



BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék



Anyagtudomány(szig1) féléves házi feladat

## **Acélgyártó eljárások**

Thiele Ádám  
WTOSJ2

Budapest, 2011

# TARTALOM

<b>1. Az acélgéártási folyamatok fizikai-kémiai alapjai</b> .....	3
<b>1.1. Termodinamikai alapok</b> .....	3
1.1.1. <i>A tömeghatás törvénye és a kémiai reakciók egyensúlyi állandója</i> .....	3
1.1.2. <i>Aktivitás, koncentráció</i> .....	3
1.1.3. <i>A kémiai reakciók termodinamikája</i> .....	4
1.1.4. <i>Megoszlási törvény</i> .....	6
1.1.5. <i>Az elemek acélfázisban történő oldódása</i> .....	6
<b>1.2. Reakciókinetikai alapok</b> .....	7
<b>2. Az acélgéártás legfőbb folyamatai</b> .....	7
<b>2.1. Frissítés</b> .....	7
<b>2.2. Deoxidálás</b> .....	7
2.2.1. <i>Kicsapásos deoxidálás</i> .....	8
2.2.2. <i>Diffúziós deoxidálás</i> .....	8
2.2.3. <i>Deoxidálás vákuumban</i> .....	9
<b>3. Történelmi acélgéártó eljárások</b> .....	9
<b>3.1. Meteorvasak</b> .....	9
<b>3.2. Bucavas előállítás</b> .....	9
<b>3.3. Frisztüzi acélgéártás</b> .....	9
<b>3.4. Kavaró eljárás</b> .....	10
<b>3.5. Tégelyacélgéártás</b> .....	10
<b>3.6. Szélfrissítéses konverteres acélgéártás</b> .....	10
3.6.1. <i>Bessemer-eljárás</i> .....	10
3.6.2. <i>Thomas-eljárás</i> .....	11
<b>4. Modern acélgéártó eljárások</b> .....	11
<b>4.1. Direkt módszerű acélgéártási eljárások</b> .....	12
4.1.1. <i>Direkt redukációs eljárások</i> .....	12
4.1.2. <i>Olvadék redukációs eljárások</i> .....	12
<b>4.2. Nyersvas alapú acélgéártási eljárások</b> .....	12
4.2.1. <i>Siemens-Martin eljárás</i> .....	12
4.2.2. <i>Oxigén befúvásos konverteres acélgéártás (LD)</i> .....	13
4.2.3. <i>Elektroacélgéártás</i> .....	13
4.2.4. <i>Különleges acélgéártó eljárások és finomító eljárások</i> .....	14
<b>5. Felhasznált irodalom</b> .....	14

# 1. Az acélgyártási folyamatok fizikai-kémiai alapjai

## 1.1. Termodinamikai alapok

Az acélgyártás termodinamikai alapjainak tárgyalása során a lejátszódó folyamatok hőhatásával és sorrendiségével foglalkozunk.

### 1.1.1. A tömeghatás törvénye és a kémiai reakciók egyensúlyi állandója

A tömeghatás törvénye szerint egy egyensúlyi kémiai reakcióban részvevő termékek egyensúlyi koncentrációjának megfelelő hatványon vett szorzatából és a kiindulási anyagok egyensúlyi koncentrációjának megfelelő hatványon vett szorzatából képzett tört értéke adott hőmérsékleten állandó. A hányadost a reakció egyensúlyi állandójának nevezzük.

Egy általános kémiai reakcióra:



$$\text{A (1) reakció sebessége a felső nyíl irányában: } \bar{v} = \bar{k} [A]^m [B]^n \quad (2)$$

$$\text{A (1) reakció sebessége az alsó nyíl irányában: } \bar{v} = \bar{k} [A_m B_n] \quad (3)$$

Ahol:  $\bar{k}$  és  $\bar{k}$  arányossági tényezők.

Az egyensúlyi reakciók nem folynak le teljesen, hanem a kiindulási anyagok teljes elfogyása előtt megállnak, mert egyensúly jön létre a kiindulási anyagok és a reakció termékei között. Egyensúlyi állapotban a reakció az alsó és a felső nyíl irányában azonos sebességgel zajlik:

$$\bar{v} = \bar{v} \quad (4)$$

Így a (2), (3) és (4) egyenlet szerint:

$$\frac{[A_m B_n]}{[A]^m [B]^n} = \frac{\bar{k}}{\bar{k}} = K \quad (5)$$

Ahol: K a reakció egyensúlyi állandója.

### 1.1.2. Aktivitás, koncentráció

Az aktivitás a reális elegyek, olvadékok alkotóinak termodinamikai koncentrációja. Az aktivitás az adott körülmények között a vizsgált komponens tényleges, a folyamat során rendelkezésre álló szabad koncentrációját jelenti. Az aktivitással tehát figyelembe vesszük az adott rendszer komponenseinek kölcsönhatását. Így az ideális elegyekre, olvadékokra érvényes egyenletek (pl. a fentiek) érvényesek maradnak a reális termodinamikai viselkedésű olvadékokra és elegyekre is.

A tiszta állapotú anyagok aktivitása egységnyi:

$$a_{\text{tisza}} = 1 \quad (6)$$

A gázelegyek aktivitása a parciális nyomással egyenlő:

$$a_{\text{gáz}} = p_i \quad (7)$$

Ideális elegyek és híg oldatok alkotóinak aktivitása a ténylegesen mérhető koncentrációval egyenlő:

$$a_i = x_i \quad (8) - \text{ideális elegyre;}$$

és

$$a_i = c_i \quad (9) - \text{híg oldatra.}$$

### 1.1.3. A kémiai reakciók termodinamikája

A kémiai folyamatok mindig együtt járnak a rendszer szabadentalpiájának megváltozásával, amely a következő képen fejezhető ki:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K = \Delta H + T\Delta S \quad (10)$$

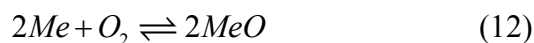
Ahol:  $\Delta G$  - a rendszer szabadentalpia változása  
 $\Delta G^\circ$  - a standard szabadentalpia változás  
 $\Delta H$  - a reakció entalpia változása  
 $\Delta S$  - a reakció entrópia változása  
 $K$  - a reakció egyensúlyi állandója  
 $T$  - az abszolút hőmérséklet  
 $R$  - a gázállandó (8,314 J/Kmól)

Egyensúlyba ért reakció esetén  $\Delta G = 0$ . Ha  $\Delta G < 0$ , akkor a reakció önként végbemegy a felső nyíl irányába. Ha  $\Delta G > 0$ , akkor a reakció az alsó nyíl irányába folyik.

Egyensúlyi állapotban ( $\Delta G = 0$ ) a reakciók során keletkezett termékek képződésének standard szabadentalpia változásai a (10)-ből kifejezve:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K = \Delta H - T\Delta S \quad (11)$$

Az acélgyártás során végbemenő reakciók szempontjából fontos fém-oxid képződés általános reakcióegyenlete:



A (12) reakció egyensúlyi állandója az (5) egyenlet szerint (az 1.1.2. pontban leírtaknak megfelelően aktivitásokkal számolva):

$$K = \frac{a_{MeO}^2}{a_{Me}^2 \cdot a_{O_2}} \quad (13)$$

Figyelembe véve a (6) egyenletet, mert a reakcióban tiszta anyagok vesznek részt, és a (7) egyenletet, a (13) egyenlet a következő képen egyszerűsödik:

$$K = \frac{1}{P_{O_2}} \quad (14)$$

Az acélgyártás során keletkező fém-oxidok képződésének standard szabadentalpiája a (11) és (14) egyenletek alapján:



az egyensúlyi állandó értéke csökken, endoterm folyamatoknál ( $\Delta H > 0$ ) a hőmérséklet növekedésével az egyensúlyi állandó értéke növekszik (állandó nyomás esetén).

Egy egyensúlyi reakció során a kialakuló egyensúlyi összetétel nemcsak a hőmérsékletnek, hanem a nyomásnak is függvénye, ha a termékek összes moláris térfogata nem azonos a reagensek összes moláris térfogatával. A nyomás növekedése a térfogatcsökkenés irányába végbemenő reakciót segíti. (Pl. a Boudouard-reakciót,  $2CO \rightleftharpoons CO_2 + C$  a nyomás növekedése a térfogatcsökkenés irányába ható reakciót, azaz a CO elbomlását segíti.)

#### 1.1.4. Megoszlási törvény

Az egymással nem elegyedő két folyékony fázisban (az acélglyártásban ez a fémfűrdő és a salak), ha egy újabb, harmadik anyagot oldunk, akkor a két fázisban az oldott anyag koncentrációjának aránya adott hőmérsékleten állandó, ezt az állandót nevezzük megoszlási tényezőnek ( $L$ ). A megoszlási törvényt pl. FeO-ra felírva:

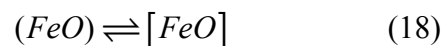
$$L_{FeO} = \frac{(FeO)}{[FeO]} \quad (17)$$

Ahol:  $L_{FeO}$  - az FeO megoszlási tényezője

$(FeO)$  - az FeO wt%-os mennyisége a salakban

$[FeO]$  - az FeO wt%-os mennyisége a fémfűrdőben

A megoszlási egyensúly megváltoztatásával szabályozni lehet az oxigén áramlási irányát. A frissítés során pl. a salakból a fémfázisba történő oxigénáramlás szükséges, ezért ekkor a salak FeO tartalmát növelve, az  $L_{FeO}$  állandósága miatt a



reakció a felső nyíl irányába játszódik le (fémfűrdőt oxidáló salak). Dezoxidáláskor a salak FeO tartalmának csökkenésével a (18) reakció az alsó nyíl irányába megy vége (fémfűrdőt redukáló salak).

A bázikus salak erősebben oxidáló salak, mint a savanyú salak. Pl. 1600°C-on bázikus salakban (nagy CaO, MgO tartalom):

$$L_{1600_{bázikus}} = \frac{(FeO)}{[FeO]} = \frac{50}{1} \quad (19)$$

míg savanyú salakban (nagy SiO<sub>2</sub>, FeO, MnO tartalom):

$$L_{1600_{savanyú}} = \frac{(FeO)}{[FeO]} = \frac{100}{1} \quad (20)$$

#### 1.1.5. Az elemek acélfázisban történő oldódása

Az elemek acélfázisban történő oldódásának nagy szerepe van az acélglyártás reakcióinak termodinamikai elemzésekor, az acélok dezoxidálásakor, ötvözésekor. A folyékony vasban az acél ötvöző és szennyező elemeinek oldódása három csoportba osztható.

A vassal ideális oldatot alkotó ötvözőelemek a Cr, Co, Mn, Mo és a W. Ezek a vasban korlátlanul oldódnak (Mo-t és W-ot kivéve), a vassal nem képeznek vegyületet. A vassal nem ideális oldatot alkotó ötvözőelemek az Al, Cu, Ni, Si, V, Ti és a Zr. Ezek a vas olvadáspontján, a folyékony vasban tökéletesen oldódnak. Nemfémek elemek oldódása esetén az oldódás hőmérséklet és nyomásfüggő. Egyes kétatomos gázok nagy hőmérsékleten könnyen disszociálnak, majd atomos állapotban oldódnak a fémfürdőben ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ). A Sieverts-törvény megmutatja, hogy az acélgégyártási folyamatokban fontos gázoknak oldódásának mennyisége arányos a fémfürdő feletti parciális nyomásuk négyzetgyökével.

## 1.2. Reakciókinetikai alapok

A termodinamikai vizsgálatok alapján csak a reakciók lejátszódásának lehetősége határozható meg, a reakciók mechanizmusának feltárásával, a reakciók sebességével a reakciókinetika foglalkozik. A termodinamikailag lehetséges reakciót a kinetikai feltételek hiánya akadályozhat meg a lejátszódásban.

Az acélgégyártási eljárások során a reakciókinetika négy fő folyamatot vizsgál:

- Az anyagszállítás sebességének vizsgálata a valamely reakcióban részvevő anyag reakcióhelyre történő eljutására ad választ.
- A kémiai reakciók sebességének vizsgálata.
- A gázbuborék képződés feltételeinek vizsgálata.
- Heterogén reakciók mechanizmusa, amelyek az acélgégyártási folyamatok során a gáz-, salak- és a fémfázis között játszódnak le.

## 2. Az acélgégyártás legfőbb folyamatai

### 2.1. Frissítés

A frissítő periódus célja az acélfürdő C-,  $H_2$ - és P-tartalmának csökkentése és a hőmérséklet növelése. Az oxidáció több féle képen oldható meg:

- levegő oxigénjével (Bessemer- és Thomas-eljárás)
- oxidáló salakkal (Siemens-Martin eljárás)
- tiszta oxigénnel (oxigén fúvató eljárások)
- oxigén és argon együttes befúvásával (AOD)

A kísérő elemek oxidációja oxigén vagy levegő befúvatos frissítés esetén közvetlenül az oxigén vagy a keletkező FeO hatására mehet végbe. Az oxidáló salakkal történő frissítés esetén a nagy FeO tartalmú salak végzi a fém-salak fázishatáron a megoszlási törvénynek megfelelően (ld. 1.1.4.). Az egyes elemek oxidációjakor jelentős hőmennyiség szabadul fel, ami emeli a fürdő hőmérsékletét. A karbon kiégésekor keletkező CO és  $CO_2$  élénk fűvésbe hozza a fürdőt, ami ezáltal a fürdőt átkeveri, növeli az egyes fázisok közötti érintkezési felületet, növeli a reakciók sebességét, intenzívebbé teszi a hőátadást és elősegíti a gázok és a zárványok eltávolítását. A karbonleégés sebessége a technológiai lépés fontos jellemzője, a szél és oxigénfrissítéses eljárások esetén kb. 0,3% C/min, az oxidáló salakos eljárásnál kb. 0,3% C/h.

A foszfor eltávolítása bázikus, nagy CaO-tartalmú salakkal történik, a vasban oldott foszfor oxidációjával keletkező savanyú jellegű  $P_2O_5$ -ot a kis bázicitású FeO-val szemben az erősen bázikus CaO stabilan megköti.

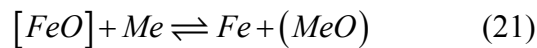
### 2.2. Dezoxidálás

Azért, hogy az acélfürdőben oldott kísérő elemek oxidációja kellő sebességgel menjen végbe, az oxidálószer feleslegben történő adagolása szükséges. Így a frissítés után az acél túlzottan nagy mennyiségű oxigént tartalmaz, többet mint amennyit szilárd állapotban oldani képes, ezért a kristályosodás során a kristályhatárokon FeO zárványok formájában kiválik és rontja a szilárdsági tulajdonságokat. A folyékony vasban az oldott oxigéntartalom már igen kis

mennyiségben is FeO-ként van jelen. A káros oxigénmennyiséget csökkenteni kell, vagy kevésbé káros oxidok formájában kell megkötni.

### 2.2.1. Kicsapásos dezoxidálás

A kicsapásos dezoxidálás lényege, hogy az acélfürdőben oldott oxigént (vagy FeO-t), olyan elemmel kötik meg, amelyiknek az oxigénhez való affinitása nagyobb, mint a vasé (vö. az oxidok képződésének szabadentalpia-változását mutató 1. ábra). A kicsapásos dezoxidálás általános reakcióegyenlete:



Ahol Me a dezoxidáló elem, amely az oxigénhez való affinitás növekvő sorrendjében lehet: Mn, Si, Ti, Al, stb (az Al az acélban kettős szemcsenagyságot okozhat). A Mn-t és a Si-t ferroötvtözetek, az Al-ot legtöbb esetben tiszta fém formájában használják. A csak Mn-nal dezoxidált acélokban még marad oxigén, dermedéskor a karbontartalom hatására CO keletkezik. Az ilyen acélokat csillapítatlan acéloknak nevezik. A Mn-Si-mal és a Mn-Si-Al-mal dezoxidált acélok esetén dermedéskor nincs CO fejlődés. Ezeket csillapított acéloknak nevezzük.

A képződött oxidnak kis olvadáspontúnak kell lennie, hogy ezáltal koagulálhasson, és így a dezoxidációs termékek növekedését elősegítse, valamint kis fajsúlyúnak kell lennie, hogy gyorsan a salakba emelkedhessen. A gömb alakúnak feltételezett dezoxidációs termék felemelkedését a Stokes-tétel írja le:

$$v = \frac{2g}{9\eta} (\rho_{\text{fürdő}} - \rho_{\text{zárvány}}) r^2 \quad (22)$$

Ahol:  $v$  - a zárványok emelkedési sebessége  
 $g$  - a nehézségi gyorsulás  
 $\eta$  - az acélfürdő viszkozitása  
 $\rho_{\text{fürdő}}$  - a fürdő sűrűsége  
 $\rho_{\text{zárvány}}$  - a dezoxidációs termék sűrűsége

### 2.2.2. Diffúziós dezoxidálás

Az acélfürdő oxigéntartalmát nemcsak az [FeO] redukciója útján, hanem az [FeO]-nak a salakba való eltávolításával is lehet csökkenteni. Ezt a módszert, amikor az FeO az acélfürdőből a redukáló salakba diffundál diffúziós dezoxidálásnak nevezzük. A megoszlási törvény értelmében (ld. 1.1.4.) a salakban lévő szabad FeO-t csökkentve csökken az acél FeO tartalma is csökken anélkül, hogy dezoxidáló anyagot adnánk a fürdőbe. A vasnak a salakból a fémfürdőbe való visszaredukciójára speciális dezoxidáló keverékeket használnak, amelyek fő alkotója valamilyen karbonhordozó (koks, faszén, grafit, kalciumkarbid, stb.) és legtöbbször emellett még ferroszilíciumot is hozagolnak. Ez két egyenlettel jellemezhető:



A vasnak a salakból való redukciója történhet szintetikus salakkal is, de ekkor a vas nem redukálódik vissza az acélfürdőbe, hanem a salak valamelyik fém oxidja köti meg a salakban. Ez egy egyenlettel fejezhető ki:

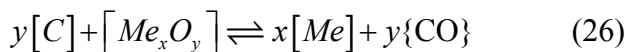




A diffúziós dezoxidáció esetén a karbonnal vagy karbiddal való dezoxidáció terméke gáznemű, így eltávozik az acélfürdőből, azonban a diffúziós dezoxidáció túl lassú, ezért általában összekapcsolják a kicsapásos dezoxidációval.

### 2.2.3. Dezoxidálás vákuumban

Vákuumban történő dezoxidáláskor olyan dezoxidálószerke kerülnek előtérbe, amelyek terméke elszívható gáz, így a reakció a termék keletkezésének irányába tolható el (vö. 1.1.3.). Ez azonban csak akkor érvényes, ha reakció bal oldalán kevesebb mólnyi gáz van, mint a jobboldalon. A vákuum által a dezoxidáció hatékonyságára gyakorolt hatás kihasználására tökéletes lehetőséget csak a kondenzált állapotban lévő, illó oxidokat alkotó elemek alkalmazása nyújt. Ilyen elem a C. A karbonnal történő dezoxidálás reakcióegyenlete:



A karbonnal, vákuumban végzett dezoxidáció előnye, hogy az egyensúlyi  $[C\%][O\%]$  szorzat értéke a CO parciális nyomás csökkenésével jelentősen csökken. Az elérhető legkisebb szorzatérték kb.  $2 \cdot 10^{-12}$ , amely  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  torr  $p_{CO}$  esetén érhető el. Ez azt jelenti, hogy  $O\% = 0,001 \dots 0,002$  és  $C\% = 0,002 \dots 0,006$ . A  $p_{CO}$  értéke argonbefúvással is csökkenthető (AOD acélgyártás)

## 3. Történelmi acélgyártó eljárások

### 3.1. Meteorvasak

A legkorábbi (kb. hatezer éves) vastárgyak tulajdonképpen acélnak tekinthető vasmeteorokból készültek. A vasmeteorok vegyi összetételére jellemző, hogy nikkeltartalmuk akár 20% is lehet, egyéb ötvözőket viszont csak kis mennyiségben tartalmaznak. Ennek köszönhetően a vasmeteorok nagyon jól kovácsolhatóak, jól kovácstűzi-hegeszthetőek voltak, és a korrózióknak is jobban ellenálltak, mint a későbbi korok kis karbontartalmú szénacélból készült vastárgyai.

### 3.2. Bucavas előállítás

A vas kb. i.e. 11-7. századi tűzi úton történő előállításának felfedezése feltételezhetően a rézkohászati technológiából eredeztethető. A vaselőállítás ősi módja szerint kis faszéntüzelésű kemencékben, közvetlenül a vasércből nyertek egy salakos vasszivacsot, ún. vasbucát. A vas az elérhető kis kohászati hőmérséklet mellett nem olvadt meg ezért csak csekély mértékben ötvöződött karbonnal. Az előállított néhány kilogramm tömegű vasbucát újrahevítették, tömörítették. Eközben a sok vasoxidot tartalmazó, ezáltal alacsony olvadáspontú salak jelentős része kifolyt, kipréselődött. A vas előállításának ezen ősi technológiáját mai szakkifejezéssel élve direkt módszerű vagy közvetlen acélgyártásnak nevezhetnénk. A technológia Magyarországon egészen az 1880-as évekig élt.

### 3.3. Frisztűzi acélgyártás

A XVI. Században megjelent eljárás nyersvasból állított elő az ún. forrasztott acélt. Aknás kemencébe faszenet, nyersvasat és nagy FeO-tartalmú salakot adagoltak, majd az elegyet  $1300-1350^\circ\text{C}$  körüli hőmérsékletre hevítették. A megolvadó nyersvas lecsepegett az akna aljára, az oxidáló kemenceatmoszféra és a nagy FeO-tartalmú salak hatására a kísérő elemei (C, Mn, Si és P) kioxidálódtak, bár a FeO-val történő foszfortalanítás tökéletlen volt. Az

eredetileg kb.  $C = 4,3\%$  összetételű nyersvas karbontartalma fokozatosan csökkent. Elérve a likvidusz vonalat megkezdődött a szolidusz vonalig tartó kristályosodás. Mivel a nyersvas nagy karbontartalom mellett érte el a likvidusz hőmérsékletet, a benne oldott oxigén mennyisége még csekély volt. Az összeállt vasterméket kovácsolással salaktalanították és kovácshegesztették össze.

### 3.4. Kavaró eljárás

Az 1784-ben bevezetett kavaró eljárás berendezése olyan rostélytüzelésű lángkemence volt, ahol az olvasztóteret tűzhíd választja el a rostélytól. Az olvasztóterbe nyersvasat és oxidáló anyagot (vasérc, reve, salak) adagoltak. Az olvadék kavarása eredményeként az olvadt nyersvas az olvadt oxidálóanyag vasoxid tartalmának hatására frissítődött. A vas kb.  $1300^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten kristályosodott ki és állt össze gomolyává, amely salakszennyeződését kovácsolással távolították el.

### 3.5. Tégelyacélgártás

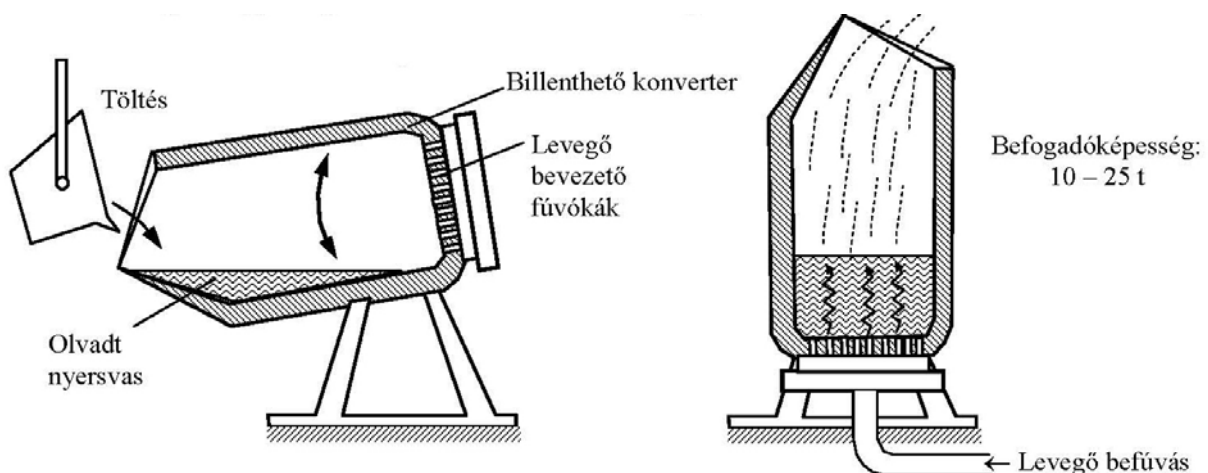
Az 1740-ben kialakult tégelyacélgártás berendezése egy grafit és agyag keverékéből készült tégely volt. A betétanyag a kavart vagy frisstűzi acél, a salakképző kvarchomok vagy üvegcserep volt. A betét beadagolása után a tégelyt lezárták és kívülről hevítették. Az átolvasztási módszerrel homogénebb és tisztább terméket kaptak. A technológiát az elektroacélgártás szorította ki a XX. században.

### 3.6. Szélfrissítéses konverteres acélgártás

#### 3.6.1. Bessemer-eljárás

Az 1855-ben szabadalmaztatott Bessemer-eljárás 1870-1910 között adta a világ acéltermelésének túlnyomó részét. Ebben az időben jó minőségű, kis foszfortartalmú ércék és kis kéntartalmú szenek álltak rendelkezésre, így jó minőségű volt a nyersvasbetét. A jó minőségű alapanyagok kimerülésével párhuzamosan fejlődtek ki a bázikus bélést alkalmazó eljárások.

Az eljárás berendezése a billenthető körte alakú konverter, amelybe a folyékony nyersvas beöntése után alulról fúvókák keresztül levegőt fúvatnak be (2. ábra).

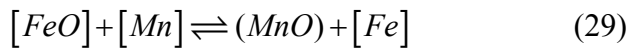
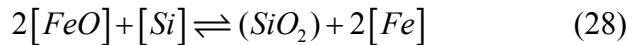


2. ábra: A Bessemer-eljárás berendezése

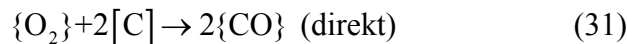
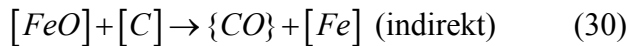
A nyersvas fúvatásakor intenzív fürdőmozgás jön létre, amely gyorsan telíti a fürdőt oxigénnel:



A fűrdőben oldódó [FeO] a kísérő elemeket oxidálja. Az oxidáció első periódusában a Si és a Mn,



második periódusában a C oxidálódik:

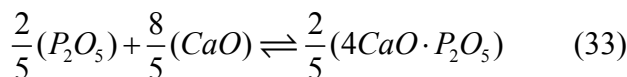
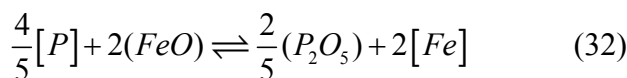


A C oxidációja végén a vas oxidációja kezdődik meg, az acélfűrdő [FeO]-tartalma fokozatosan növekszik, így a megoszlási törvény értelmében (17) a salak elkezd telítődni (FeO)-val.

A Bessemer-eljárás savas bélésű, ezért kéntelenítést és foszfortalanítást nem lehet benne végezni. Az adag dezoxidálása FeMn, FeSi, Al, tükörvas felhasználásával történik.

### 3.6.2. Thomas-eljárás

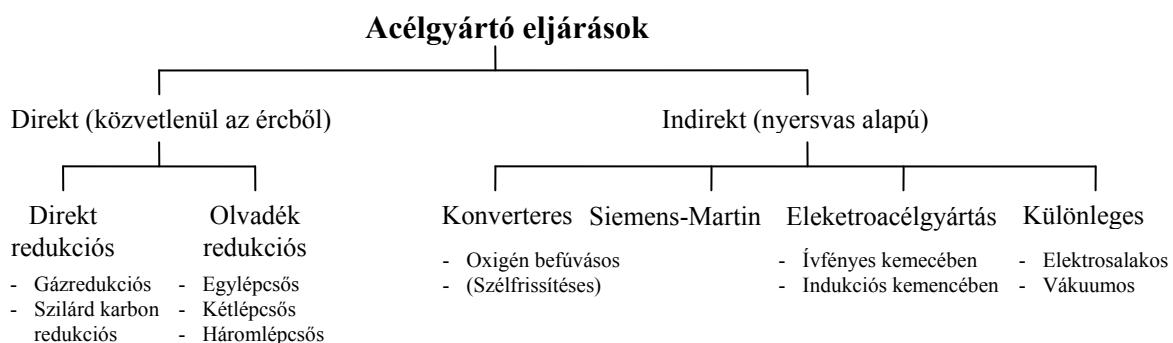
Az 1878-ben szabadalmaztatott Bessemer-eljárás 1940-1960 között adta a világ acéltermelésének túlnyomó részét. Az eljárásnál a Bessemer-eljárás berendezését és elvét alkalmazzák, de a bázikus bélésű konverter és égetett mész adagolása teszi lehetővé a foszfor stabil megkötését kalciumfoszfát alakjában. A (27) reakció lejátszódása után:



A frissítés első periódusában a Si, és a Mn oxidálódik a (28) és (29)-nek megfelelően, ezt követi a C (30) és (31), majd a P (32) és (32) szerinti oxidációja (ugyanis a hozagolt CaO kezdetben nem, csak az (FeO) megjelenésekor oldódik a salakban).

## 4. Modern acélgártó eljárások

Direkt és indirekt módszerű acélgártást különböztetünk meg aszerint, hogy az acélgártó eljárás közvetlenül az ércből, vagy a megelőző nyersvasgyártási lépés termékéből, a nyersvasból állítja elő az acélt. A legfontosabb mai acélgártó eljárások csoportosítását a 3. ábra mutatja:



3. ábra: A fontosabb mai acélgártó eljárások csoportosítása

#### **4.1. Direkt módszerű acélgártási eljárások**

A direkt módszerű acélgártási technológiák a szilárd vasterméket, an ún. vasszivacsot előállító direkt redukciós eljárások és a folyékony (általában a nyersvashoz hasonló) vasterméket előállító olvadékredukciós eljárások csoportjára oszthatók. Ezek a technológiák még ma is lassan terjednek, jelenleg a teljes acéltermelésből kb. 5%-ban részesednek.

##### *4.1.1. Direkt redukciós eljárások*

A direkt redukciós eljárások körébe tartozik minden olyan eljárás, amely dús (kis meddő tartalmú) vasércből, szilárd állapotban, gáznemű (gázredukciós) vagy szilárd redukálószerrel felhasználásával (szilárd karbon redukciós) kis C-tartalmú vasterméket állít elő. A nagy fémessítési fokkal ( $Fe_{fém}/Fe_{össz} > 0,92$ ) és minimális meddőtartalommal rendelkező vasszivacs elsődlegesen az elektroacélgártás betétanyagaként használható fel. A kisebb fémessítési fokkal rendelkező vasszivacsok, mint előredukált betétanyagok a nagyolvasztóban kohósíthatók.

A gázredukciós eljárás két fő egysége az aknás kemence típusú reaktor, amelyben a lefelé haladó érc vagy pellet színvassá történő redukcióját a CO és a H<sub>2</sub> végzi. A másik fő egységben, a konvertálóberendezésben, a torokgázokat (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) többnyire földgázzal reagáltatva állítják elő a redukálógázt, amelynek összetétele általában CO=25-40%, H<sub>2</sub>=35-55%, hőmérséklete 760-900°C.

A szilárd karbon redukciós eljárás során a finomszemcsés ércből, nagy reaktivitású kokszzarából és a salakképző anyagból álló betétanyag keverékét forgócsöves kemencében reagáltatják, így állítanak elő vasszivacsot. A redukciós hőmérséklet kb. 900-1100°C.

2008-ban a világ kb. 1200Mt-ás acéltermeléséből a direkt redukciós technológiával előállított acél mennyisége 68,5Mt volt. A termelés 75%-a gázredukciós (Midrex 60% és HyL 15%), 25%-a szilárd karbon redukciós technológia alapú volt.

##### *4.1.2. Olvadék redukciós eljárások*

Az olvadékredukciós eljárásokban ércporokat, előredukált vagy előredukálatlan érc koncentrátumokat állapotban többnyire gyenge minőségű szenek vagy szénporok felhasználásával, folyékony halmazállapotban, többnyire nyersvashoz hasonló összetételű folyékony vassá, illetve vasötvözeté redukálnak nagy hőmérsékleten (1500-1900°C-on).

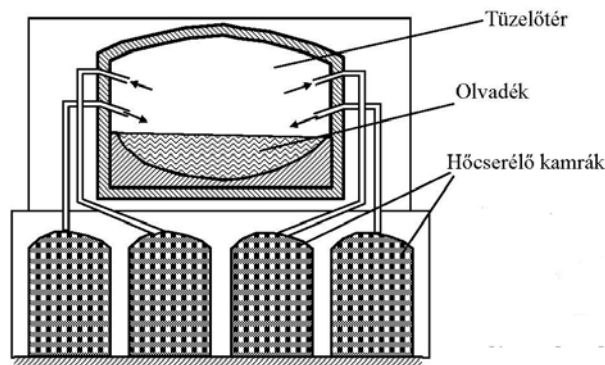
Az olvadékredukciós eljárások három csoportba oszthatók. A ritkán alkalmazott egylépcsős eljárás során az olvadékredukcióban keletkező CO-t oxigénnel elégetve közvetlenül fedezik a folyamat hőszükségletét. A kétlépcsős eljárás esetén az olvadékredukciós részben keletkezett CO-t visszavezetik az előredukációs térbe, ahol a CO elvégzi az érc előredukációját. A hőt a távozó torokgázok elégetésével nyert villamos energiával biztosítják. Elterjedt kétlépcsős olvadékredukciós technológia az Inred- és az Elred-eljárás. A háromlépcsős technológiában az olvasztó és a redukciós tér között egy harmadik térben elhelyezett kokszágyon végzik az olvasztó térből érkező égéstermékek redukáló gázzá történő konverzióját. A redukáló gázt ezután a redukciós térben az érc előredukációjára hasznosítják. Elterjedt háromlépcsős olvadékredukciós technológia a Plasmamelt-, Kawasaki- és a Pirogas-eljárás.

#### **4.2. Nyersvas alapú acélgártási eljárások**

##### *4.2.1. Siemens-Martin eljárás*

Az 1864-ben kialakult SM-eljárás berendezése a regeneratív tüzelésű lángkemence (4. ábra). Az SM-eljárás betéte lehet hulladék-nyersvas, nyersvas-érc és hulladék szén. A fűtést nemcsak a kemenceatmoszféra oxigéntartalma, hanem az oxidáló salak is végzi a fém-salak fázishatáron a megoszlási törvénynek (17) megfelelően. Az így a fémfázisban oldódó [FeO] a kísérőelemeket oxidálja. Az oxidáció sorrendje, Si, Mn majd P, a hőmérsékleten

növekedésével kerül egyre inkább előtérbe a C (30) egyenlet szerint oxidációja. Az oxidálódott foszfor bázikus salakban (nagy MgO és CaO tartalom) megköthető. Az SM eljárás dezoxidációs szakaszában FeMn, FeSi, Al, FeTi esetleg CaSi közvetlenül a csapolás előtt az üstbe vagy a folyadéksugárba történő adagolásával kicsapásos dezoxidálást, vagy redukáló salakkal diffúziós dezoxidálást is alkalmaznak (a 2.2.2-ben leírtaknak megfelelően).



4. ábra: A SM- eljárás berendezése

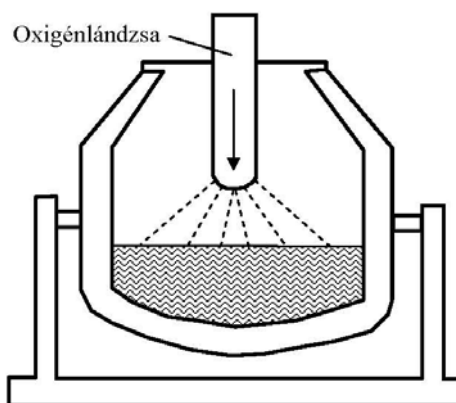
#### 4.2.2. Oxigén befúvásos konverteres acélgártás (LD)

Az oxigén befúvásos konverteres eljárásoknak három nagy csoportja létezik.

A ráfúvásos oxigén konverteres eljárásnál az adag 75-90% folyékony nyersvas mellett acélhulladékból, vagy ércből áll. A tűzálló bélésű konverterbe az oxigént vízzel hűtött lándzsán keresztül 10-14bar nyomással juttatják be.

A fenékfúvatásos oxigén konverteres eljárásnál az oxigén a konverter fenekén önmagát hűtő fúvókarendszeren jut a fémfürdőbe (hasonlóan a levegő frissítéses Bessemer és Thomas eljáráshoz, ld. 3.6.1. és 3.6.2.)

Az argon-oxigén befúvásos konverteres eljárás (AOD) során oxigén és argon gáz keverékét fújják be a konverterbe, így csökkentve a keletkező CO parciális nyomását, ezáltal javítva a dekarbonizálás hatásfokát (v.ö. 2.2.3.). Ezzel az eljárással állítják elő a kis karbontartalmú, korrózió- és saválló acélokat.



5. ábra: Az LD-eljárás berendezése

#### 4.2.3. Elektroacélgártás

Az elektroacélgártó eljárás kezdetei 1878-ra nyúlnak vissza. Az eljárás berendezése az ívfényes (6/a. ábra) vagy az indukciós kemence (6/b. ábra). Az elektrokemence fémbetétje szinte kizárólag acélhulladék, ritkán, akkor is csak kis mennyiségben használnak nyersvasat. Az elektrokemence atmoszférája ezért csak gyengén oxidáló, a kis mennyiségben jelen lévő kísérőelemek oxidációját (különösen a foszforét) külön bevitt oxigénhordozóval (kis

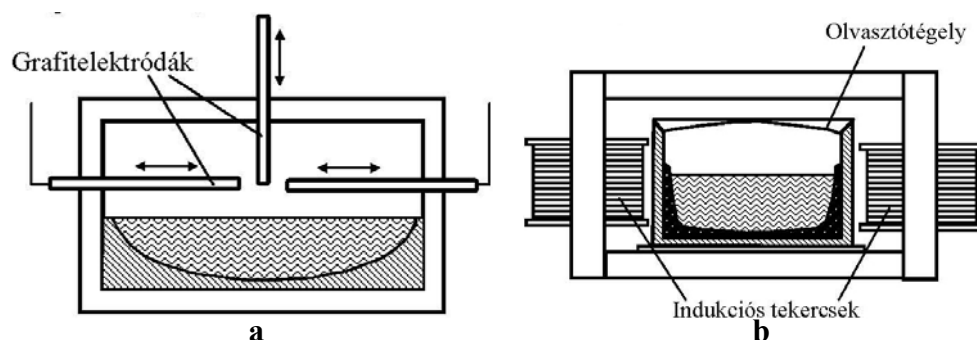
mennyiségű érc, reve, ipari oxigén) kell biztosítani. Az elemek oxidációja [FeO] közvetítésével és az oxidációs termékek elsalakulása az SM-eljáráshoz hasonlóan történik.

A jó minőségű acél gyártásának elengedhetetlen feltétele a fővés (v.ö. 2.1.) Mivel a betét karbon tartalma csekély, a CO keletkezéséhez valamilyen karbonhordozót (ált. kokszot) is be kell adni.

Az elektroacélgyártás során a kemencében az oxidációs periódus alatt megtörténik az oxigénhez a vasnál kisebb affinitású fémek beötvözése is (Mo, Ni, Co, Cu). Az oxidációs periódus végén a keletkezett salakot lehúzzák. A salak eltávolítása után a dezoxidáló periódusban redukáló salakot képeznek, Mész, folyópát és kokszpor keverékéből (diffúziós dezoxidálás). A további dezoxidálás Ferroötvözetekkel történik (kicsapásos dezoxidálás). Azokat az ötvözőfémeket, amelyek oxigénhez való affinitása a vasnál kisebb, a dezoxidáló periódus végén ötvözik be (Cr, V, Ti, Ce, Ta, B, Nb) azért, hogy kevés legyen az oxidos formában megkötődő veszteség.

Az ívfényes kemencében a betét megolvasztásához és az acélfürdő felhevítéséhez szükséges hőt elektródák közötti villamos ív termeli. Az indukciós kemencében a betét a benne gerjesztett középfrekvenciás váltóáram Joule-hője hatására olvad meg.

Az indukciós kemencében a fürdő állandó mozgásban van az indukált áram hatására, ez kedvez a gáztalanításnak. Az ívkemencében azonban a redukáló periódusban elmarad a fürdő fővése, így jelentős a fürdő gáztartalma. Ezt a káros gázok parciális nyomásának csökkentésével lehet elkerülni (ld. Sieverts-törvény, 1.1.5.).



6. ábra: Elektroacélgyártás a.) ívkemencében, b.) indukciós-kemencében.

#### 4.2.4. Különleges acélgyártó eljárások és finomító eljárások

A nemfémes zárványok és gázok, valamint a dúsulások rontják az acél több fontos tulajdonságát, ezért ezek mennyiségét csökkenteni kell a különleges igénybevételnek kitett acélok esetén. A metallurgiai folyamatok szerint három csoportba sorolhatók az acélfinomító eljárások.

A salak-fém reakción alapuló eljárások során a salak legkedvezőbb összetételével állítják be a kívánt reakciók optimális egyensúlyi helyzetét a megoszlási törvény (17) alapján. Így dolgoznak az elektrosalakos olvasztókemencék és a szintetikus salakos eljárások.

Az eljárások másik csoportjában elsősorban fizikai folyamatok érvényesülnek, amikor vákuumban vagy védőgázban olvasztják át az acélt, így csökkentve a gáz- és szennyezőtartalmát. Ide tartozik a vákuumos és a vákuumindukciós átolvasztás.

Az előző két eljárás kombinációi az egyidejűleg salakkal és vákuummal, vagy védőgázzal dolgozó eljárások. Ilyenek a plazmasugaras, plazmaíves, vákuumindukciós, vákuumíves elektrosalakos leolvasztási eljárások.

## 5. Felhasznált irodalom

Tylecote R.: *The prehistory of metallurgy*, London, 1986

Remport G.: *Magyarország vaskohászata az ipari forradalom előestéjén (1800-1850)*, Budapest, 1995  
Simon S., Sziklavári J., Szőke L.: *Újabb technológiai megoldások az acélgyártásban*, Budapest, 1978  
Csabalik Gy., Szarka Gy.: *Vaskohászattan I*, Budapest, 1985  
Artinger I., Csikós G., Krállics Gy., Németh Á., Palotás B.: *Fémek és kerámiák technológiája*, Budapest, 2000  
Szegeci J.: *Acélgyártás 1*, Budapest, 1984  
Szegeci J., Szabó Z.: *Acélgyártás 2*, Budapest, 1984  
Csabalik Gy.: *Acélgyártás 3*, Budapest, 1984  
Óvári A.: *Vaskohászati kézikönyv*, Budapest, 1985  
Farkas O.: *Nyersvasmetallurgia*, Budapest, 1989  
Pásztor G.: *Kémiai metallurgia*, Budapest, 1989  
The Metals Society: *Direct reduction of iron ore*, London, 1979  
Midrex: *Word direct reduction statistics*, 2009