további ötvöző elemek a szilárdságot, korrózió- és kopásállóságot, forgácsolhatóságot növelik. Ezekből víz szerelvényeket, mérőműszerek-, mikroszkópok alkatrészeit, csigahajtókat, fogaslécet öntenek, de sokszor használják szobrok és harangok öntésére is.

*CuSn6 TN; CuSn8 TN; CuSn4Zn4Pb1 TC; CuSn6Zn4Pb4 TP; CuSn9Zn5 TF; stb.*

Az öntött ón-bronzok 10-14% Sn tartalommal, különleges felhasználási területe a különböző csúszó csapágy perselyek készítése. Ezen anyagok szerkezete az  $\alpha$  fázison kívül egy eutektoidot is tartalmaz szemcséközben kristályosodva, melyben megjelenik egy kemény, rideg  $\delta$  fázis, mely egy  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  intermetallikus vegyület (150 HB). Ezen anyagok nagy kopásállóak a  $\delta$  fázis jelenléte miatt, kicsi a súrlódásuk zsírozott, vagy olajozott állapotban, ugyanakkor az  $\alpha$  fázis mivel képlékenyebb, felveszi az ütéseket. Sebességváltók, reduktorok, tengelyek, meghajtókarok stb. csapágy-perselyei készítésére használják. Ebbe a kategóriába tartoznak a következő ötvözetek:

*CuSn10 T; CuSn12 T; CuSn14 T; CuSn12Ni T; CuSn10Zn2; stb.*

A képlékenyen alakított bronzokat szalag, huzal, lemez, cső, vagy érem formájában használják, radiátorok, hőcserélők, tartályok, kaloriméterek, sziták készítésére:

*CuSn2; CuSn4; CuSn6; CuSn8; CuSn4Pb4Zn4; stb.*

Az alumínium-bronzok, 5-10% Al-ot tartalmaznak,  $\alpha$  szilárd oldatú monofázisú alakítható szerkezettel, vagy  $\alpha + \gamma'$  bifázisú szövetszerkezettel, mely edzéssel (750–800 °C-ról) és megeresztéssel (400–450 °C) martenzites lesz, igen nagy szilárdsággal. Ezen bronzok szilárdabbak ( $R_m = 260\text{--}600$  MPa), nagyon jó a kopás és korrózióállóságuk, szívósak, könnyen önthetők, mert híg folyósak, szűk

---

hőmérsékletközben dermednek, nem hajlamosak a dúsulásra, de ugyanakkor jól alakíthatók. Fogaskerek, dörzskerek, szorítócsavarok, szelepek, csapok, szivattyúk, bronzcsigák, hajócsavarok stb. készítésére használják:

*CuAl 9 T; CuAl 9Fe3 T; CuAl 10Mn2Fe3 T; stb.*

*CuAl 5; CuAl 8; CuAl 8Fe3; CuAl 10Fe5Ni5; stb.*

A szilíciumbronzok (4% Si) mechanikai tulajdonságai, korrózióállósága kedvezőek, jól hegeszthetők, olcsók. Öntve, vagy hidegen alakítva csúszó alkatrészek gyártására, rácsok, rugók, üstök, szűrők, csatornák készítésére alkalmazzák.

A berilliumbronzok (2–2,5% Be) az acélnál szilárdabb ötvözetek, kiválasztásos keményítés után a szakítószilárdságuk 1500 MPa, keménységük 300–400 HB, de ha Ni-vel van ötvözve a szilárdság 1800 MPa-ra és a keménység 500 HB-ra nő. Nagy előnyük, hogy ütésre nem szikráznak, ami szénbányákban használatos szerszámok készítésére teszi nagyon alkalmassá. Önthetők, alakíthatók, 800°C-ról edzve és 300°C-on öregítve használják rugók (órarugók és himbaspirálok), membránok, manométerek, diafragmák, finommechanikai alkatrészek stb. készítésére. Nagyon drágák és az előállításuk a berillium miatt veszélyes.

Az ólom-bronzok speciális keverék ötvözetek, mert a réz és az ólom szilárd oldatokat nem alkotnak, olvadt állapotban meg 36% Pb tartalom felett szintén oldhatatlanok. A gyakorlatban 5–25% Pb bronzokat használnak, acélperselybe öntve, motorok, mozdonnyok, turbinák stb. csapágycsavarok készítésére. A jó csúszási tulajdonságai a különleges szövetszerkezetnek köszönhetőek, az által, hogy a keményebb Cu szemcsék lágy Pb alapanyagba vannak ágyazva.

#### 2.4. Különleges rézötvözetek

A különleges rézötvözetek nikkellel, mangánnal stb. elemekkel ötvözött különleges tulajdonságú anyagok, speciális alkalmazási célokra: villamos vezetők, kompenzációs kábelek, orvosi műszerek, ellenállások, kondenzátorok, elektronikai és finommechanikai készülékek, dísz tárgyak, pénzérmék készítésére. A Ni erőteljesen növeli a szilárdságot, de nagyon drága, csak akkor használják, ha a nagy fajlagos elektromos ellenállás, korrózió- és erózió-állóság szükségeltetik. Ilyen ötvözetek például:

- Rezistin, mely 15% Mn-t tartalmaz, szilárd oldat szerkezetű, nagy a fajlagos ellenállása, nagyon jó a szilárdságuk, nem csak a normál hőmérsékleten ( $R_m=450$  MPa), de egészen 400 °C-ig (300 MPa). Villamos ellenállásokat, melegben dolgozó szerelvényeket, vezetékeket gyártanak belőlük, de Al, Zn, Si, Ni elemekkel ötvözve gépelemek gyártására is használják.
- Manganin, (CuMn12Ni4) fűtőellenállások számára használatos 300-500°C üzemi hőmérséklet tartományban.
- Constantan, (CuNi44Mn1) hő, fűtő és mérő ellenállások gyártására alkalmas, mert a fajlagos ellenállása 20-szor nagyobb mint a réz és alig változik a hőmérséklettel.
- Alpaka, nagyon jó szilárdságú (350-380 MPa) és korrózióálló ternár ötvözet, 15-30% Ni és 20-35% Zn tartalommal, csövek, kondenzátorok, evőeszközök, dísz tárgyak készítése céljából.

- Újezüst, Cu-Ni-Zn ötvözet, tetszetős ezüstös színnel, korrózióálló, gőz- és vízszerezvények, orvosi műszerek, elektronikai eszközök, dísz tárgyak készítése számára.
- CuNi10Fe1Mn ötvözet jó kopásálló, pénzürmék gyártására használják.
- CuNi20-25 korrózióálló anyag nagyobb hőmérsékleten is. Szűrőket, orvosi műszereket, fűcsöveket, klíma berendezéseket készítenek belőle.
- CuNi30Fe2Mn2 ötvözet nagyon jól ellenáll a tengervíz okozta korrózióknak, jó a kopásállósága. Eróziós, kavitációs kopásnak kitett alkatrészek, hajócsavarok, kondenzátor csövek gyártására használatosak.

## 2.5. Réz mátrixú kompozitok

Nagyobb szilárdság és kopásállóság érdekében a réz alapanyagba beágyaznak különböző erősítő adalékokat:

- Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – diszperziósan keményített kompozit, 600 MPa szilárdsággal;
- Cu-Nb – kompozit ötvözet kapcsolók számára előállítva ( $R_{p0,2}=300-1000$  MPa);
- Cu-W (spárkál) – kompozit anyag érintkezők számára kifejlesztve;
- Cu-Sn-C – kompozit jó vezető, kemény anyag, bronzkefék és áramszedők számára.

Új anyagként használnak még Cu-In-Se vékony filmlemez, napenergia elektromossággá való átalakítására. A fólia tulajdonképpen négy rétegű: ZnO-CdS-CuInSe-Mo szerkeztű, melyben a két szélső réteg elektródaaként működik.

## 2.6. Nikkel és ötvözetek

A nikkel szintén lapközepes köbös rendszerben kristályosodik, jó korrózió és sav álló, rossz hővezető, közepes sűrűségű ( $8,8 \text{ g/cm}^3$ ) és olvadáspontú ( $1452^\circ\text{C}$ ),  $360^\circ\text{C}$ -ig mágnesezhető elem. Nagy a szilárdsága ( $R_m=400-500$  MPa), igen szívós, rendkívül képlékeny, hidegen és melegen jól alakítható, hidegalakítás hatására jelentősen felkeményedik ( $R_m=1100$  MPa).

Az elektrolízissel finomított 99,5-99,99% tisztaságú nikkelt huzal, lemez, szalag alakban a vegyipar és a vákuumtechnika hasznosítja. A kohónikkelt (98,5% Ni) acélok ötvözésére, felületvédelemre, nikkelezésre használják.

A nikkel ötvözetek nagyobb részt szilárd oldatok alakjában jelennek meg, nagyon jó fizikai tulajdonságokkal rendelkezve: hőállóság, korrózióállóság, nagy fajlagos ellenállás, irányított hőtágulás, stb. Ezek közül megemlítendő a következők:

- Monel, NiCu28Fe2,5Mn1,5 összetételű ötvözet, nagy szilárdságú, képlékeny, korrózióálló anyag, vegyipari, tengeri, elektromos berendezések készítésére használják;
  - NiMn1-6, a belsőégésű motorok gyújtógyertyáinak huzalanyaga;
  - NiCr15; NiCr15Fe20; NiCrAl ötvözetek villamos hevítők, melegítő és hőkezelő kemencék fűtőellenállás anyaga,  $1150^\circ\text{C}$  hőmérsékletig, mert nagy az elektromos ellenállása, melegszilárdsága, hőállósága;
  - Inconel (NiCr15Fe10), Nimonic (NiCr20Ti3Al1), NiCrCo10, stb. ún. szuperötvözetek, magas hőállósággal, melegszilárdsággal,  $1300^\circ\text{C}$  hőmérsékletig, gázturbinák palettái számára;
-

- *Invar* ( $FeNi36$ ), *Platinin* ( $FeNi48$ ), *Elinvar* ( $FeNi36Cu12$ ) szabályozott hőtágulással rendelkeznek, az első  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig nem tágul, a második hőtágulása egyenlő az üvegével, a harmadiknak meg a rugalmassági tényezője állandó és nem változik a hőmérséklettel.

## 2.7. Nemesfémek

A nemesfémek csoportjába tartoznak az *Au*, *Pt*, *Ag*, *Ir*, *Rh*, *Pa*, *Os*, *Ru*, melyek mind kiváló korrózióállósággal rendelkeznek.

A tiszta *arany* igen képlékeny, kiváló hő és elektromos vezető, nagyon jó korrózióálló fém. Hideg hengerléssel  $\mu\text{m}$  vastagságú fóliát, húzással  $\mu\text{m}$  átmérőjű szálakat lehet készíteni. Rézzel ötvözve szilárdsága nő, színe sárgás lesz. A 24 karátos arany 100% -os tisztaságú. Mikrohullámú elektronikai berendezések nyomtatott áramköröi, integrált chippek érintkezői, stb. és persze ékszerek készítésére használatos.

Az *ezüst* a legjobb hő és villamosvezető fém, lágy, képlékeny, jól ötvözhető. Az iparban huzalok, kapcsolók készítésére használják, de repülőgépmotorok csapágyfémeként, keményforrasztó anyagként és érszerek készítéséhez is sokat használják.

A *platina* igen lágy, nagy sűrűségű ( $21,37\text{ g/cm}^3$ ), magasabb olvadáspontú ( $1773\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) kiváló korrózióállóságú fém. Olvasztó téglék, elektródok, katalizátorok, hőelemek készítésére alkalmazzák.

## 2.8. Nagy olvadáspontú fémek

Ezen fémek  $2000^{\circ}\text{C}$  felett olvadnak, úgy, hogy csak porkohászati úton lehet őket előállítani. Legfontosabbak a *W* ( $3370\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Re* ( $3177\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Os* ( $3027\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Ta* ( $3005\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Mo* ( $2622\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Ir* ( $2443\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

A wolframot izzószálak, katódok, nem olvadó hegesztő elektródák készítésére, villamos kontakt pasztillák gyártásához használják. A molibdénből vakuumkemencék fűtőelemeit készítik, szallag vagy lemez formában.

## 2.9. Kis olvadáspontú fémek

A kis olvadáspontú fémek csoportjába a következő fémek tartoznak: *Zn* ( $419\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Pb* ( $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Cd* ( $321\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Bi* ( $271\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Sn* ( $232\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); *Hg* ( $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

A *horgany* (*Zn*) hexagonális rendszerben kristályosodik, rideg, kis szilárdságú,  $130\text{-}180\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on alakítható. Lemezek, csövek huzalok előállítására alkalmas. Jól önthető, korrózióálló, jól tapad más fémekhez. Ellenáll a légköri és tengervízi korróziónak. Nyomdaiparban lemezek készítésére, általában meg acéllemezek bevonására használják. Ötvözetei alumíniummal  $ZnAl\ 4$ ;  $ZnAl4Cu1$ ;  $ZnAl10Cu2$  stb. jól fröccsönthetők, fém formákba, precíziós alkatrészek készítésére. A  $ZnAl10C5Mg$  ötvözetet csapágyaknál használják, a  $ZnCd40$  meg adalékanyag  $Al$  és  $Mg$  ötvözetek forrasztásához.

Az *ólom* (*Pb*) a nehézfémek csoportjába való ( $\rho=11,38\text{ g/cm}^3$ ), lapközepes köbös térrácsú, lágy (6 HB), kis szilárdságú (15 MPa), jól alakítható, nem keményedő, kitűnő korrózióálló fém. A kénsav, nitrogén, klór, stb. gyártásban csövek, kádak, tornyok, szivattyúk készítésére használják.

Akkumulátorok lemezei gyártásához, vízvezeték csövek készítéséhez,  $\gamma$  sugár védelemhez szintén nélkülözhetetlen.

Az *ón* (*Sn*) kis szilárdságú (30–40 MPa), korrózió és saválló, nagyon képlékeny fém. Szerves anyagoknak nagyon jól ellenáll, ezért az élelmiszeriparban csomagolásra használják, sztaníol lemezként, vagy konzervdoboz bevonataként. A fehér, tetragonális rácsú  $\beta$ -ón, mely nagyon könnyen alakítható, 18°C alatt gyémántrácsú szürke  $\alpha$ -ónná alakul át, amely a nagy térfogatváltozás következtében fellépő feszültségek hatására porrá esik szét. Ezt a jelenséget nevezik ónpestisnek. Az ón ötvözeit lágyforrasztó anyagként (SnPb5-60%) vagy csapágyfémként alkalmazzák.

#### 2.10. Csapágyötvözetek

A csapágyötvözetek olyan speciális csúszócsapágy anyagok, melyeknek kicsi a súrlódási tényezője, könnyen alkalmazkodik a tengely formáihoz a bejáratás folyamán, bírja az ismétlődő dinamikus igénybevételeket, jó hővezető és korrózióálló, kicsi a hőtágulása és jól önthető. Ilyenek a:

- *Sn-alapú* ötvözetek 3-11% Sb és 3-6% Cu tartalommal, melyek a legjobb motor és kompresszor csapágy ötvözetek. Ilyen például az *YSn83* (11% Sb; 6% Cu) és amit Babbit-fémnek hívnak, az *YSn89* (7% Sb; 4% Cu) és az *YSn80* (12% Sb, 6% Cu, 2% Pb);
- *Pb-alapú* ötvözetek olcsóbbak, habár Sb és Sn-al vannak ötvözve: *YPbSb5*; *YPbSn10* és *YPbSn6Sb6* (ezeket a nyomdaiparban betűk öntésére is használták). Az *YPb98* Ca, Na, Mg, Al-al van ötvözve, vasúti vagonok kerék csapágiaihoz használják (Bahnmetal);
- *Al-alapú* ötvözetek a legolcsóbbak, mert alumínium matrixban Sn, Sb, Mg, Ni, Si keményebb elemek kombinációja van beágyazva: *YAlSb5*; *YAlSn6CuNi stb.* Ezeket főképpen személygépkocsi-motorok főtengelyének csúszó csapágiai készítésére használják.

#### Könyvészet

- 1] ARTINGER István–KATOR Lajos–ZIAJA György: *Új fémes szerkezeti anyagok és technológiák*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
-

## Fémes anyagok hegesztése

Dr. Bicsak Jenő, egyetemi tanár  
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Anyagtudományi és Mérnöki Kar,  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék

### 1. Bevezetés

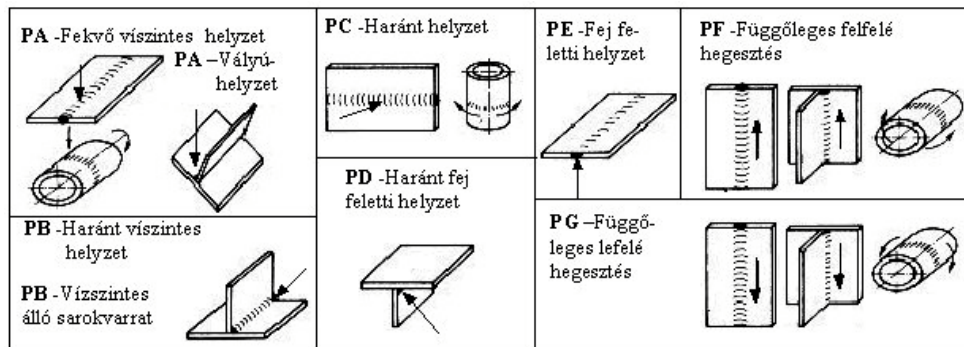
A *hegesztés* egy olyan technológiai eljárás, amely során két vagy több munkadarabot hővel, olvadással, vagy nyomással egyesítünk, úgy, hogy a darabok között nem oldható, az anyagok természetének megfelelő fémes (kohéziós) kapcsolat jöjjön létre. Megkülönböztetünk:

- *kötőhegesztést*, mellyel két vagy több munkadarab egyesíthető, vagy
- *felrakóhegesztést*, mellyel adott tulajdonságú fémes felületet alakítanak ki.

A *hegesztési eljárások* több szempontból is csoportosíthatók, de a leghasználatosabb csoportosítás a felhasznált energiaforrás szerinti. Az ISO szabványok szerint a hegesztési eljárásokat számkódokkal jelölik, de a megnevezések után olvasható nagybetűk a magyar műszaki gyakorlatban használt rövidítéseket jelentik:

<p><b>0 Ömlesztőhegesztés</b></p> <p><b>1 Ívhegesztés (I)</b></p> <p>11 Fogyóelektródás önvédő ívhegesztés (ÖFI)</p> <p>111 Fogyóelektródás ívhegesztés bevont elektródával (hegesztőpálcával) (BI)</p> <p>12 Fedett ívű hegesztés (FFI)</p> <p>13 Fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés (VFI)</p> <p>131 Fogyóelektródás, semleges védőgázos ívhegesztés (AFI)</p> <p>14 Nem fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés</p> <p>141 Volframelektródás védőgázos ívhegesztés (AWI)</p> <p>15 Plazmaív-hegesztés (PI)</p> <p>18 Egyébb ívhegesztési eljárások</p>	<p><b>3 Gázhegesztés (L)</b></p> <p>31 Oxigén-éghető gáz hegesztés</p> <p>32 Levegő-éghető gáz hegesztés</p>
<p><b>2 Ellenállás hegesztés (E)</b></p> <p>21 Ellenállás-ponthegesztés (PE)</p> <p>22 Ellenállás-vonalhegesztés (VE)</p> <p>23 Ellenállás-dudorhegesztés (DE)</p> <p>24 Leolvasztó tompahegesztés (LTE)</p> <p>25 Zömítő tompahegesztés (ZTE)</p> <p>29 Egyébb ellenállás hegesztési eljárások</p>	<p><b>4 Sajtolóhegesztés</b></p> <p>41 Ultrahangos hegesztés (UH)</p> <p>42 Dörzshegesztés (D)</p> <p>43 Kovácshegesztés</p> <p>44 Hegesztés nagy mechanikai energiával</p> <p>45 Diffúziós hegesztés (DM)</p> <p>47 Sajtoló gázhegesztés</p> <p>48 Hidegsajtoló hegesztés (H)</p>
	<p><b>7 Egyébb hegesztési eljárások</b></p> <p>71 Aluminotermikus hegesztés (AT)</p> <p>72 Villamos salakhegesztés (SA)</p> <p>73 Elektro-gázhegesztés (EG)</p> <p>74 Indukciós hegesztés (IG)</p> <p>75 Fénysugaras hegesztés</p> <p>751 Lézersugaras hegesztés (LS)</p> <p>76 Elektronsugaras hegesztés (ES)</p> <p>77 Ívkiütéses sajtolóhegesztés (IS)</p> <p>78 Csaphegesztés (CSI)</p>

A hegesztési helyzeteket szintén nemzetközi betűkódokkal jelölik:

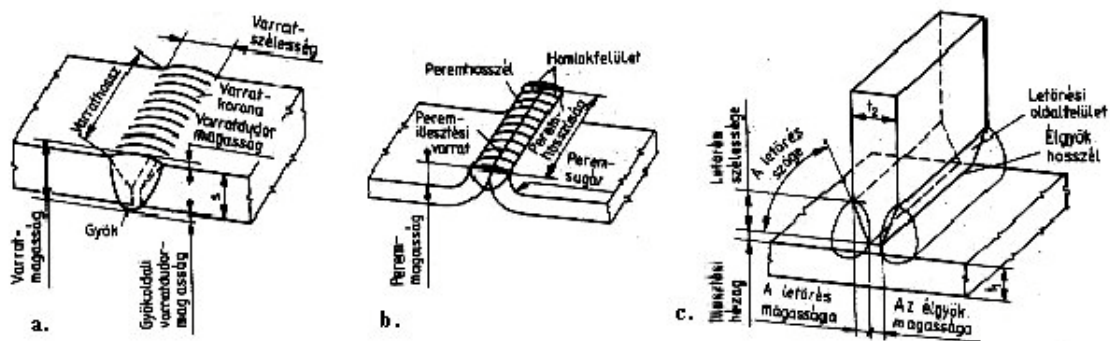


## 2. Hegesztett varratok és kötések

A hegesztett kötés két összetevőből áll:

- *alapanyag*, vagy hegesztendő elem és a
- *varrat*, mely az ömledék szilárdulása révén jön létre.

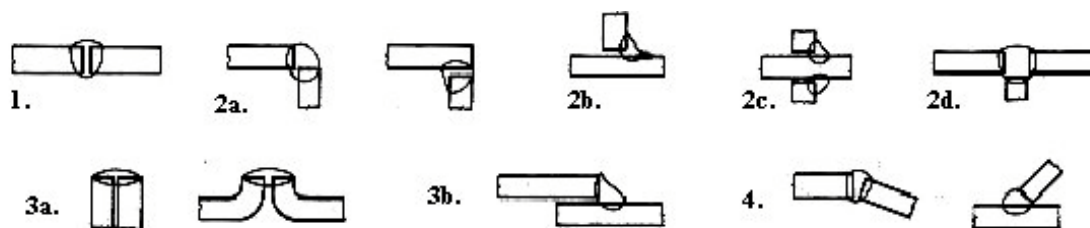
A hegesztett varratok főbb jellemzői az 1. ábrán láthatók. A tompakötés (a.) varrat jellemzői a következők: varratgyök, varratkorona, varratszélesség, varrathossz, varratmagasság, varratdudormagasság, gyökoldali varratdudormagasság stb. A peremvarrat (b.) jellemzői: a peremillesztési varrat, homlokfelület, peremhossz, peremmagasság, peremsugár, peremhossz stb. A sarokkötés (c.) esetében fontosak a letörés szélessége, a letörés szöge, a letörés oldalfelülete, a letörés magassága, az illesztési hézag, az élgök magassága stb.



1. ábra. A hegesztett varratok főbb jellemzői.

A hegesztett kötések legfontosabb csoportosítása az összekötendő elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint történik (2. ábra). Ezek szerint megkülönböztethetők:

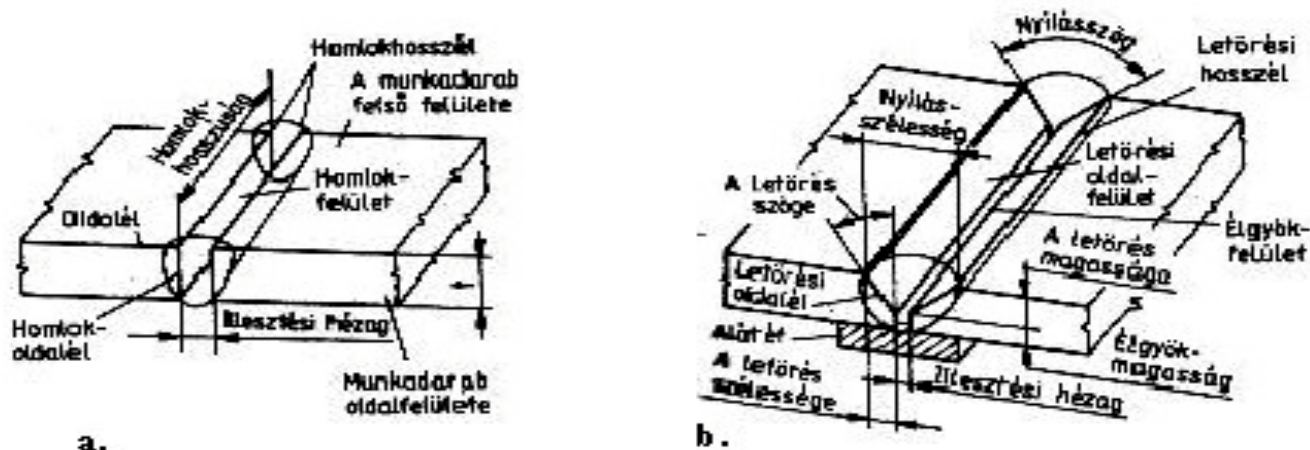
1. *tompakötés*, ahol az elemek ugyanabban a síkban helyezkednek el;
2. *merőleges kötés*, melyben az elemek merőlegesek egymásra, úgy mint a sarokkötés (2a.), a T kötés (2b.), a kettős T kötés (2c.) és a háromlemez kötés (2d.);
3. *párhuzamos kötés*, ahol az elemek egymással párhuzamos síkban fekszenek, ilyen a homlokkötés (3a.), meg az átlapoló kötés (3b.);
4. *ferde kötés*, melyben az elemek egymással bezárt szöge tetszőleges (kivéve a  $90^\circ$  és  $180^\circ$ ).



2. ábra. A hegesztett kötések típusai az elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint

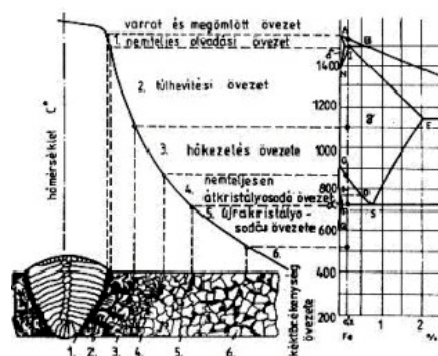
A hegesztett varratokat az úgynevezett hegesztési illesztés által alakított térben készítik el. A *hegesztési illesztés* a munkadarab elemeknek a hegesztés helyéül kijelölt és a tervezett varratnak megfelelően kialakított felülete. Ezek alakja függvényében megkülönböztetnek merőleges kialakítású *I*, egyoldalról letört, leélezett, peremezett szimmetrikus *V*, *Y*, *U*, formájú illesztéseket, egyoldalról letört és peremezett aszimmetrikus  $\frac{1}{2}V$ ,  $\frac{1}{2}Y$ ,  $\frac{1}{2}U$ , élkiképzést, kétoldalról letört élű szimmetrikus *2V*, *2Y*, *2U*, *X*, illesztési alakokat, vagy két oldalról letört élű aszimmetrikus *K*,  $2\frac{1}{2}V$ ,  $2\frac{1}{2}Y$ ,  $2\frac{1}{2}U$  stb. illesztési élkiképzést.

A hegesztési illesztés főbb jellemzői (3. ábra) az illesztési hézag, élgökmagasság, a letörés szöge, letörési oldalél, letörési szélesség, letörési magasság, nyílásszög, nyílásszélesség, letörési felület, élgök felület, letörési hosszél, homlokhosszél, homlokoldalél, oldalél, homlokfelület, homlokhosszúság, a munkadarab felső felülete, a munkadarab oldalfelülete stb. Gyakran az összehegesztendő lemezek alá réz, vagy acél alátétet helyeznek, hogy a hegesztési ömledék ne tudjon kifolyni.



3. ábra. Hegesztési illesztés jellemzői *I* varrat (a.) és *Y* varrat (b.) esetében

Az ömlesztett hegesztési eljárással készített acélokra érvényes kötések szerkezete a 4. ábrán látható. A szerkezet az alapanyag, hozanyag, hegesztési eljárás és paraméterek függvényében kialakuló hőhatás-övezetek hatására bekövetkezett szerkezeti változások következtében jön létre. A hegesztett varrat szerkezete általában az ömledékfűrdő kristályosodása nyomán alakul ki, szemcsés, dendritikus alakban, ferrito-perlitikus szövetelemekkel. Az alapanyag eredeti hengerelt mikroszerkezete a vas-karbon diagram szerint jelentős változásokon megy át, annak függvényében, hogy a hegesztés folyamán milyen hőmérsékletre melegszik fel és milyen nagyságú a lehűlési sebesség. A varrat mellett megjelenik egy nemteljes olvadási övezet (1), feldúsulásokkal, nagy porozitás, repedés és felkeményedési hajlammal. Ezután jelentkezik egy túlhevítési övezet (2), nagy ferrit és perlit szemcsékkal, következik egy normalizált övezet (3) nagyon finom szemcsékkal, aztán egy nem teljesen átkristályosodott övezet (4), egy újra kristályosodott övezet (5) és egy kéktörékenységi övezet (6).



4. ábra. Ömlesztő hegesztési eljárással készített kötések varratja és hőhatás-övezetének szerkezete

A hegesztés folyamán folytonossági hiányok, hibák keletkezhetnek, melyek jelentősen leronthatják a kötések mechanikai, felhasználási és biztonsági tulajdonságait. Ezek feltárása, kimutatása a hibakereső anyagvizsgálatok feladata. Ezek közül fontosabbak a folyadék-behatolásos, mágnesporos, ultrahangos és a radiográfiai X vagy  $\gamma$  sugaras vizsgálat. A hegesztett kötések hibáit kódszámokkal jelölik (5. ábra):

100 – repedések, a hegganyagban, hőhatásövezetben, vagy az alapanyagban jelennek;

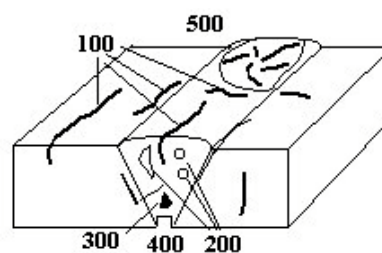
200 – üregek, főképpen gázzárványok, melyek lehetnek gömb-, tömlő-, vagy hernyóalakúak, egyenletes, soros, vagy halmaz elosztásúak, de keletkezhetnek ún. fogyási üregek is;

300 – szilárd zárványok, lehetnek a varratba bezárt idegen anyagok (salak, oxid, folyasztószer stb.);

400 – kötésihibák, a varrat és alapanyag nem megfelelő összeolvadásából, illetve hiányos beolvadásából erednek;

500 – alakhibák, az előírt alaktól és mérettől való geometriai jellegű eltérések, mint a szélkiolvadás, túlzott varratdudor, gyökátfolyás, hidegfolyás, éleltolódás, túlzott megömlés, átlukadás, vastagsághiány, egyenletlen varrat, gyökoldali behúzóadás, aszimmetrikus varratképzés stb.

600 – egyéb hibák, fröcskölés, ívgyútási nyom stb.

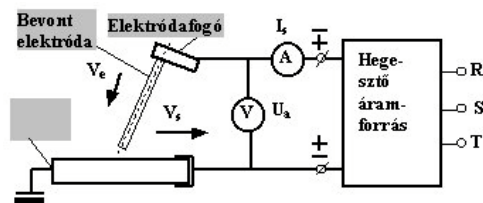


5. ábra. Hegesztett kötések hibái

### 3. Fogyóelektrodás ívhegesztés bevont elektródával

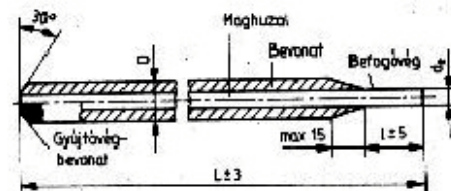
A fogyóelektrodás ívhegesztés egy kézi vezetésű hegesztés, ahol a hozanyag egy nemfémes anyagokkal bevont fémhuzal elektróda, amelyet hegesztés közben a leolvadás sebességével megegyező sebességgel kell közelíteni a munkadarab felé, valamint az élek mentén a készítendő varrat keresztmetszetétől függő sebességgel kell mozgatni.

A hegesztés vázlata a 6. ábrán látható. Az áramforrás lehet transzformátor, váltakozó árammal való hegesztéshez és generátor, egyenirányító, inverteres egyenirányító egyenáramú hegesztés számára. Az áram polaritása lehet direkt (- az elektródán), vagy fordított (+ az elektródán). Az elektródafogó fő feladata az elektróda tartása és az áram az elektródához való vezetése. A hegesztővezeték (kábel) vezeti az áramot az áramforrástól a befogóig és a munkadarabig, a testkábel a földvezetékhez csatlakozik. Még szükséges a védőöltözet, hegesztőálc, vagy sisak, salakolókalapács, drótkefe, tűzfogó, kéziköszőrű, füstelszívó berendezés stb.



6. ábra. Bevont elektródás kézi ívhegesztés vázlata

A bevont ívhegesztő elektróda egy kis szénttartalmú acélpálcából és egy ásványi és szerves anyagokból a maghuzalra sajtolt bevonatból áll (7. ábra). A fémhuzal átmérője lehet 1,6; 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6 vagy 8 mm, hossza meg 200; 250; 300; 350; 450 mm. A bevonat salakképző



7. ábra. Bevont ívhegesztő elektróda

anyagokat (kvarc, rutil, mészpát, dolomit, vas és mangánérc), védőgáz képző (cellulóz, amidon), ív stabilitását elősegítő, dezoxidáló, ötvöző stb. anyagokat tartalmaz. A gyakorlatban több típusú bevont elektródát használnak:

*A – savas* bevonatú elektróda  $\text{SiO}_2\text{-FeO-MnO}$  tartalommal, főképpen alacsony szénttartalmú, statikusan, kis mértékben igénybe vett hegesztett szerkezetek készítésére;

*R – rutilos* bevonatú elektróda szintén savas hatású, de rutil  $\text{TiO}_2\text{-MnO-FeO}$  tartalommal, nagyobb igénybevételű, 0,3% C tartalmú, közepesen igénybevett acélok hegesztésére;

*B – bázikus* típusú elektróda  $\text{CaCO}_3\text{-MnO-CaF}_2$  bevonattal, mely nagyon jó minőségű varratok készítését teszi lehetővé, 0,5% C tartalmú szénacélok, ötvözött acélok, öntvények hegesztésére, nagy statikus, dinamikus, fárasztó igénybevétel esetére, kazán és nyomástartó edények, hidak, hajótestek stb. gyártására. Viszont ez a típusú elektróda drágább, vízszívó és gyenge ívstabilitást eredményez. Ezért a használat előtt az elektródákat  $150^\circ\text{C}$ -on szárítani kell és csak fordított polaritású egyenárammal lehet hegesztetni. Még használatosak az úgynevezett cellulóz (C), rutil-savas (AR), vastag rutilos (RR), rutil-bázikus (RB) stb. típusú elektródák is, de kisebb mennyiségben. Az öntvények, alumínium, réz és ezek ötvözetei hegesztésére speciális huzalú és bevontú ívhegesztő elektródákat használnak.

A hegesztést általában  $U_a = 20-50$  V feszültségű árammal,  $I_s = 30-380$  A áramerősséggel,  $V_s = 5-20$  m/h hegesztő sebességgel végzik. Az utóbbi időben bevont elektródás ívhegesztést mind kevesebbet használnak, inkább csak rövid, komplex formájú, nehezebben hozzáférhető varratok készítésére, kisipari, kis sorozatú szerkezetek gyártására, felrakó, vagy javító hegesztésre.

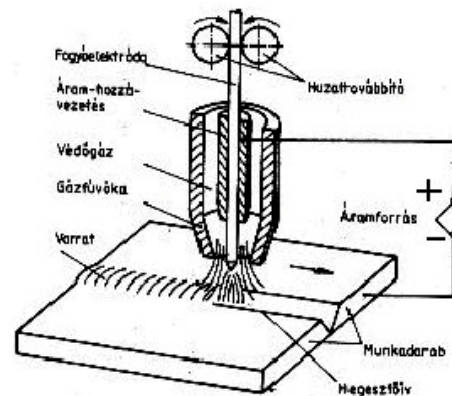
#### 4. Fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés

Ez a hegesztési eljárás, melyet nemzetközileg MÍG/MAG eljárásnak is hívnak, mind jobban átveszi a bevont elektródás eljárás helyét, mivel a hegesztett kötés jobb minőségű lesz, nő a termelékenység, lehet automatizálni, robotizálni, nem szennyezi a környezetet és ezáltal hegeszthető a fémek legnagyobb része (nemötvözött és ötvözött acélok, Al, Cu, Ti, Ni, és ezek ötvözei), úgy vékony, mint vastag anyag minőségben. Nemzetközileg az összes ömlesztő eljárással gyártott hegesztett kötések 80%-a fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztéssel készül. A fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés egy félautomata hegesztési eljárás, amely egy állandó előtolási sebességgel jövő dróthuzal és a munkadarab között létrejött elektromos ív leolvasztó hatásán alapul, úgy, hogy a huzal körül befűjt védőgáz a környező levegőt kizárja (8. ábra).

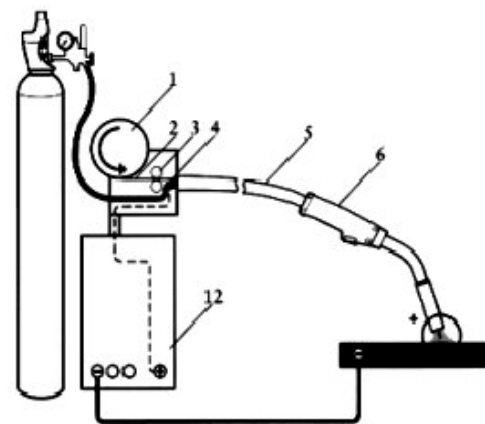
A MÍG/MAG eljárás berendezésének rajza a 9. ábrán került bemutatásra. A készülék négy főbb egyégből áll: *a. áramforrás* (12), mely lehet 50-500 A-es egyenirányító, inverter, vízszintes jellegű örbével; *b. huzalelőtoló berendezés*, mely huzalcsévéből (1), fogyóelektródából (2), tologörgőkből (3), huzalvezetőből (4) és egy változtatható fordulatszámú, egyenáramú motorból áll ( $V_e = 2-25$  m/min.); *c. Hegesztőpisztoly* (6), ami a huzal bevezetést, gázbefűvást, az áram bevezetést és a távvezérlést biztosítja, (5) – vezeték köteg; *d. védőgázellátó rendszer*, mely egy gázpalackból és gáznyomás csökkentő reduktorból tevődik össze.

A védőgáz minőségétől függően a fogyóelektródás ívhegesztő AFI eljárásnak három változata különböztethető meg:

– *aktív, széndioxid* ( $\text{CO}_2 > 99,5\%$ ) védőgázos, fogyóelektródás MAG (Metal Active Gas) elnevezésű ívhegesztési eljárás, melyet leginkább ötvözetlen szénacélok hegesztésére használnak, mert a széndioxid az elektromos ívben disszociál  $\text{CO}_2 = \text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$  reakció szerint, ahol a szénmonoxid redukál, de az oxigénatom oxidálja az ömledéket, amit csak 1-2% Mn és 0,3-1% Si



8. ábra. A fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés elve



9. ábra. MÍG/MAG hegesztő készülék

elemekkel ötvözött huzal használatával lehet ellensúlyozni. A  $\text{CO}_2$ -gázt acélpalackokban tárolják és szállítják, 60 bar nyomáson, folyékony állapotban. Használata esetén a gázpalack és nyomás csökkentőreduktor közé egy gázmelegítőt kell iktatni, hogy a nyomás csökkenés hatására ne fagyjanak be a reduktor szelepei;

– *semleges gáz* ( $\text{Ar} > 99,998\%$  , vagy He) fogyóelektrodás változat MÍG elnevezéssel (Metal Inert Gas), melyet ötvözött acélok, nemrozsdásodó, hőálló stb. acélok, Al, Cu, Ti stb. Xs ötvözeteik hegesztésére használnak. Az argont szürkére vagy ezüst színűre festett acél palackokban szállítják 150-200 bar nyomáson;

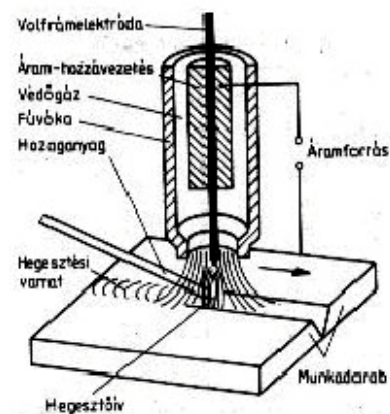
– *keverék gáz* (kevertgáz) változat, melyet  $\text{Ar} + 3-40\% \text{CO}_2$  szénacélok és gyengén ötvözött acélok hegesztésére használnak, mivel nagyobb lesz a hegesztési sebesség, kisebb a fröcskölés, jobb a varratminőség, kisebb a porozitás és salakképződés. Szintén használnak  $\text{Ar} + 0,1-5\% \text{O}_2$  kevertgázat nemrozsdásodó acélok hegesztésére. A kevert gázokat úgy szállítják, mint a tiszta argont, de a palackot rózsaszínűre festik.

A huzalelektrodák átmérője 0,6 és 2,4 mm között van, de leginkább a 0,8; 1,0 és 1,2 mm-es huzalokat használják. A felületük rézzel van bevonva a jobb áram átmenet biztosítására és a rozsdásodás megelőzésére. A huzalok minősége a hegesztendő alapanyag minőségétől függ. Az ötvöztelen és gyengén ötvözött Mn, Si acélokat 0,07-0,14% C és 0,8-1,6% Mn és 0,4-1,2% Si tartalmú huzalokkal hegesztik. Melegsilárd acélokhöz a huzalok még 0,4-1,1% Mo is tartalmaznak. Az ötvözött és nemrozsdásodó acélokat hasonló összetételű huzalokkal hegesztik. Az AFI hegesztéshez még használnak ún. porbeles huzalelektrodákat is, melyek hajlékony csőalakúak, acél burokkal és belül salakképző adalékokkal.

## 5. Volfrámelektrodás, semleges gázos ívhegesztés

Ez a hegesztési eljárás (AWI hegesztés) egy nemolvadó volfrám elektrodát használ az elektromos ív fenntartása céljából, amely körül argont fúvatnak semleges védő gázként.

Az ív a volfrámelektroda és a munkadarab között ég, a hozanyag lehet kézi vagy gépi adagolású, pálcá vagy huzal formájában, de bizonyos esetekben lehet hozanyag nélkül is hegesztetni. Az eljárás nemzetközi rövidítése WIG, vagy TIG (Wolfram, Tungsten Inert Gas). A volfrámelektrodás, argon gázos ívhegesztés elve a 10. ábrán látható. Az áramforrás a W elektrodátartó és a munkadarab közé van bekötve, a védőgáz meg egy kerámia fúvókán keresztül jut a hegesztő zónába, védve a W elektrodát, a hozanyagot, a munkadarabot és a megolvadt fémfürdőt.

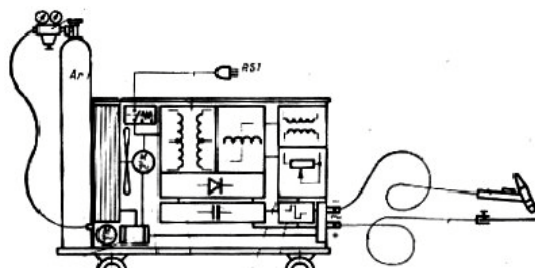


10. ábra. Az AWI hegesztés elve

A *volfrámelektroda* nagy tisztaságú ( $W > 99,8\%$  ) pálcá, 1-6 mm vastagsággal és 100-175 mm hosszúsággal, melyet a befogó készülékben vízzel hűtenek. Az elektrodát a nagyobb elektron kibocsátás

érdekében egyes esetekben  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  vagy más oxidokkal szennyeznek 0,3-2,2% mennyiségben. A nagyobb tartósság érdekében az elektródát  $25^\circ$ -ra kihegyezik.

A védőgáz lehet nagy tisztaságú argon ( $\text{Ar} > 99,98\%$ ), vagy argon-hélium keverék. Az AWI hegesztőkészülék vázlata a 11. ábrán van bemutatva. A készülék szekrényében van elhelyezve az áramforrás (transzformátor, diódás egyenirányító), nagy frekvenciás áramgenerátor az ív beindításához, szűrő kondenzátortelep a váltakozó áramú hegesztéshez, víz hűtőkör,



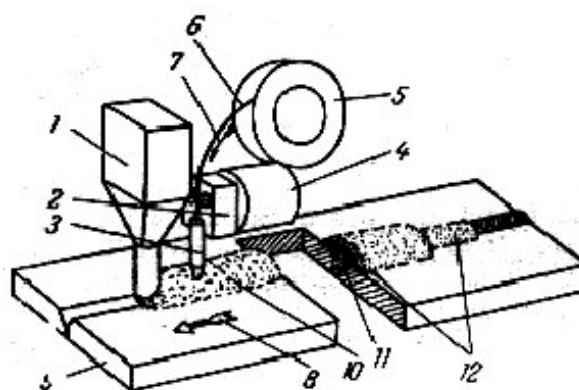
11. ábra. A volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztő berendezés vázlata

gázellátókör stb. Az ábrán még látható a hegesztőpisztoly és az argont tartalmazó palack a nyomáscsökkentővel. Az alumínium és ötvözetek hegesztéséhez váltakozó áramot kell használni, hogy az egyik félperiódusban az elektromos ív melegítsen, a másikban meg az argonion bombázás következtében az olvadék fürdött az oxidoktól megtisztítsa. Ez esetben egy szűrőkondenzátor telepet is beiktatnak, hogy ne keletkezzen egy egyenirányító hatás, ami a hegesztés teljesítményét lerontja. A rozsdamentes és hőálló acélok, a réz és ötvözetek hegesztéséhez direkt polaritású (W) egyenáramot jobb használni. Használatos még az ún. impulzusos AWI hegesztő eljárás, amely során a hegesztőáram 3-10 Hz frekvenciával lüktet, ami által a hegfürdő jobban kezelhető, az elektróda elhasználás csökken és mélyebb beolvadás érhető el.

A hegesztési paraméterek a következő értékek között szabályozhatók: hegesztőáram erősség  $I_s = 30-300 \text{ A}$ ; ívfeszültség  $U_a = 15-30 \text{ V}$  és a hegesztő sebesség  $V_s = 4-12 \text{ m/h}$ .

## 6. Fedett ívű hegesztés

A fedett ívű hegesztés leolvadó fémelektroda és a munkadarab között keltetett elektromos ívvel, fedőpor védelme alatt végzett automata, vagy félautomata ömlesztőhegesztés. Az eljárás elrendezése a 12. ábrán látható. A (6) huzalelektroda az (5) tároló dobrol tekeredik le, és a (3) áramvezető gyűrűn jut a munkadarab közelébe, úgy, hogy az elektromos ív a (10) fedőpor alatt ég. A hegesztés folyamán a (9) munka darab illesztékében a (12) varrat ke-

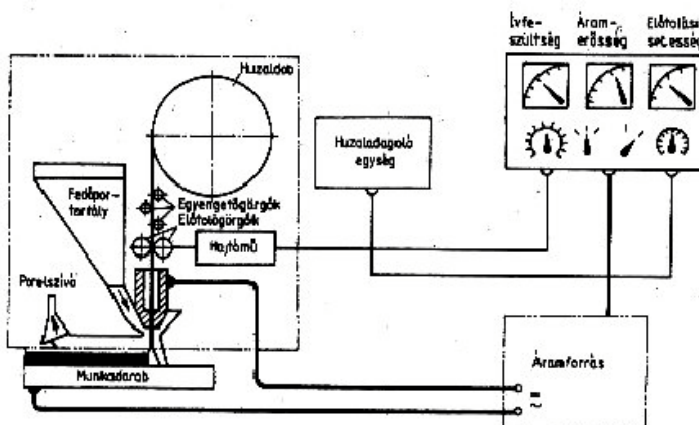


12. ábra. A fedettívű hegesztés elvi vázlata

letkezik, a (12) salakhernyó alatt. A (2) huzalelőtoló berendezést a (4) motor hajtja, a fedőpor pedig az (1) tartályból ömlik a varratra egy csővezetéken keresztül. A hegesztés a (8) jel irányában

történik, a huzal meg a (7) előtolási irányba halad. A fedettívű hegesztéssel nagyon jó minőségű varrat készülhet, a bevont elektródájú ívhegesztéshez viszonyítva 10-20 szorosán nagyobb termelékenységgel, 5 mm lemezvastagság fölött. Az eljárás kiváltképpen egyenes, vagy kör alakú, hosszú varratok hegesztésére gazdaságos, közepes vagy nagy szériában gyártott szerkezetek számára, ötvöztelen, vagy ötvözött acél alapanyagok esetében.

A fedett ívű hegesztő berendezés elvi vázlatát a 13. ábrán van bemutatva. A fogyóelektróda huzal egy dobról csévélődik le előtológörgők húzása hatására és az érintkező fejen keresztül jut a hegesztő zónába. A huzaladagoló egység elektromotorból, hajtóműből



13. ábra. A fedettívű hegesztőberendezés elvi vázlatát

és előtoló görgőkből áll. Az áramforrás lehet transzformátor vagy egyenirányító. A fedőport egy tölcser szerű tartályból jutattják a hegesztési zónába.

A fedőpor összetétele nagyjából megfelel a bevont elektródák bevonatának. A fedőporok lehetnek savas típusú  $\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$  összetételűek, ötvöztelen acélok hegesztésére, 20-37% MnO tartalommal, vagy bázikus típusú  $\text{CaCO}_3\text{-MnO-CaF}_2$  összetételű anyagok, nagy szilárdságú és ötvözött acélok hegesztésére. Ez utóbbi porok nedvesség szívók, használat előtt szárítandók és csak fordított polaritású egyenárammal biztosított az elektromos ív stabilitása.

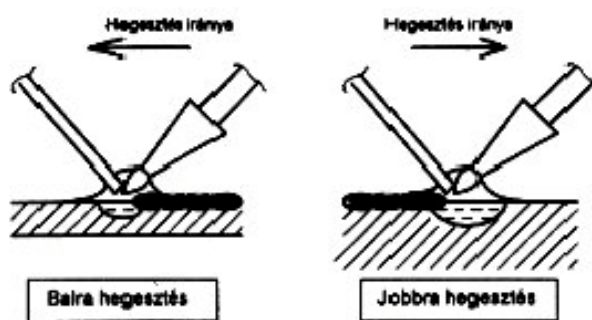
A hegesztő huzalok lehetnek nagy tisztaságú ötvöztelen acélból készítve, esetleg 1-2% Mn tartalommal, de az ötvözött acélokhöz megfelelően ötvözött huzalokat kell használni. Léteznek hegesztő anyagok alumínium és ötvözetek hegesztésére is.

A főbb hegesztési paraméterek a következők: huzal vastagság: 1,5-5 mm; huzal előtolási sebesség  $V_e=10-500$  m/h, ív feszültség  $U_a=20-60$  V, hegesztő áramerősség  $I_s=100-3000$  A; hegesztési sebesség  $V_s=6-30$  m/h. A fedett ívű hegesztés fő hátránya, hogy csak vízszintesen lehet alkalmazni és a hegesztő berendezést csak könnyen hozzáférhető varratoknál lehet használni.

## 7. Lánghegesztés

gázok közül az ipari gyakorlatban az acetilén terjedt el, mert az oxigénnel alkotott keveréke adja a legnagyobb égési hőmérsékletet ( $3200^\circ\text{C}$ ), nagy a fűtőértéke ( $56.800$  kJ/m<sup>3</sup>) és legnagyobb az égési sebessége (11,6 m/s).

Az acetilén-oxigén lánghegesztésnél (kód szám: 311) a hegesztőlángot semleges típusúra kell beállítani, a hegesztőpisztolyt a jobbkezben a lemez felületéhez képest  $30-60^\circ$  szögben kell tartani, úgy, hogy a primer láng kék csúcsa 3-5 mm távolságra legyen a hegesztőfördőtől, a hegesztőpálcát meg a balkézben tartva alakítják ki az ömledékfördőt (14. ábra).

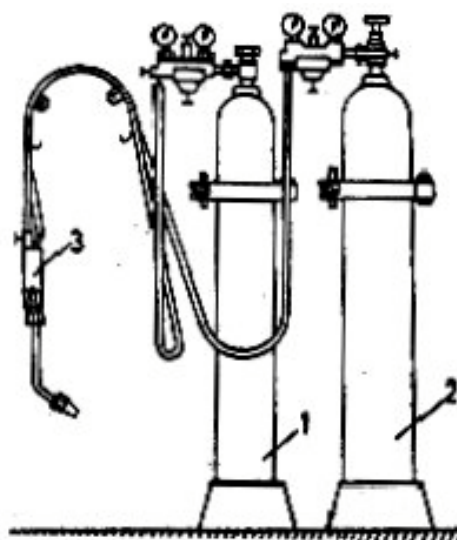


14. ábra. A láng hegesztés elve és technikája

Megkülönböztetnek:

- *balra hegesztést*, amikor a fém pálcát halad a láng előtt, védve az alapanyagot (<3 mm alatt);
- *jobbra hegesztést*, amikor a láng halad elől, jobb minőséget és beolvadást biztosítva a hegesztett kötésnek, kiváltképpen a vastagabb lemezek hegesztésekor (3 mm vastagság felett).

Az acetilén-oxigén lánghegesztő berendezés aránylag egyszerű és jól használható terepen, ahol nincs elektromos hálózat (15. ábra). A berendezés egy acetilénpalackból (1), egy oxigénpalackból (2) és egy hegesztőpisztolyból tevődik össze. A palackokra nyomás csökkentő reduktor van szerelve, amely speciális gumitömlőkkel van a hegesztő pisztolyhoz csatlakoztatva, egy-egy biztonsági szelepen keresztül, amely a lángvisszacsapás ellen védi a gázpalackokat. A hegesztőpisztoly (3) biztosítja a két gáz megfelelő keverését, a gázmennyiség beállítását két szelep segítségével és a láng égését a réz égőfej előtt. Az égőfej



15. ábra. A lánghegesztő berendezés vázlatja.

a keverőszárral cserélhető a hegesztendő lemez vastagsága függvényében.

*Oxigént* ipari 99,5% tisztaságban,  $-198^\circ\text{C}$ -on cseppfolyósított levegő szakaszos lepárlásával gyártanak és általában 40 literes, 200 mm átmérőjű és 1,6 mm magasságú acél palackokban tárolnak 150 bar nyomáson. A palackban levő oxigén mennyisége  $6\text{ m}^3$ , ami a  $V_{\text{ox}} = 40 \cdot p_{\text{ox}}$  képlettel számítható ki. A palack tetején van becsavarva a zárószelep, amelyre a használat előtt a nyomáscsökkentőt szerelik fel.

Az *acetilént* (disszugáznak is hívják) modern ipari körülmények között specializált gyárban állítják elő és szintén acélpalackokban szállítják 15 bar nyomáson, hogy a nagy nyomáson az acetilén ne robbanjon, a palackban 25% -ban porózus anyag, 40% acetont a gáz oldására és 5% biztonsági tér van. Egy 40 l palackban kb.  $7,3\text{ m}^3$  acetilén van és, hogy a gáz az acetont ne ragadja

magával a fogyasztás nem lehet nagyobb mint 1000 l/óra. Régebben az acetilént karbid töltetű vizes fejlesztő készülékekben állították elő, ami nem gazdaságos, de nagyon veszélyes üzem.

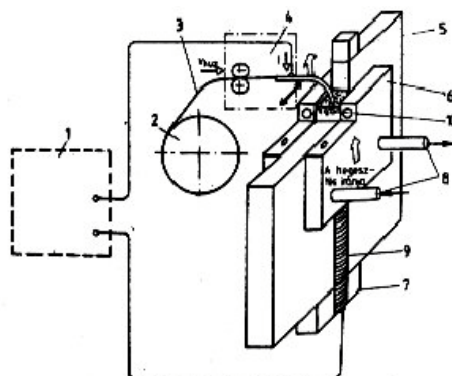
A *hegesztőpálcák* 1,6-6,3 mm átmérővel, 1000 mm hosszúsággal készülnek, kis széntartalmú (<0,1% C) ötvözetlen, vagy Mn-al gyengén ötvözött acélokból. Alumínium hegesztéséhez AlSi ötvöztű pálcákat használnak, folyósítószer hozzáadásával.

A lánghegesztést 0,1-0,6 bar nyomású acetilénnel, 2-5 bar nyomású oxigénnel végzik, 0,5-10 (30) mm vastagságú ötvözetlen, vagy gyengén ötvözött acélkötések készítésére, 0,5-10 m/h hegesztési sebességgel. Rövid, nehezen hozzáférhető varratok készítésére használják, a szerelőiparban csövek hegesztésére és autokarosszéria javításoknál. Alkalmazható még erősen ötvözött acélok, öntöttvas, alumínium, réz és nikkel és ötvözeik hegesztésére is.

## 8. Villamos salakhegesztés

A villamos salakhegesztés egy automatizált, nem ívhegesztési eljárás, amit vastag acéllemezek (60-600 mm) egy menetben történő függőleges felfelé hegesztése számára fejlesztettek ki. A fogyó huzalelektroda és az alapanyag széleinek leolvadásához szükséges hő az olvadt salak elektromos ellenállása szolgáltatataja a Joule-törvény alapján, úgy, hogy az elektromos áramkör az elektróda és a munkadarab között az olvadt salakon keresztül záródik.

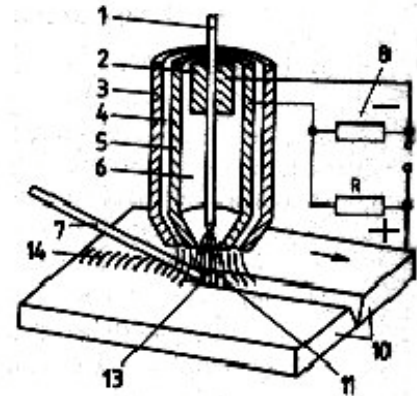
A salakhegesztő berendezés (16. ábra) egy áramforrásból (1), huzaltároló dobból (2), huzalelőtoló mechanizmusból (4), varrathatáról csúszó rézgyámból (6) áll. A huzalelektroda (3) bemező a olvadt salakba (10), a rézgyámok vízhűtésesek, a hegesztést egy kezdőlemezen (7) indítják és egy kifutó lemezen (5) fejezik be. Az áramforrás általában transzformátor, eső karakterisztikával, a fogyóelektroda alacsony széntartalmú, ötvözetlen, vagy Mn, Si, vagy Ti ötvözetű 3,25-5 mm átmérőjű huzal, a salakfürdő meg hegesztő fedőpor olvadék. A hegesztési paraméterek a következők: áramerősség 200-1200 A, feszültség 26-50 V, huzalelőtolási sebesség 50-300 m/h, hegesztési sebesség meg 1-30 m/h. Az illesztés I varratnak felel meg 20-50 mm hézaggal. Vastagabb lemezeket 3 huzal elektródával hegesztenek, amelyek nagy vastagságnál a lemezfelületre merőleges lengést is végeznek.



16. ábra. A villamos salakhegesztés és berendezés elvi vázlata

## 9. Plazmaívhegesztés

A plazmasugarat nagy hőmérséklete (10.000-20.000 K) és energia sűrűsége miatt használják 1-10 mm vastagságú acél, nikkelt, réz, titán vagy alumínium és ötvözetek hegesztése céljából, nagyon jó minőséggel és nagy hegesztési sebességgel. A plazmasugarat a munkafejben állítják elő, argon plazmagáz használatával, úgy, hogy az elektromos ív egy 1-6 mm átmérőjű volfrám elektróda és a réz ötvözetű plazmafűvóka belső fala között ég.

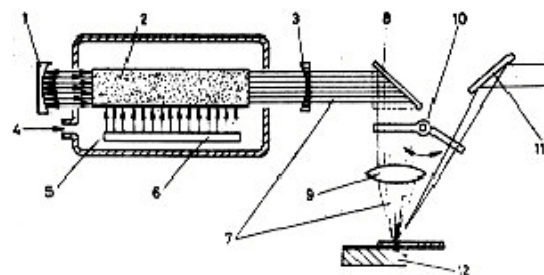


17. ábra. A plazmaívhegesztés elvi vázlata

A hegesztéshez inkább az ún. plazmaívet használnak, amikor az elektromos ív a W elektróda és a munkadarab között jön létre, ezáltal jelentősen növelve a hegesztés gazdaságosságát. A 17. ábrán a volfrám elektróda (1) az áramforrás negatív polusára van kötve, a (10) munkadarab meg a pozitívra. A plazmaképző gáz (6) a plazmagázfűvókán (5) keresztül alakítja a plazmaívet (11), ami mellett még befújnak egy Ar alapú (+5-8% H<sub>2</sub> vagy 10-40% CO<sub>2</sub>) védőgáz keveréket (4) a (3) külső fűvóka segítségével. A hozanyag (7) pálcá vagy huzal formában kerül a (13) ömledékfürdőbe, elősegítve a (14) varrat képződését. Az elektromos áram 50-500 A erősségű, 20-80 V feszültségű, a hegesztősebesség meg 12-60 m/h. A plazmaívhegesztést általában tompa varratok készítésére használják, az alapanyag I alakú hézag nélküli illesztésénél, specifikus kulcslyuk hegesztési technológiát alkalmazva. 8 mm-nél vastagabb anyagok esetében használatos az Y és U alakú illesztés is, amikor is nem kulcslyuk eljárást alkalmaznak. Nagyon vékony lemezek hegesztésére (0,1-1,5 mm) az úgynevezett mikroplazma eljárást dolgozták ki. A hegesztőpisztoly a plazmaégőt tartja, olyan mint az AFI hegesztésnél, kézzel vagy gépi vezetés alkalmazásával.

## 10. Lézersugaras hegesztés

A lézersugár egy nagy energia sűrűségű ( $10^4$ - $10^5$  W/mm<sup>2</sup>), monokromatikus, koherens, erősen fókuszált fénnyaláb, amely nagy sebességgel elnyelődve olvasztja meg, úgy az alapanyagot, mint a hozanyagot. Hegesztési célra a CO<sub>2</sub> – gáz, valamint Nd-YAG szilárd lézerek terjedtek el, amelyekkel 0,1-5 kW kimenő teljesít-



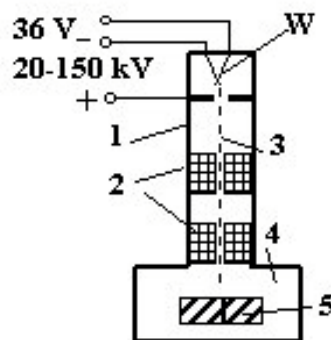
18. ábra. Szilárdtest lézer hegesztés vázlata

ménynél 30-300 m/h hegesztési sebesség biztosítható. Egy szilárdtest lézersugaras hegesztő berendezés elrendezése a 18. ábrán látható, ahol a (2) lézerkristály a (6) villanólámpával van gerjesztve, a (4) vízzel hűtött megvilágító kamrában (5), a (7) sugár meg az (1), (3) és (8) tükrök segítségével a (9) lencsén keresztül van fókuszálva a (12) munkadarab felületére. A (10) egy fényelzáró és a (11) meg egy megfigyelő optika. A lézersugárral minden fém hegeszthető, még nemfémes anyagok (kerámia, üveg, stb.) is.

## 11. Elektronsugaras hegesztés

Az elektronsugaras hegesztést vákuumban ( $10^{-5}$  MPa), nagy feszültséggel (20-150 kV) gerjesztett, elektromágneses úton fókuszált, nagy energia sűrűségű nyalábbal végzik.

A hegesztő készülék (19. ábra) egy elektronsugár ágyúból (1) és egy hegesztő vákuumkamrából (4) áll. Az elektronsugárt egy volfrám izzókatód és egy nagy feszültségű lyukas anód állítja elő, (2) elektromágneses tekercs (2) fókuszálja és állítja be, az (5) munkadarab felületére. Általában tompa varratot vagy átlapolt



19. ábra. Elektronsugár hegesztés elve és készülékének vázlata

kötést hegesztenek 1-100 mm vastagsággal, illesztési hézag és hozanyag nélkül. Elektronsugárral minden anyag hegeszthető, de főképpen ötvözt, szerszám, nemrozsdásodó, nukleáris vagy hőálló acélokból, vagy Ni, Cu, Co, Mo, W, stb. ötvözetekből készült alkatrészek készíthetők nagyon jó minőséggel.

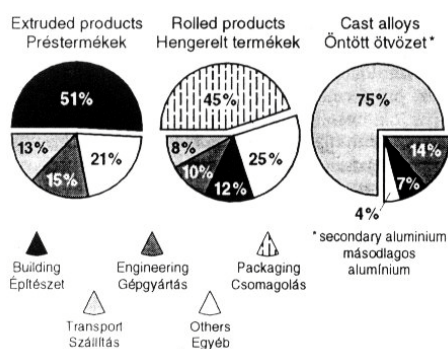
### Könyvészet

- 1] GÁTI József: *Hegesztési zsebkönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1996.
  - 2] ARTINGER István–CSIKÓS Gábor–KRÁLICS György–NÉMETH Árpád–PALOTÁS Béla: *Fémek és kerámiák technológiája*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1999.
  - 3] GYOVAI Ernő: *Mezőgazdasági gépműhelyek hegesztési kézikönyve*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 1987.
-

## Gépkocsiipar és alumínium

Dr. Varga Béla, egyetemi tanár  
Transilvania Egyetem, Brassó, Anyagtudományi Kar  
Anyagtudomány és Öntészet Tanszék

Sok éven át a szállítási iparág volt az alumínium legnagyobb végfelhasználói piaca, a felhasználás nagyobb hányada a gépkocsigyártásban volt. A szektoronként megfigyelt európai alumíniumfelhasználást az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Szektoronkénti alumíniumfelhasználás Európában, 1995-ben

Jelenleg a gépkocsigyártásnak meg kell felelnie azoknak a követelményeknek, amelyeket az élesebb nemzetközi verseny, a szigorúbb környezetvédelmi rendelkezések, a környezetbarát közüzemi szállítás és a közönségnek a nagyobb biztonság és kényelem iránti elvárása támaszt. Ezen kihívásoknak való megfelelés az alumíniumnak a gépkocsigyártásban történő fokozott felhasználásától várható.

Az alumíniumnak a gépkocsiiparban való alkalmazása számos előnnyel jár: az alumínium előnyt jelent az üzemanyagfogyasztás és a káros anyagok kibocsátásnak csökkenésében a jármű kisebb tömege miatt. Az „alumíniumintenzív” kocsik kisebb tömeget eredményeznek fokozott biztonsággal, nagyobb gyorsulással és fékteljesítménnyel, valamint javuló kormányozhatósággal.

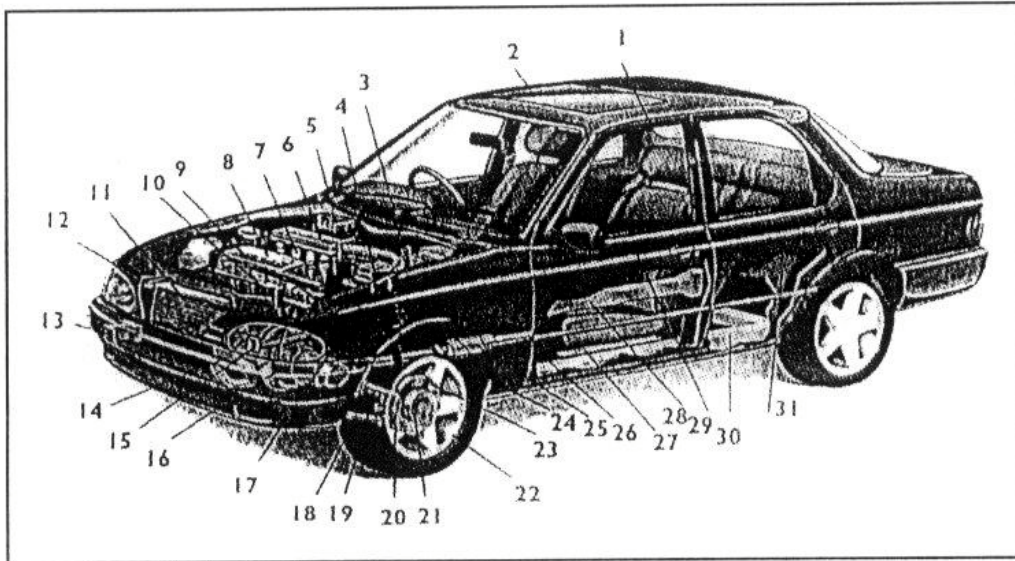
Az autógyártási szektorban jelenleg az alumínium 95% -át visszaforgatják. Az alumínium minőségvesztés nélkül visszaforgatható, és az elsődleges alumínium gyártásához szükséges energia 95%-a visszanyerhető. Az alumínium visszakeresztése a hulladékalumínium nagy ára miatt gazdaságos.

Sok autóalkatrész gyártásához már jelenleg is az alumínium a leggazdaságosabb anyag, így pl. hengerfejekhez és hűtőkhöz. Számos egyéb alkatrészhez, pl. a felfüggesztő karokhoz, a kocsiszekrényhez, felakasztható részekhez mint pl. ajtókhöz és motorháztetőkhöz az alumínium a legmegfelelőbb szerkezeti anyag, ha figyelembe vesszük a jármű teljes életciklusát (2. ábra).

Két újonnan kifejlesztett ötvözetípusnak és az alumínium sokoldalúságának köszönhetően – ami megengedi lemez, préstermék és öntvény kombinálását – a gépkocsigyártók most a szerkezet tömegének akár 40...50% -át is megtakaríthatják. Ez számos költségelőnyvel jár:

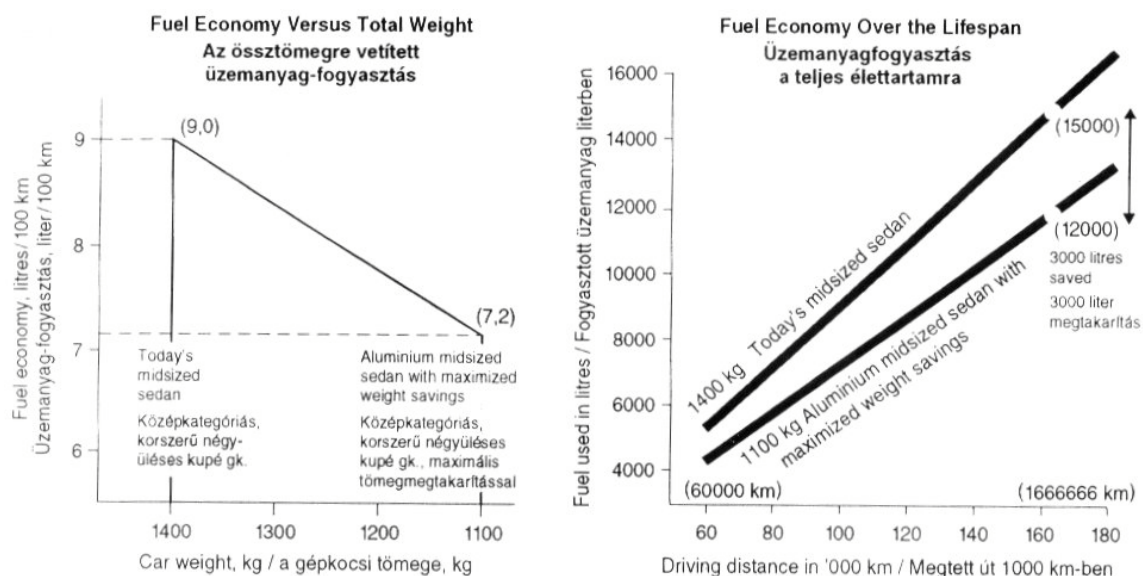
- a beruházási oldalon, mivel a gépkocsigyártók egyrészt használni tudják meglévő berendezéseik legnagyobb részét, vagy – a szekrény távtartókeret tervezésénél – ugrásszerűen csökkenteni tudják egy új modell beruházási költségeit;

- a termelési költség oldaláról, mert az alumínium karosszéria előállításának külön költségei az alakítási és kötési technológiák fejlesztése következtében, olyan pontig csökkentek, ahol ezeket a kocsi egyéb alkatrészeinek (amelyek mérete a kisebb tömegük miatt teljesítményromlás nélkül csökkenthető) változása terén elérhető költségcsökkentések ellensúlyozzák;
- az üzemeltetési költségek oldalán, mert egy tisztán alumíniumból gyártott karosszéria legalább 1 liter/100 km-rel csökkenti az üzemanyagfogyasztást (3. ábra). Jelenleg az átlagos gépkocsiba beépített alumínium tömege 65 kg-ot tesz ki. Már sok kocsiban alumínium van, mint pl. a Renault Safrane 136 kg, a Volvo 960 140 kg alumíniummal, ami több mint a „tisztalumínium” Audi A8 esetében. Más, még újabb példák – amelyek igazolják az egyéb anyagoknak alumíniummal való helyettesítése terén elért fejlődést, a BMW 5-ös sorozat, a Volkswagen Polo és Seat, valamint a sportkocsik, így a Renault Spider és a Lotus Elise. Mindkettőnek alumínium felépítményszerkezete van, továbbá az alumínium keménytetős Porsche Boxter.



- |  |  |
|--|--|
| 1 Extruded window channels                               | sajtoló ablakkeretek                                   |
| 2 Extruded sunroof channels                              | sajtoló tetőszellőző-keretek                           |
| 3 Extruded fuel and hydraulic lines                      | sajtoló üzemanyag- és olajvezetékek                    |
| 4 Cast brake master cylinder                             | öntött fék-főhenger                                    |
| 5 Engine management computer heatsink                    | motorvezérlő számítógép tartója                        |
| 6 Extruded fuel rail                                     | sajtoló üzemanyag vezetékek tartó lécek                |
| 7 Extruded intake manifold                               | sajtoló üzemanyagbeöntő csomagtartó                    |
| 8 Cast engine block, cylinder head, pistons              | öntött motortömb, hengerfej, dugattyúk                 |
| 9 Al-MMC valv train components                           | Al alapú kompozit szelepvezető részek                  |
| 10 Cast oil pump   | öntött olajszivattyú                                   |
| 11 Rolled and brazed sheet water radiator                | hengerezett és forrasztott lemezes, vízhűtő            |
| 12 Extruded water lines                                  | sajtoló vízvezeték-csövek                              |
| 13 Extruded bumper beams                                 | sajtoló lökhárító                                      |
| 14 Cast sump   | öntött olajteknő                                       |
| 15 Extruded tube oil cooler & air conditioning condenser | sajtoló csöves olajhűtő és légkondicionáló kondenzátor |
| 16 Cast clutch components                                | öntött tengelykapcsoló részek                          |
| 17 Cast transmission housing                             | öntött hajtóműház                                      |
| 18 Forged suspension arms                                | kovácsolt felfüggesztő karok                           |
| 19 Extruded driveshafts                                  | sajtoló meghajtórúdak                                  |
| 20 Cast brake calipers                                   | öntött fékbeállítók                                    |
| 21 Forged hubs   | kovácsolt féktuskók                                    |
| 22 Wheels  | keréktárcsák   |
| 23 Al- MMC brake discs                                   | Al alapú kompozit féktárcsák                           |
| 24 Extruded damper bodies                                | sajtoló lengéscsillapító testek                        |
| 25 Catalytic converter heat shield                       | katalizátoros gáztisztító hőpajzs                      |
| 26 Bright trim   | díszléc  |
| 27 Extruded seat rails                                   | sajtoló ülésvezető sínek                               |
| 28 Extruded door beams                                   | sajtoló ajtómerevítők                                  |
| 29 Pressed outer panels                                  | sajtoló külső lemezek                                  |
| 30 Extruded space frame with cast nodes                  | sajtoló alvázkeret öntött kötőelemekkel                |
| 31 Pressed inner panels                                  | sajtoló belső lemezek                                  |

2. ábra. Alumínium a gépkocsiban – alumíniumintenzív családi gépkocsi

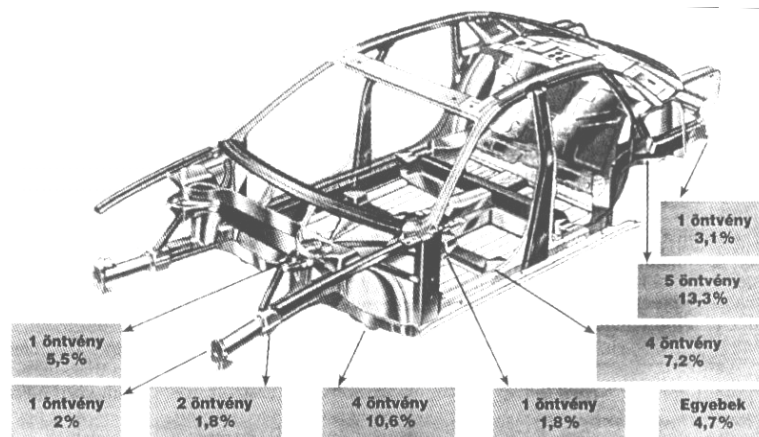


3. ábra. Alumínium a gépkocsiban - üzemanyagmegtakarítás

1994-ben, ez közel 65 kt alumínium hengerelt- és préstermék és 1 Mt öntvény felhasználását jelentette. Ez az összes európai alumíniumfogyasztás 18% -át tette ki. Várható, hogy 2005-ig az átlagos gépkocsiba beépített alumínium tömege 130-150 kg-ra nő. Ha feltételezzük, hogy a gépkocsigyártás termelési adatai nem változnak, ez évi 2 MT becsült alumíniumfelhasználást jelent. Ha az alumíniumfelhasználás általános növekedését tekintjük ebben a kereskedelmi ágazatban, a hengerelt- és préstermék növekedési hányada nagyobb lesz mint az öntvényeké. De az alumínium nemcsak a szállítás magánszektorában, hanem a közületi szállítási szektorban is számos, gazdaságosság és környezetvédelem szempontjából értékelhető alkalmazási megoldást kínál, így a repülésben, a hajózásban, kompépítésben, az autóbuzsziparban, villamosoknál és mindenfajta vasúti járműveknél, ide értve a nagy sebességű vonatszerelvények számos gyors növekedését.

### Az öntéstechnológia továbbfejlesztése a nagyobb értékű gépkocsialkatrészek gyártásához

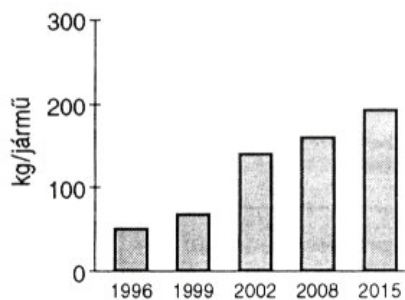
Szigorú követelmény, hogy a közepes kategóriájú személygépkocsik mai, mintegy 1200 kg-os tömegét 900 kg alá szorítsák. A globális versenyképesség érdekében a tömegcsökkentésnek 2005-ig az előállítási költségek legalább 20% -os csökkenésével kell párosulnia.



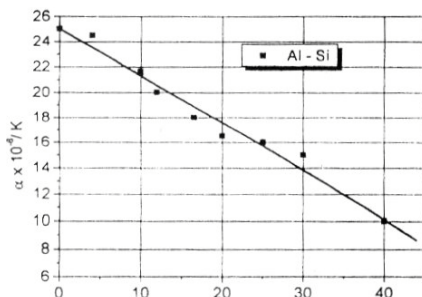
4. ábra. Öntvények az ASF-ben. Az elrendezés szimmetrikus, csak az egyik oldal van megjelölve

Az Audi AG cég terveiben szerepelt az a célkitűzés, hogy a személygépkocsik tömegének csökkentése érdekében 2000-ig meg kell valósítani a karosszéria és az alváz  $1 \text{ m}^2$ -nél nagyobb, felületű integrált szerkezeti elemeinek sorozatgyártását a továbbfejlesztett vákuumos nyomásos öntéssel, pl. a Vacural eljárással. Ezzel az eljárással egyesíthetők a squeeze casting és a tixoöntés előnyei. Tervezik a tető bevonását az öntött konstrukciókba. Ennek eredményeként, a jövőben csak azok a gépkocsigyártók fogják az irányadó karosszériaalképzéseket befolyásolni, amely vállalatok az öntési folyamatok továbbfejlesztését intenzíven egyeztetik (Audi, BMW, Fiat, Honda, MB, VW).

Kiindulva az Audi A8 személygépkocsi ASF (alumínium-space-frame)-konceptiójából (4. ábra), a külső borítás önthetőségének megvalósításával – új karosszéria-építési módszert tesznek lehetővé a nagy sorozatú gyártásban, ami a könnyűfém öntvények összes tömegének növekedéséhez vezet egy gépkocsiban (5. ábra).



5. ábra. A könnyűfém öntvények összes tömege egy gépkocsiban



6. ábra. A szilícium hatása a hőtágulási együtthatóra

Különleges figyelmet érdemelnek továbbra is a belső égésű motorok, eutektikus és hipereutektikus sziluminokból öntött dugattyúinak gyártása. Mint ismeretes a 20...25% szilíciummal ötvözött szilumin hőtágulása ( $17 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mmK}$ ) megközelíti az acélét ( $12 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mmK}$ ), 6. ábra, és ugyanakkor ez az összetétel jól önthető és kopásálló.

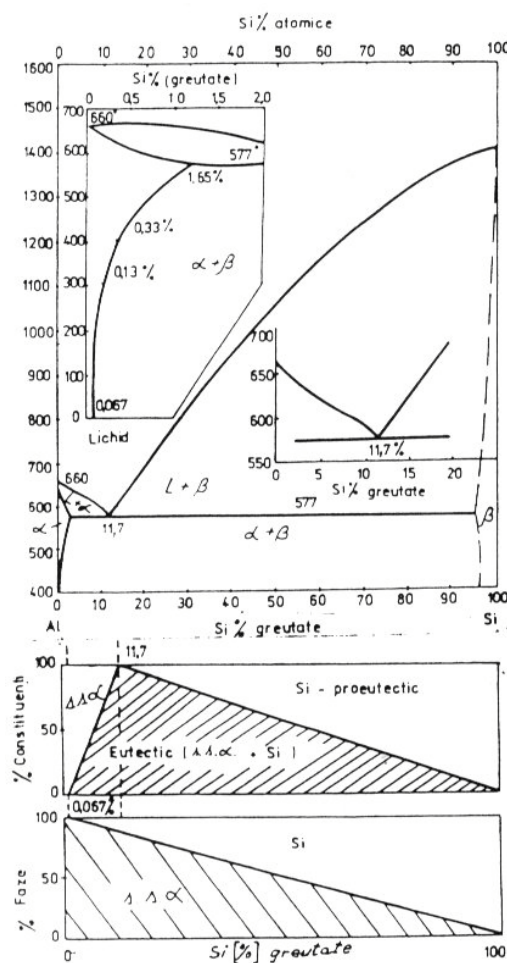


7. ábra. Hipereutektikus szilumin szövete

A hipereutektikus Al-Si ötvözet szerkezete eutektikumba ágyazott primer szilícium kristályokból áll (7. ábra). Egyensúlyi viszonyok között az olvadékból kiváló kemény, durva kristályok aránya a szövetszerkezetnek legalább 15%-a (8. ábra). A primer szilíciumkristályok méretei az olvadékból történő gyors hűtéssel csökkenthetők.

Gyakorlati rész:

- sziluminok olvasztása és öntése;
- sziluminok szövetszerkezetének mikroszkópos vizsgálata.



8. ábra. Az alumínium-szilícium ötvözetek egyensúlyi, valamint fázis- és szövethatárolás diagramja

### Könyvészet

- 1] KRÁLLICS Gy.–ZIAJA Gy.: *Hipereutektikus Al-Si-Ni ötvözetek alakítási szilárdságának meghatározása*, Anyagvizsgálók Lapja, 4/1998, pp. 101-104.
- 2] WANKE P.–HECK K.: *Az öntéstechnológia továbbfejlesztése a nagyobb értékű gépkocsialkatrészek gyártásához*, Öntészet, 1/1996, p. 11-13.
- 3] DERMER D.: *Legújabb fejlődés az európai piacokon*, Öntészet, 1/1997, pp. 21-28

## **A hőkezelés magyar és román nyelvű szakkifejezései (EN 10052:1995)**

Kovács István, okl. mérnök  
Soukup Kft, Kolozsvár

*ALITÁLÁS (ALUMINIZARE):* Olyan TERMOKÉMIAI KEZELÉS, amelyet acélokon alkalmaznak azzal a céllal, hogy a termék felületét alumíniummal feldúsítsák.

*AUSZFORMING (AUSFORMING):* Vasötvözetek olyan TERMOMECHANIKAI kezelése, amely során metastabilis ausztenites állapotban képlékenyen átalakítanak, mielőtt a martenzites és/vagy bénites átalakulás végbemenne.

*AUSZTEMPERÁLÁS (AUSTEMPERING):* Olyan HŐKEZELÉS, amelynek során az acél AUSZTENITES állapotból való LÉPCSŐS HŰTÉSE  $M_s$ -nél nagyobb hőmérsékletre olyan sebességgel történik, hogy a ferrites vagy perlites átalakulás elkerülhető legyen, és ezen a hőmérsékleten olyan HÖNTARTÁS, hogy a bénites átalakulás részben vagy teljesen végbemenjen.

A környezeti hőmérsékletre való HŰTÉS tetszőleges lehet.

*AUSZTENITESÍTÉS (AUSTENITIZARE):* Olyan MŰVELET, amelynek során a terméket felmelegítik olyan hőmérsékletre, amelyen az alapszövet ausztenites lesz. Ha a ferrit átalakulása nem fejeződik be, akkor az ausztenitesítést részlegesnek nevezik.

*AUSZTENITESÍTÉSI HŐMÉRSÉKLET (TEMPERATURA DE AUSTENITIZARE):* Az a legnagyobb hőmérséklet, amelyen ausztenitesítéskor a vasötvözetet hőn tartják.

*ÁTALAKULÁSI HŐMÉRSÉKLET (TEMPERATURA DE TRANSFORMARE):* Az a hőmérséklet, amelyen a fázisátalakulás végbemegy, és ennek kiterjesztésével olyan hőmérsékletek, amelyeken az átalakulás megkezdődik és befejeződik, ha az átalakulás adott hőmérséklet tartományban játszódik le.

*ÁTALAKULÁSI MÉLYSÉG (ADÂNCIMEA DE CĂLIRE):* Az EDZŐDÉS létrejötte valamely vasötvözet felületi rétegében. Ezt az ÁTALAKULÁSI MÉLYSÉGET általában EDZETT KÉREG VASTAGSÁGÁVAL jellemzik.

*ÁTEDZÉS (CĂLIRE PĂTRUNSĂ):* Olyan lehűtésű edzés, ahol az edzett kéreg vastagsága legalább akkora, mint az adott termék magja és felülete közötti távolság.

*BETÉTBEN EDZETT KÉREG VASTAGSÁGA (ADÂNCIMEA STRATULUI CEMENTAT):* Az acél felületéről mért olyan távolság, amelyen belül a megnövelt karbontartalom megfelel az előírt értéknek.

Példa: A BETÉTBEN EDZETT KÉREG VASTAGSÁGÁRA vonatkozóan ez a határérték megfelel az alapfém karbontartalmának.

---

**BETÉTEDZÉS (CEMENTARE):** CEMENTÁLÁS és ezt követő edzés.

**BORIDÁLÁS (BORURARE):** Olyan TERMOKÉMIAI kezelés, amely során a munkadarab felületi rétegét bórral dúsítják.

*Megjegyzés: Elő kell írni azt a közeget, amelyben a boridálás végbemegy, pl. betétben történő boridálás, pasztás boridálás stb.*

**CEMENTÁLÁS (CARBURARE):** TERMOKÉMIAI KEZELÉS vasötvözet felületi rétegének karbonnal való dúsítása ausztenites állapotban. A cementált munkadarab (azonnal vagy később) EDZÉSRE kerül.

*Megjegyzés: Elő kell írni azt a KÖZEGET, amelyben a CEMENTÁLÁST végzik, ez lehet például gáz, szilárd közeg stb.*

**CINKDÚSÍTÓ HŐKEZELÉS (ZINCAREA DE DIFUZIE):** Olyan TERMOKÉMIAI KEZELÉS, amely az acélok felületi rétegének cinkben való dúsítására szolgál.

**DEKARBONIZÁCIÓ (DECARBURARE):** Vasötvözet felületi rétegének karbonban való elszegényedése.

Ez az elszegényedés lehet: részleges dekarbonizáció vagy Csaknem dekarbonizáció.

A kétféle típusú DEKARBONIZÁCIÓ összegét, azaz Részleges és a Teljes dekarbonizáció együttes eredményét nevezik Totális dekarbonizációnak. (EU 140-70)

**DEKARBONIZÁLT RÉTEG VASTAGSÁGA (ADÂNCIMEA STRATULUI DECARBURAT):** Valamely ötvözet felülete és azon határ közötti távolság, amelyben a karbontartalom elszegényedett. Ez a hatás eltérő és definiálható a DEKARBONIZÁCIÓ típusa szerint, továbbá a szerkezeti állapotra, a keménységre vagy változás nélküli alapfém karbontartalmára vagy bármilyen előírt egyéb karbontartalomra való hivatkozással.

**DIFFÚZIÓS KEZELÉS (TRATAMENT PRIN DIFUZIE):** Olyan HŐKEZELÉS (vagy MŰVELET), amelynek célja a termék felületi rétegébe (pl. CEMENTÁLASSAL, BORIDÁLÁSSAL, NITRIDÁLÁSSAL) bevitt elemek diffúziós úton való továbbítása a munkadarab belseje felé.

**DIFFÚZIÓS RÉTEG (STRAT DE DIFUZIE):** A TERMOKÉMIAI ELJÁRÁSSAL kezelt munkadarab olyan felületi rétege, amelyben a bediffundált elemek szilárd oldatban vagy vegyület formájában vannak jelen, koncentrációójuk pedig a mag irányában folyamatosan csökken.

A diffúziós zónában lévő kiválások lehetnek nitridek, karbidok stb.

**EDZETT FELÜLETI RÉTEG (STRAT SUPERFICIAL CĂLIT):** Valamely vasötvözetű termék gyors lehűtéssel beedzett olyan felületi rétege, amelynek vastagságát általában az EDZETT kéreg vastagságával határozzák meg.

**EDZÉS (CĂLIRE):** AUSZTENITESÍTÉS, majd olyan sebességgel végzett hűtés, hogy az ausztenit többé-kevésbé teljes egészében martenzitté és esetlegesen bénitté alakuljon át, és ennek hatására a keménység növekedjék.

---

*EDZÉSI HŐMÉRSEKLET (TEMPERATURA CĂLIRII):* Az a hőmérséklet, amelyről a munkadarabot EDZÉSKOR hűtik.

*Megjegyzés:* Az angol nyelvben az „edzési hőmérséklet” kifejezés azonos módon alkalmazható az edzhető vasötvözetek LEHŰTÉSI HŐMÉRSEKLETÉNEK megjelölésére.

*EDZÉSI KEZELÉS (TRATAMENT DE CĂLIRE):* Olyan HŐKEZELÉS, amely AUSZTENITESÍTÉST követő HŰTÉSBŐL áll, hogy az ausztenit többé-kevésbé teljes mértékben martenzitté és esetleg bénitté alakuljon át.

*EDZHETŐSÉG (CĂLIBILITATEA):* Valamely acélnak az a tulajdonsága, hogy a martenzites és/vagy bénites átalakulásra alkalmas.

Az EDZHETŐSÉGET gyakran jellemzik előírt, meghatározott kísérleti feltételek között a keménységnek az edzett véglaptól mért távolság függvényében való ábrázolással (pl. a Jominy görbével).

*EDZŐDÉSI MÉLYSÉG (ADÂNCIME DE CĂLIRE):* Valamely vasötvözet felülete és azon határ közötti távolság, amelyet az EDZÉS behatolása jellemez.

Ez a határ a szövetszerkezettel, vagy a keménység változásával határozható meg.

*EGYENÉRTÉKŰ ÁTMÉRŐ (DIAMETRU ECHIVALENT):* Azonos minőségű acélból való (legalább 3d hosszúságú) d átmérőjű olyan henger, amelynek közepén a LEHŰTÉSI SEBESSÉG megfelel annak a LEHŰTÉSI SEBESSÉGNEK, amelyet azonos HŰTÉSI feltételek között a hűtött munkadarabban mérnek.

*ELÉGETÉS (ARDERE):* Melegítés azon hőmérsékletre, amelyen olyan káros szövetszerkezeti és tulajdonságváltozások jönnek létre (például kezdődő szemcsehatármenti olvadás), amelyek utólagos hőkezeléssel már nem javíthatók.

*ELŐMELEGÍTÉS (PREÎNCĂLZIRE):* Az a MŰVELET, amelynek során valamely vasötvözet hőmérsékletét a kiinduló és a legnagyobb hőmérséklet közötti egy vagy több közbenső hőmérsékletre növelik és bizonyos ideig azon tartják.

*ENDOTERMIKUS ATMOSZFÉRA (ATMOSFERĂ ENDOTERMĂ):* Az endotermikus kemence atmoszféra olyan változtatható KARBONPOTENCIÁLÚ tér, amely illeszkedik a HŐKEZELÉSRE kerülő vasötvözet karbontartalmához annak érdekében, hogy a termék felületén a karbonszintet csökkenteni, növelni vagy megtartani lehessen.

*EXOTERMIKUS ATMOSZFÉRA (ATMOSFERĂ EXOTERMĂ):* Exotermaz olyan kemence-atmoszféra, amely úgy van beállítva, hogy ne oxidálja a kezelendő vasötvözetet.

*FEKETÍTÉS (ÎNNEGRIRE):* Oxidáló közegben olyan hőmérsékleten végzett MŰVELET, amelyen a vasötvözet csiszolt felületén vékony, folytonos, jól tapadó, sötét színű oxidréteg alakul ki.

*FELHEVÍTÉSI IDŐ (TIMP DE ÎNCĂLZIRE):* Valamely vasötvözet kijelölt pontjának adott hőmérsékletre való felhevítéséhez szükséges idő.

---

**FELÜLETI EDZÉS (CĂLIRE SUPERFICIALĂ):** EDZÉS a munkadarab külső rétegére korlátozott megjelenítéssel és az azt követő hűtéssel.

*Megjegyzés: Célszerű a felhevítés módját előírni, ez például lehet láng, indukciós hevítés, elektronsugár, lézersugár stb.*

**FELÜLETI EDZÉS UTÁNI TÉNYLEGES KÉREGVASTAGSÁG (ADÂNCIMEA CONVENȚIONALĂ A STRATULUI CĂLIT SUPERFICIAL):** A felület és egy olyan pont közötti távolság, amelynek Vickers-keménysége ( $HV_1$ ) megfelel a felületen előírt keménység 80%-nak (EU 116-72)

Az EU 116-72 a következő lehetőségeket tartalmazza:

- a szokásos terheléstől eltérő előzetes magállapodás alapján a kéregvastagság mérésére 4.9 és 49 N közötti értékek alkalmazhatók;
- hasonló módon alkalmazható a felületen végzett Rockwell-vizsgálat előzetes megegyezés alapján a határkeménységi érték meghatározására.

**FESZÜLTSGCSÖKKENTŐ IZZÍTÁS (RECOACERE DE DETENSIONARE):** A munkadarab IZZÍTÁSA megfelelő magas hőmérsékleten, majd lassú HŰTÉSE a maradó feszültségek csökkentése céljából anélkül, hogy a szövetszerkezet és az anyag tulajdonságai jelentősen megváltoznának.

**FESZÜLTSGCSÖKKENTŐ MEGERESZTÉS (REVENIRE JOASĂ DE DETENSIONARE):** A teljesen vagy részlegesen martenzites szerkezetű termék MEGERESZTÉSE általában 200 °C-nál kisebb hőmérsékleten a maradó feszültségek csökkentése a karbidkiválás kezdetével az anyag keménységének jelentős csökkenése nélkül.

**FOLYAMATOS HŰTÉSRE ÉRVÉNYES ÁTALAKULÁSI DIAGRAM (CCT-diagram) (DIAGRAMA DE TRANSFORMARE LA RĂCIRE CONTINUĂ):** Olyan görbesorozat, amelyet fél logaritmikus időhőmérséklet koordináta-rendszerben ábrázolnak, amely minden egyes LEHŰLÉSRE feltünteti az ausztenit átalakulásának kezdeti és befejeződési hőmérsékletét.

Általában ábrázolják azokat a görbéket is, amelyek kimetszik az olyan hőmérsékleteknek megfelelő pontokat, amelyeken az átalakult fázis részaránya 50% . A diagramban feltüntetik a keletkezett szövetelemek százalékos részarányát és keménységét.

Végezetül minden egyes LEHŰLÉSI GÖRBÉRE fel van tüntetve a környezeti hőmérsékletre való hűtés után mérhető keménység.

*Megjegyzés: CCT-diagramok előállíthatók adott lehűtési időtartamra is.*

**GÖMBSZEMCSÉSÍTÉS (GLOBULIZARE):** Az acélok LÁGYÍTÁSA általában hosszú hőntartással az  $Ac_1$  körül váltakozó hőmérsékleten és ezt követő lassú hűtése abból a célból, hogy a kivált karbidok gömb alakúak legyenek.

**HELYI EDZÉS (CĂLIRE LOCALĂ PARȚIALĂ):** Valamely vasötvözet bizonyos részére korlátozott EDZÉS.

**HEVÍTÉS (ÎNCĂLZIRE):** A munkadarab hőmérsékletének növelése.

*Megjegyzés: Ez a hőmérsékletnövelés egy vagy több szakaszban végezhető el.*

---

*HEVÍTÉSI FOLYAMAT (PROCES DE ÎNCĂLZIRE):* A vizsgált munkadarab bármely pontjában a hőmérséklet változása a HEVÍTÉS során eltelt idő függvényében a felmelegítés kezdetétől a HEVÍTÉS végéig.

*HEVÍTÉSI GÖRBE (CURBA DE ÎNCĂLZIRE):* Hevítéskor a HŐMÉRSÉKLET VÁTOZÁSÁNAK grafikus ábrázolása.

*HEVÍTÉSI IDŐ (TIMP DE ÎNCĂLZIRE):* HEVÍTÉSI FOLYAMAT két meghatározó hőmérsékletét elválasztó időintervallum.

Meg kell adni a kezdeti és a végső hőmérsékletet.

*HEVÍTÉSI PROGRAM (PROGRAM DE ÎNCĂLZIRE):* Az a HEVÍTÉSI FOLYAMAT, amelyet meg kell valósítani.

*HEVÍTÉSI SEBESSÉG (VITEZA DE ÎNCĂLZIRE):* A hőmérséklet változását jellemzi a HEVÍTÉS során eltelt idő függvényében. Ezzel kapcsolatosan a következőket kell megkülönböztetni:

- az adott hőmérsékleteknek megfelelő pillanatnyi sebességet;
- az adott hőmérséklet-tartományban meghatározott átlagsebességet.

*HOMOGENIZÁLÁS (OMOGENIZARE):* Olyan hosszabb idejű, nagy hőmérsékletű IZZÍTÁS, amelynek célja kisebb vagy nagyobb mértékben jelentkező vagy összetételi inhomogenitások diffúzióval való csökkentése.

*HŐKEZELÉS (TRATAMENTE TERMICE):* Olyan MŰVELETEK sorozata, amelyek során a szilárd vasötvözet teljes egészében vagy részlegesen olyan TERMIKUS FOLYAMAT hatásának van kitéve, amelynek hatására létrejön a tulajdonságaiban és/vagy a szerkezetében szükséges változás.

Az adott kezelendő termék vegyi összetétele ezen MŰVELETEK során esetleg változhat.

*HŐKIEGYENLÍTÉS (EGALIZAREA TEMPERATURII):* A vasötvözet felmelegítésének második szakasza, amelyben a teljes keresztmetszetben közel azonos lesz a hőmérséklet.

*HŐNTARTÁS (MENȚINERE LA TEMPERATURĂ):* A HŐNTARTÁS a HŐNKEZELÉSI CIKLUSNAK az a szakasza, amelynek során a hőmérsékletet állandó értéken tartják.

Pontosan meg kell határozni, hogy az adott hőmérséklet például a kemence hőmérséklete, vagy a termék felületének hőmérséklete, vagy a kezelendő termék teljes keresztmetszetére vagy annak valamely adott pontjára jellemző hőmérséklet.

*HŰTÉS (RĂCIRE):* Az acél hőmérsékletének csökkentése. A HŰTÉSI folyamat egy vagy több fázisban végezendő.

*Megjegyzés: Elő kell írni azt a KÖZEGET, amelyben a HŰTÉST végzik, például ez lehet levegő, víz, olaj, kemencében való hűtés stb.*

*HŰTÉSI IDŐTARTAM (TIMP DE RĂCIRE):* Az az időtartam, amely a LEHŰLÉSI FÜGGVÉNY két karakterisztikus hőmérsékletét elválasztja. Mindig pontosan meg kell határozni, hogy melyek ezek a hőmérsékletek.

*HŰTÉSI MÓD (MODALITATE DE RĂCIRE):* Azon körülmények összessége, amelyek között a vasötvözet HŰTÉSE végbemegy: a HŰTŐKÖZEG jellemzői és hőmérséklete, relatív mozgások, keverés stb.

*HŰTÉSI PROGRAM (PROGRAM DE RĂCIRE):* Az a lehűlési függvény (a LEHŰLÉS során a hőmérséklet változása az idő függvényében), amelyet adott eljárásakor követni kell.

*HŰTŐKÉPESSÉG (CAPACITATE DE RĂCIRE):* A hűtőközegnek az a képessége, hogy adott feltételek között meghatározott sebességgel hűt.

A HŰTŐKÉPESSÉG mérőszámának pontos definíciója még meghatározásra vár.

*IDŐ-HŐMÉRSÉLKET ÁTALAKULÁSI DIAGRAM (TTT DIAGRAM) (DIAGRAMA DE TRANSFORMARE TIMP-TEMPERATURĂ):* Féllogaritmikus idő-hőmérséklet koordináta rendszerben megrajzolt olyan görbesorozat, amelyből minden egyes hőmérsékletre megállapítható az ausztenit átalakulása kezdetének és végének ideje izotermikus körülmények között.

Általában egy megfelelő görbével szokás összekötni azon időpontokat is, ahol az átalakult ausztenit részaránya eléri az 50% -ot. A diagramon fel szokták tüntetni a keletkezett szövetelemek részletarányát és az anyag keménységét is.

*IMPULZUSEDZÉS (CĂLIRE PRIN IMPULS):* Impulzushevítés alkalmazásával végzett edzés. Általában ez az edzés az ÖNEDZŐDÉS eredménye.

*IMPULZUSHEVÍTÉS (ÎNCĂLZIRE PRIN IMPULS):* Rövid és ismételt energiaimpulzusok által végzett olyan HEVÍTÉSI módszer, amelynek révén elérhető a hőmérséklet helyi növekedése.

Különbféle energiaforrások alkalmazhatók, például kondenzátor-kisütés, lézer, elektronsugár stb.

*IZOFORMING (TRATAMENT TERMOMECHANIC LA TRANSFORMAREA AUSTEINEI ÎN PERLINĂ):* Valamely acél olyan TERMOMECHANIKAI KEZELÉSE, amelynek során az auszterinek perlitté való átalakulása közben képlékenyen alakítják.

*IZZÍTÁS (RECOACERE):* Olyan HŐKEZELÉS, amely megfelelő hőmérsékletre való HEVÍTÉSBŐL, HÖNTARTÁSBÓL és LEHŰTÉSBŐL áll, azzal a céllal, hogy a fém szerkezeti állapota közel egyensúlyi legyen.

Miután ez a fogalom-meghatározás nagyon általános, ezért célszerű olyan kifejezést alkalmazni, amely a kezelés célját határozza meg.

*Megjegyzés:* Angolul az „izzítás dobozban” kifejezést alkalmazzák, ha a lágyítási műveletet az oxidációs veszély csökkentésére végzik a külső tértől elszigetelt tartályban.

*JOMINY-VIZSGÁLAT (METODA JOMINY):* Valamely acél próbadarab ausztenitesítéséből és azt követően az egyik véglapon alkalmazott vízszugárral való lehűtéséből álló szabványosított vizsgálat. A keménységnek az edzett véglaptól való távolság függvényében való változása (Jominy görbe) jellemzi az adott cél ÁTEDZHETŐSÉGÉT.

---

**KARBONITRIDÁLÁS (CARBONITRURARE):** TERMOKÉMIAI KEZELÉS, amely vasötvözetek felületének nitrogénnel és karbonnal való dúsítására, a VEGYÜLETI RÉTEG kialakítására alkalmaznak.

A VEGYÜLETI RÉTEGEN kívül nitrogénben dúsult DIFFÚZIÓS ZÓNA is létrejön.

*Megjegyzés: Elő kell írni azt a KÖZEGET, amelyben a KARBONITRIDÁLÁST végzik, ez lehet például sófürdő, plazma stb.*

**KÉKÍTÉS (FEROXARE):** Olyan MŰVELET, amelyet a fényes felületű acélon végeznek oxidáló közegben, nagyobb hőmérsékleten, egyenletes, jól tapadó kék oxidréteg (futtatási szín) képzésére.

**KIVÁLÁSOS KEMÉNYEDÉS (DURIFICARE PRIN PRECIPITARE):** Valamely vasötvözet olyan keményedése, amelyet a túltelített szilárd oldat egy vagy több komponensének kiválása idéz elő.

**KÖZEG (MEDIUL – ATMOSFERA):** Az a környezet, amelyben a munkadarabot HŐKEZELIK.

Ez a KÖZEG lehet szilárd, folyékony vagy gáz halmazállapotú. A KÖZEG nagyon lényeges szerepet játszik hőtani jellemzői (HEVÍTŐKÖZEG, HŰTŐKÖZEG stb.) által is vegyi összetétele révén (OXIDÁLÓ közeg, DEKARBONIZÁLÓ közeg). A gázhalmazállapotú közegeket gyakran nevezik „atmoszférának”.

**KRITIKUS HŰTÉSI GÖRBE (CURBĂ CRITICĂ DE RĂCIRE):** Olyan HŰTÉSI GÖRBE, amely a megadott átalakulás teljes lefolyását még biztosítja, ennél lassúbb hűtés ezt már nem teljesíti.

Ezt a kifejezést ki kell egészíteni az adott átalakulás teljes megjelölésével, például martenzites, bénites stb.

**KRITIKUS HŰTÉSI SEBESSÉG (VITEZĂ CRITICĂ DE RĂCIRE):** A KRITIKUS LEHŰTÉSI FÜGGVÉNYNEK megfelelő HŰLÉSI SEBESSÉG.

**KROMÁLÁS (CROMARE):** TERMOKÉMIAI KEZELÉS a munkadarab felületi rétegének krómmal való dúsítására.

A felületi réteg csak oldott krómot tartalmazhat (kis karbontartalmú acélok esetében), vagy döntően krómkarbidot (nagy karbontartalmú acélok esetében).

**LÁGYÍTÁS (ÎNMUIERE):** HŐKEZELÉS valamely vasötvözet keménységének adott szintre való csökkentésére.

**LEHŰTÉSI GÖRBE (CURBĂ DE RĂCIRE):** A LEHŰTÉSI FÜGGVÉNY (a hőmérsékletváltozás HŰLÉSKOR az idő függvényében) grafikus ábrázolása.

**LEHŰLÉSI SEBESSÉG (VITEZA DE RĂCIRE):** A hőmérséklet változását jellemzi a LEHŰLÉS során az idő függvényében.

Különbséget kell tenni a következők között:

- az előírt hőmérsékletnek megfelelő pillanatnyi sebesség;
- az adott hőmérséklet tartományban érzékelhető átlagos sebesség.

**LEHŰTÉS (RĂCIRE FORȚATĂ):** A hőkezelés olyan RÉSZMŰVELETE, amelyben a LEHŰTÉS jóval gyorsabban történik, mint nyugodt levegőn.

Célszerű a lehűtés körülményeit megnevezni, például fűvott levegőn való lehűtés, vízhűtés, lépcsős hűtés stb.

Ha valamely előzetesen felmelegített vasötvözetet bizonyos részének lehűtésekor hőátvitel mutatkozik a nem felmelegített részek irányába, ezt a folyamatot ÖNEDZÉSNEK nevezik.

**LÉPCSŐS EDZÉS (CĂLIRE ÎN TREPTE):** Olyan edzési eljárás, amelynek során a HŰTÉST rövid időre megszakítják adott KÖZEGBEN megfelelő hőmérsékleten végzett HŐNTARTÁSSAL.

Nem célszerű alkalmazni ezt a kifejezést a MEGSZAKÍTOTT EDZÉS megjelölésére.

**MARTEMPERÁLÁS (CĂLIRE ÎN TREPTE, MARTEMPERING):** Olyan HŐKEZELÉS, amelynek során az AUSZTENITESÍTÉST követően az acélt olyan sebességgel LÉPCSŐSEN EDZIK  $M_s$ -nél kissé nagyobb hőmérsékletre, hogy elkerüljék a ferrites, perlites vagy bénites átalakulást, és ezen addig tartják, amíg a hőkiegyenlítés végbemegy, majd tovább HŰTIK szobahőmérsékletre.

A végső LEHŰTÉST, amelyek során gyakorlatilag a teljes keresztmetszetben egyidejűleg alakul ki martenzit, általában levegőn végzik.

**MARTENZITES ÖREGÍTÉS (MARAGING):** Az olyan acélok (pl. marazsing acélok) MEGERESZTÉSE, amelyekben az EDZÉST követően kis keménységű, lágy martenzites lesz a szövet. A megeresztéssel érik el a kívánt mechanikai tulajdonságokat.

**MÁSODLAGOS KEMÉNYEDÉS (DURIFICARE SECUNDARĂ):** A keményedés növekedése edzett acélok egyszeri vagy többszöri MEGERESZTÉSEKOR.

Ez a keményedés valamely vegyület kiválásának, vagy a maradék ausztenitnek martenzitté vagy bénitté való átalakulásának a következménye, az ausztenit MEGERESZTÉS során felbomlik, vagy destabilizálódik és HŰTÉSKOR alakul át.

**MEGERESZTÉS (REVENIRE):** EDZETT vagy más módon hőkezelt acél felmelegítése  $Ac_1$ -nél kisebb hőmérsékletre, majd hőntartása és azt követő hűtése megfelelő tulajdonság elérése céljából.

Ez adott ( $Ac_1$ -nél) alacsonyabb hőmérsékletre való HŐNTARTÁSBÓL, továbbá megfelelő sebességgel végzett HŰTÉSBŐL áll. A hőkezelési ciklus többször megismételhető.

A MEGERESZTÉS általában a keménység csökkentését idézi elő, de bizonyos esetekben növekedhet a keménység.

**MEGERESZTÉSI GÖRBE (CURBA DE REVENIRE):** A mechanikai jellemzők és a megereszkesztési hőmérséklet közötti összefüggés grafikus ábrázolása adott megereszkesztési időre vonatkoztatva.

*Megjegyzés: Az angol nyelvben ugyanerre alkalmazzák a „megereszkesztési diagram” kifejezést is.*

---

*MEGERESZTÉSI RIDEGSÉG (FRAGILITATE LA REVENIRE):* Bizonyos edzett és megereszkedett (nemesített) acélokban adott hőmérsékleten való hőntartás és lassú LEHŰTÉS során bekövetkező ridegedés.

Meg kell különböztetni a következőket egymástól:

- IRREVERZIBILIS MEGERESZTÉSI RIDEGSÉG (KÉKTÖRÉKENYSÉG): 300°C körüli hőmérsékleten jelentkezik.
- REVERZIBILIS MEGERESZTÉSI RIDEGSÉG: kb. 450-500°C közötti hőmérsékleten jelentkezik.

Ezen elridegedésnek az a közvetlen hatása, hogy az adott acél hajlítómunka-hőmérsékletgörbe alapján meghatározott átmeneti hőmérsékletek felé tolódik el. Ez az a hatás az 550 °C-nál nagyobb hőmérsékletre történő ismételt felmelegítéssel és ezt követő gyors HŰTÉSSEL csökkenthető.

*MÉLYHŰTÉS (TRATAMENT SUB 0 °C):* Az acél EDZÉSÉT követő, a szobahőmérsékletnél általában jóval kisebb (negatív) hőmérsékletre HŰTÉS és HŐNTARTÁS a maradék ausztenit martenzitté való átalakulása céljából.

*NITRIDÁLÁS (NITRURARE):* Vasötvözetek olyan TERMOKÉMIAI KEZELÉSE, amelynek célja a felület nitrogénnel való dúsítása.

Ha ezt a kezelést oxigént tartalmazó KÖZEGBEN végzik, akkor a neve „OXINITRIDÁLÁS”

*Megjegyzés: Elő kell írni azt a KÖZEGET, amelyben a nitridálást végzik, ez lehet például gáz, plazma stb.*

*NITRIDÁLT KÉREG VASTAGSÁGA (ADÂNCIMEA STRATULUI NITRURAT):* A vasötvözetek felülete és azon határ közötti távolság, amely a nitrogénben feldúsult réteg vastagságát jellemzi. Ezt az értéket elő kell írni.

*NITROCEMENTÁLÁS (NITROCARBURARE):* TERMOKÉMIAI kezelés  $Ac_1$ -nél nagyobb hőmérsékleten a munkadarab felületi rétegének karbonnal való dúsítása céljából, amikor a karbonbevitel a döntő.

Ezt a műveletet általában gyors lehűtéssel történő edzés követi.

*Megjegyzés: Elő kell írni azt a közeget, amelyben a NITROCEMENTÁLÁST végzik, például ez lehet gáz, sófürdő stb.*

*Megjegyzés: A cianidokat tartalmazó oldott sófürdőben végzett NITROCEMENTÁLÁST CIANIDÁLÁSNAK (CIANURARE) nevezik.*

*NORMALIZÁLÁS (NORMALIZARE):* AUSZTENITESÍTÉST követő, LEVEGŐN való HŰTÉS BŐL álló HŐKEZELÉS.

Olyan alakítással egybekötött NORMALIZÁLÓ eljárás, amelynek során a végső alakítás bizonyos hőmérséklet-tartományon belül megy végbe azzal a céllal, hogy az adott anyag ugyanolyan

állapotú legyen, mint NORMALIZÁLÁS után, úgy, hogy a mechanikai jellemzők előírt értékei megegyezzenek a NORMALIZÁLÁSSAL létrejött jellemzőkkel.

**OLDÓLÁGYÍTÁS (MALEABILIZARE):** Ausztenites acélok esetében alkalmazott hőkezelés. Nagy hőmérsékletre való FELMELEGÍTÉSBŐL, majd ezt követően gyors HŰTÉSBŐL áll, a homogén ausztenites szerkezet kialakítására.

**ÖNMEGERESZTŐDÉS (AUTOREVENIRE):** A HŰTÉS során a martenzitben végbemenő spontán MEGERESZTŐDÉS.

**ÖREGÍTÉS (ÍNBAŢRÂNIRE):** Vasötvözetek olyan HŐKEZELÉSE, amely után alkalmazott OLDÓIZZÍTÁS célja a tulajdonságoknak szükséges szintre való beállítása.

Ez a HŐKEZELÉS egy vagy több előírt hőmérsékletre való felhevítésből és hőntartásból áll, és azt megfelelő lehűtés követi.

*Megjegyzés: Az angol meghatározásban ez a kezelés az OLDÓIZZÍTÁS után, de a végső ÖREGÍTÉS előtt játszódik le, olyan közbenső hőmérsékleten, amelyet Ausztenites kondicionálásnak vagy elsődleges Edzésnek neveznek.*

**PATENTOZÁS (PATENTARE):** Vasötvözetek HŐKEZELÉSE AUSZTENITESÍTÉSSEL és megfelelő HŰTÉSSEL úgy, hogy az utána következő hidegalakításhoz kedvező szövetszerkezet keletkezzék.

Különbséget kell tenni a következők között:

- FOLYAMATOS PATENTOZÁS, amikor huzal vagy szalag MELEGÍTÉSÉT és HŰTÉSÉT folyamatosan végzik;
- SZAKASZOS PATENTOZÁS, amelynek során a termék tekercs vagy köteg formájában marad.

*Megjegyzés: Elő kell írni azt a közeget, amelyben a PATENTOZÁST végzik, ez például lehet levegő, ólomfürdő, sófürdő stb.*

**STABILIZÁLÓ IZZÍTÁS (RECOACERE DE ECHILIBRU):** IZZÍTÁS 850 °C hőmérsékleten azzal a céllal, hogy az ausztenites korrózióálló, stabilizált acélokban a fázisok, például karbidok kiváljanak vagy gömbszemcsésedjenek.

**SZILIKÁLÁS (SILICIERE):** Olyan TERMOKÉMIAI KEZELÉS, amelyet vasötvözetek felületének szilíciummal való dúsítására alkalmaznak.

**SZULFONITRIDÁLÁS (SULFONITRURARE):** NITROCEMENTÁLÁS a VEGYÜLETI RÉ-TEGBE a kén szándékos bevitelével.

**TERMOMECHANIKAI KEZELÉS (TRATAMENT TERMOMECHANIC):** Olyan alakítási művelet, amelynek során a végső képlékeny alakítás meghatározott hőmérséklet-tartományon belül történik, aminek eredménye olyan anyagszerkezeti és anyagjellemzők, amelyek egyszerű HŐKEZELÉSSEL nem valósítható vagy nem őrizhetők meg.

---

*ÚJRAKRISTÁLYOSÍTÓ IZZÍTÁS (RECOACERE DE RECRISTALIZARE):* Hidegen alakított acél izzítása, amelynek az a célja, hogy fázisváltozás nélkül, csíráképződéssel és csíranövekedéssel újrakristályosodott szemcsék alakuljanak ki.

*VANÁDIUMOZÁS (VANADIERE):* TERMOKÉMIAI KEZELÉS a munkadarab felületi rétegének vanádiummal való dúsítása.

*VEGYÜLETI RÉTEG (STRAT DE COMBINAȚII):* TERMOKÉMIAI eljárással kezelt fémes anyag felületi rétegének az a külső része, amelyben egy vagy több vegyület képződik a bediffundált elemből vagy elemekből és az alapanyag elemeiből.

Például nitridálás során nitridréteg keletkezik, boridálás során boridréteg, nagy karbontartalmú acélok kromálásakor pedig krómkarbid réteg keletkezik.

*VETEMEDÉS (DEFORMAȚIE):* Valamely munkadarab HŐKEZELÉS során bekövetkező alak és méretváltozása.

*ACÉL (OȚEL):* Olyan ötvözet, amelynek alapanyaga a vas és amelynek szénttartalma legfeljebb 2% (nagy mennyiségű jelenlevő karbidképző elemek módosíthatják a szénttartalom felső határát).

A hőkezelhető ötvözetlen acélokra és az ötvözött acélokra vonatkozó nomenklatúrát az EN 10020 határozza meg.

*ALFA-VAS (FIER ALFA):* Stabilis állapotú tiszta vas 911°C-nál kisebb hőmérsékleten. Ennek kristályszerkezete tétközéppontos köbös rácsszerkezetű.

Ez a vasmódosulat 768°C-nál kisebb hőmérsékleten (Curie-hőmérséklet) ferromágneses.

*AUSZTENIT (AUSTENITA):* Egy vagy több elem szilárd oldata GAMMA-VASBAN.

*AUSZTENITES ACÉL (OȚEL AUSTENITIC):* Olyan acél, amelynek szerkezete szobahőmérsékleten oldólagysítás után ausztenites.

Az öntött ausztenites acélok azonban tartalmazhatnak legfeljebb 20% ferritet.

*ÁTALAKULÁSI HŐMÉRSÉKLET (TEMPERATURA DE TRANSFORMARE):* Acélok esetében a következő alapvető hőmérsékletek különböztethetők meg:

- $A_{e1}$ : az ausztenit jelenlétének alsó határát meghatározó egyensúlyi hőmérséklet,
  - $A_{e3}$ : a ferrit jelenlétének alsó határát meghatározó egyensúlyi hőmérséklet,
  - $A_{em}$ : a hipereutektoidos acél esetében a cementit jelenlétének felső határát meghatározó egyensúlyi hőmérséklet,
  - $A_{c1}$ : az ausztenit kialakulás kezdődésének hőmérséklete MELEGÍTÉSKOR,
  - $A_{c3}$ : a ferrit ausztenitté alakulásának befejeződési hőmérséklete MELEGÍTÉSKOR,
  - $A_{CM}$ : a cementit ausztenitben való oldódásának befejeződési hőmérséklete hipereutektoidos acélokból,
  - $A_{r1}$ : az ausztenit ferritté és cementitté alakulásának befejeződési hőmérséklete HŰTÉSKOR,
  - $A_{r3}$ : a ferritképződés kezdő hőmérséklete HŰTÉSKOR,
-

- $A_{r_m}$ : az ausztenitből való cementitkiválás kezdeti hőmérséklete hipereutektoidos acélokban hűtésekor,
- $M_s$ : az a hőmérséklet, amelyen HŰTÉS során az ausztenit martenzitté való átalakulása megkezdődik,
- $M_f$ : az a hőmérséklet, amelyen HŰTÉS során az ausztenit martenzitté történő átalakulása befejeződik,
- $M_x$ : az a hőmérséklet, amelyen az ausztenit x% -a alakul át martenzitté HŰTÉS során.

*Megjegyzés: Angolul az előző hőmérsékleteket „kritikus hőmérsékleteknek” is nevezik adott ötvözetre való hivatkozáskor.*

**BÉNIT (BAINITA):** Olyan metastabilis szövetelem, amely az ausztenit bomlásakor keletkezik a perlit átalakulása és a martenzit képződése közötti hőmérséklet-tartományban. Ez a szövetelem karbonnal túltelített ferritből áll, amelyben a karbon egy része finom eloszlású karbid alakjában van jelen.

Megkülönböztethető:

- felső bénit, amely az előbb említett hőmérséklettartomány nagyobb hőmérsékletein képződik.
- alsó bénit, amely az előbb említett hőmérsékleteken képződik.

**CEMENTIT (CEMENTITA):**  $Fe_3C$  képlet szerinti vas (III)-karbid.

**DELTA-VAS (FIER DELTA):** Stabil állapotú, tiszta vas 1392 °C és az olvadáspontja közötti hőmérséklet tartományban. Kristályos szerkezete tétközéppontos, köbös, megegyezően az alfa-vaséval.

Paramágneses tulajdonságú.

**FERRIT (FERRITA):** Egy vagy több elem a szilárd oldata ALFA- vagy DELTA-VASBAN.

**FERRITES ACÉL (OȚEL FERRITIC):** Olyan acél, amely a szilárd halmazállapot teljes hőmérséklet-tartományában stabilan ferrites szövettű.

**GAMMA VAS (FIER GAMMA):** A tiszta vas stabil állapota 911 és 1392 °C között. Kristályos szerkezete lapközéppontos, köbös.

Paramágneses tulajdonságú.

**GRAFITOS ACÉL (OȚEL CU GRAFIT):** Olyan acél, amelynek szövetében a karbon grafit formájában vált ki.

**KRITIKUS ÁTMÉRŐ (DIAMETRUL CRITIC):** Adott feltételek között edzett, a középpontjában 50% martenzitet tartalmazó, elegendő hosszúságú (legalább 3d) próbarúd, átmérője d.

**LEDEBURIT (LEDEBURITA):** Lédeburitos szövetelemet tartalmazó acél.

**MARADÉK AUSZTENIT (AUSTENITĂ REZIDUALĂ):** Az acél EDZÉSE után a környezeti hőmérsékleten visszamaradó, nem átalakult ausztenit.

*MARTENZIT (MARTENZITĀ):* Metastabil szilárd oldat térközéppontos tetragonális rácsszerkezettel.

*MIKROKEMÉNYSÉG (MICRODURITATE):* Az 1,96 N-nél kisebb terheléssel mért keménység.

*ÖNTÖTTVAS (FONTĀ):* Olyan termék, amely lényegileg vas alapú, és karbontartalma meghaladja a 2% -ot. (Nagy mennyiségű karbidképző elemek jelenléte módosíthatja a karbontartalom alsó határát).

*ÖTVÖZET (ALIAJ):* Valamely alapfémből és egy vagy több, az adott fémbe folyékony halmazállapotban teljes mértékben oldható, és szilárd állapotban szilárd oldatot vagy vegyületet képező anyag.

*PERLIT (PERLITA):* Az auszternit eutektoidos átalakulása során keletkezett ferrit- és cementitlemezek halmaza.

*SZEMCSE (GRĀUNTE):* A sokkristályos szövet egyes elemi kristálya.

*SZILÁRDOLDAT (SOLUȚIE SOLIDĀ):* Két vagy több elem által létrehozott homogén, szilárd, kristályos fázis.

Meg kell különböztetni a szubsztitúciós (helyettesítéses) szilárdoldatot (amelyben az oldott atomok az alapelem atomjait részben helyettesítik) az intersztíciós (beékelődéses) szilárdoldattól, amelyben az oldott anyag atomjai beékelődnek a kristályszerkezet atomjai közé.

*SZÖVETELEM (STRUCTURĀ):* Egy vagy többfázisú rész, amely a folyamat közben keletkezik, és amely vagy amelyek az anyagszerkezet metallográfiai vizsgálata során egyedi jellemzővel rendelkezik vagy rendelkeznek.

*TŰS SZERKEZET (STRUCTURĀ ACICULARĀ):* Olyan szerkezet, amelynek alkotórészei metszetben tűszerű képződményként jelentkeznek.

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a Românei**

**Terminológia: Magyar nyelvű szakelőadások a 2001-2002-es**

**tanévben: Villamosmérnöki kar – Kolozsvár**

[Cluj-Napoca]:

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2002

p. ; cm.

ISBN 973-85809-3-5

531

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság - EMT  
Kolozsvár, 1989. December 21. Sugárút (Magyar u.) 116. Szám

Postacím: 3400 Cluj, C.P. 1-140, România

Tel./fax: 0264-190825; 194042; 0744-783237

E-mail: [emt@emt.ro](mailto:emt@emt.ro)

Honlap: <http://www.emt.ro>

ISBN 973-85809-3-5