



BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék



Anyag- és gyártástechnológia (PhD) féléves házi feladat

## **Az acélok szennyező anyagai**

Thiele Ádám  
WTOSJ2

Budapest, 2011

# Tartalomjegyzék

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Bevezetés</b> .....  | 3  |
| <b>2. Kén az acélban</b> .....                                       | 3  |
| <b>2.1. A kén bekerülése a nyersvasba</b> .....                      | 3  |
| <b>2.2. Az acélban lévő kén hatása</b> .....                         | 4  |
| <b>2.3. A kén eltávolítása a nyersvasból</b> .....                   | 5  |
| 2.3.1. <i>A kén eltávolítása a nyersvasból nagyolvasztóban</i> ..... | 5  |
| 2.3.2. <i>A nyersvas üstmetallurgiai kéntelenítése</i> .....         | 6  |
| 2.3.3. <i>Az acél kéntelenítése az acélgyártás során</i> .....       | 6  |
| <b>3. Oxigén az acélban</b> .....                                    | 7  |
| <b>3.1. Az oxigén bekerülése az acélba</b> .....                     | 7  |
| <b>3.2. Az acélban lévő oxigén hatása</b> .....                      | 7  |
| <b>3.3. Az acél dezoxidálása</b> .....                               | 8  |
| 3.3.1. <i>Kicsapásos dezoxidálás</i> .....                           | 8  |
| 3.3.2. <i>Diffúziós dezoxidálás</i> .....                            | 8  |
| 3.3.3. <i>Dezoxidálás vákuumban</i> .....                            | 9  |
| <b>4. Foszfor az acélban</b> .....                                   | 9  |
| <b>4.1. A foszfor bekerülése a nyersvasba</b> .....                  | 9  |
| <b>4.2. Az acélban lévő foszfor hatása</b> .....                     | 10 |
| <b>4.3. Az acél foszfortalanítása</b> .....                          | 11 |
| <b>5. Hidrogén az acélban</b> .....                                  | 12 |
| <b>5.1. A hidrogén bekerülése az acélba</b> .....                    | 12 |
| <b>5.2. Az acélban lévő hidrogén hatása</b> .....                    | 13 |
| <b>5.3. A hidrogén eltávolítása az acélból</b> .....                 | 13 |
| <b>6. Nitrogén az acélban</b> .....                                  | 13 |
| <b>6.1. A nitrogén bekerülése az acélba</b> .....                    | 13 |
| <b>6.2. Az acélban lévő nitrogén hatása</b> .....                    | 13 |
| <b>6.3. A nitrogén eltávolítása az acélból</b> .....                 | 14 |
| <b>7. Felhasznált irodalom</b> .....                                 | 14 |

## 1. Bevezetés

Az acélok szennyező anyagai közé soroljuk azokat a nem kívánatos elemeket, amelyek a gyártási folyamat valamely szakaszában (nyersvasgyártás, acélgyártás, további feldolgozás) akaratunk ellenére kerülnek az acélba. Ilyen szennyező anyagoknak számíthatjuk a S, P, O, N, H elemeket.

Jelen dolgozat az acélok szennyező anyagainak három szempontból tárgyalja. Az acélba az adott anyag:

1. Hogyan kerül bele?
2. Mit okoz?
3. Hogyan távolítható el?

## 2. Kén az acélban

### 2.1. A kén bekerülése a nyersvasba

A kén a nyersvasgyártás során kerül a nyersvasba. A nagyolvasztóban a kénbevitelt 70-90%-ban a koks okozza FeS alakban, az ércel és a salakképzőkkel bevitt kénmennyiség kb. 5-10% (a nyersérc zsugorítópörkölése vagy pelletezése során az elegyalkotók kéntartalma java részben eltávozik).

A koks kéntartalmának jelentős részét a fúvósél oxigénje égeti el:



A keletkezett kéndioxidot a koks karbonja bontja:



A molekuláris, gáz halmazállapotú kén felfelé áramlása közben részben a nyersvasba, részben a salakba kerül. A kén a nyersvasban oldódik és vasII-szulfidot képez:



A nyersvas várható kéntartalma a következő képlettel számítható:

$$[S] = \frac{0,1S_b}{1 + L_s G_s \cdot 10^{-3}} \quad (\%) \quad (4)$$

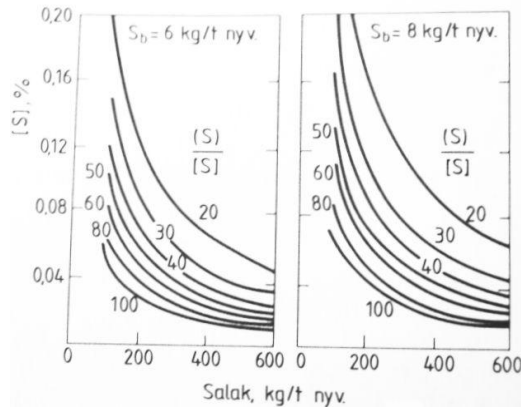
Ahol:  $[S]$  - a nyersvas várható kéntartalma (%)

$S_b$  - kénbevitel (kg/t nyv)

$L_s = \frac{(S)}{[S]}$  - a kénnek a salak és a nyersvas közti megoszlása

$G_s$  - salakmennyiség (kg/t nyv)

Az 1. ábra a nyersvas kéntartalmát mutatja a fajlagos salakmennyiség függvényében különböző kénmegoszlás és fajlagos kénbevitel mellett.

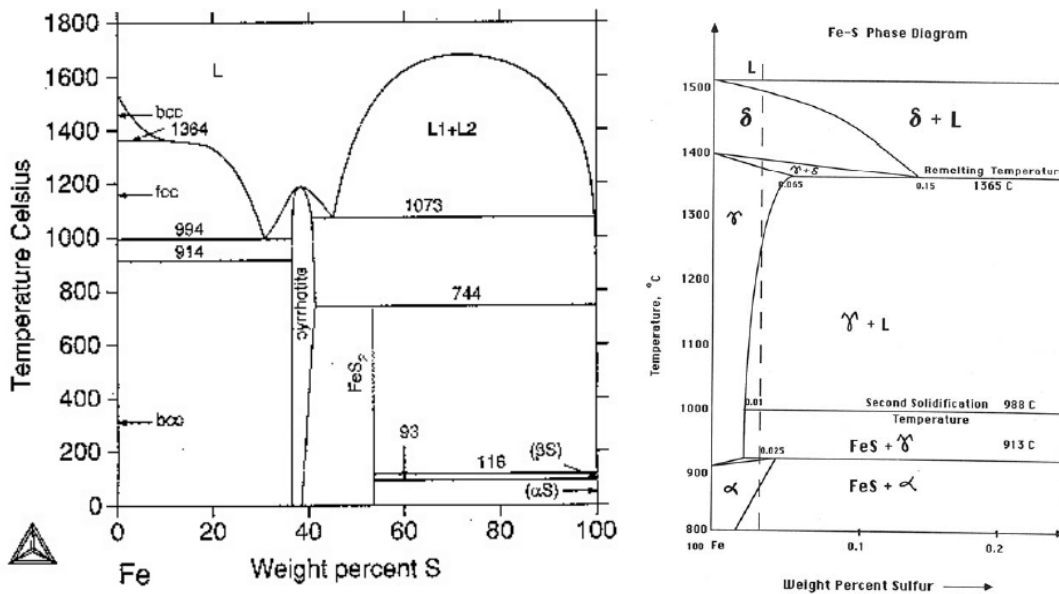


1. ábra: A nyersvas kéntartalma a fajlagos salakmennyiség függvényében különböző kénmegoszlás és fajlagos kénbevitel mellett.

A diagramokból kiolvasható, hogy a fajlagos salakmennyiség növelése, azonos kénmegoszlás esetén, annál jobban csökkenti a nyersvas kéntartalmát, minél nagyobb a fajlagos kénbevitel.

## 2.2. Az acélban lévő kén hatása

A vas-kén állapotábrát a 2. ábra mutatja be.



2. ábra: Fe-S állapotábra (balra) és a gamma-Fe mező az állapotábrában (jobbra)

A kén az acél vöröstörekenységét és melegtörekenységét okozza.

A vöröstörés a 0,03%-nál nagyobb S-tartalmú acélok kovácsolásánál és hengerlésénél következik be. A kén jelenlétében keletkező vasszulfid (FeS) a vassal eutektikumot alkot (Fe-FeS), melynek az olvadáspontja 988°C, sőt vasoxidul (FeO) jelenlétében még alacsonyabb. Az eutektikum 90%-át vasszulfid alkotja, amely a szemcsék határán, az eutektikum helyén összefüggő hártaként kristályosodik ki. A repedést a hengerlési, kovácsolási hőfokon ennek a hártának a megömlése okozza.

Melegtörés a vasszulfid 1200°C körüli megömlésével következik be.

A kén 0,1% felett hideg állapotban is okoz törékenységet, ezért automata acélokba 0,15-0,3%-os mennyiségben ötvözik. Hatására megszűnik a forgács elkenődési veszélye, és az össze is töredezik.

## 2.3. A kén eltávolítása a nyersvasból

### 2.3.1. A kén eltávolítása a nyersvasból nagyolvasztóban

A nyersvas kéntelenítése már a nyersvasgyártás során a nagyolvasztóban megkezdődik a salak közreműködésével. A nagyolvasztói kéntelenítési folyamatok során a vasban oldott kéntartalom az alábbi kéntelenítő reakcióban vehet részt:



Amelynek egyensúlyi állandója:

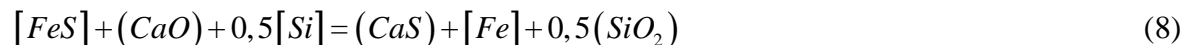
$$K = \frac{a_{(MeS)} a_{[FeO]}}{a_{[FeS]} a_{(MeO)}} \quad (6)$$

Ebből az következik, hogy a kéntelenítés akkor hatásos, ha a MeS jól oldódik a salakban, a MeO aktivitása nagy, a FeO aktivitása pedig kicsi.

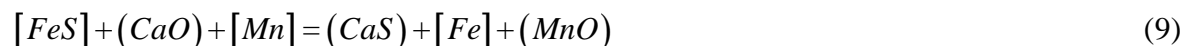
A kéntelenítési folyamatban minden olyan elem szóba jöhet, amelynek szulfidképződési standard szabadentalpia-változása negatívabb, mint a FeS képződésé. A nyersvasmetallurgiában a kalcium a leghatásosabb és legnagyobb mennyiségben jelen lévő kéntelenítő elem, amely azonban nem elemi formában, hanem oxidként található a salakban. Ahhoz, hogy a kéntelenítési reakció végbemehessen, – a (6) szerint  $a_{[FeO]}$  minél kisebb legyen – a keletkezett FeO-nak redukálódni kell. A redukción végezheti a vasban oldott karbon:



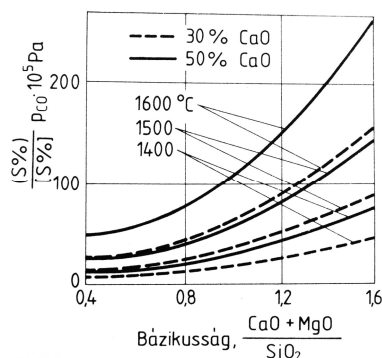
a vasban oldott szilícium:



és a vasban oldott mangán:



A kéntelenítésre e mellett jelentős hatással van a salak bázikussága és a hőmérséklet (ld. 3. ábra).



3. ábra: A kénmegoszlás változása C-nal telített vasolvadék és 10-20%-os  $Al_2O_3$  tartalmú nagyolvasztósalakok között, adott CaO-tartalom mellett, a bázikusság függvényében

A diagramokból leolvasható, hogy adott  $p_{CO}$  (CO parciális nyomás) esetén a salak bázikusságának hatása a kéntelenítésre a hőmérséklet emelkedésével egyre növekszik. A (7) egyenlet szerint a  $p_{CO}$  növekedése a kéntelenítési folyamatokat gátolja.

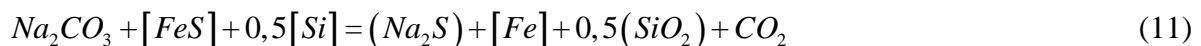
A nagyolvasztói kéntelenítésnek kokszfogyasztást növelő és termelést csökkentő hatása miatt a nyersvas kéntelenítésére üstmetallurgiai módszereket fejlesztettek ki.

### 2.3.2. A nyersvas üstmetallurgiai kéntelenítése

A nyersvas üstmetallurgiai kezelése alapvetően a kéntelenítést szolgálja. Sok üzem a teljes nyersvas mennyiséget üstmetallurgiai úton kénteleníti, pl. 0,005-0,0012% S-tartalomra.

A nyersvas üstmetallurgiai kéntelenítésére azok az elemek alkalmasak, amelynek szulfidképződési standard szabadentalpia-változása negatívabb, mint a FeS képződésé (vö. 2.2.1. szakasz). Gyakorlati szempontból a következő elemek jöhetnek szóba: Na, Ca, Mg,  $Na_2CO_3$ , CaO és  $CaC_2$ .

$Na_2CO_3$ -dal történő kéntelenítés esetén a következő reakció megy végbe:



Az eljárást akkor előnyös, ha nagy S-tartalmú nyersvas durva kéntelenítése (kb. S%=0,02), előkéntelenítése szükséges.

CaO-val történő kéntelenítés esetén a már ismertetett (7)-(9) reakciók mennek végbe. Az eljárás szintén főleg a durva kéntelenítésre alkalmas. Csökkenti a nyersvas kémiai hőtartalmát, amelyre az acélgyártás során lenne szükség, a csökkenő C- és Si-tartalom következtében.

A  $CaC_2$ -dal történő elterjedt kéntelenítés esetén a következő reakció megy végbe:



A  $CaC_2$ -dal történő kéntelenítés során általában nem tiszta  $CaC_2$ -ot, hanem 12% CaO-tartalmú, vagy 20%  $CaCO_3$ -tartalmú keveréket használnak. Az elérhető minimális kéntartalom S%=0,005.

A Mg-mal történő kéntelenítés esetén a következő reakció megy végbe:



Az elérhető minimális kéntartalom S%=0,002.

A kéntelenítési hatásfok növelésére és egyes kéntelenítő reagensek hátrányos tulajdonságainak kiküszöbölésére a kéntelenítés történhet komplex reagensekkel is.

### 2.3.3. Az acél kéntelenítése az acélgyártás során

Ha az acélfürdő csak vasat és kenet tartalmazna, akkor a kén oxidációja nem lenne lehetséges az acélfürdőből, mert a vas oxigénhez való vegyrokonsága nagyobb a kéné. Az acélgyártásban két lehetőség adódik a kéntelenítésre. Az acélfázis kéntartalmának eltávolítása történhet fémmel, vagy a salakfázis fénoxid tartalmával.

A fémmel történő kéntelenítés esetén olyan elemek jöhetnek szóba, amelyeknek a kénhez való vegyrokonsága nagyobb, mint a vasé. A szulfidképző elemek közül csak a mangán, az acél egyik kísérőeleme áll rendelkezésre, mert az acélfázisba nem lehetséges a többi szóba jöhető

színfém elem beadagolása (Mg, Na, Ca, Ce) ugyanis ezek az oxigénhez is erős vegyrokonságot mutatnak, így a fémfázisban hamar oxidálódnának. A Mn-nal történő kéntelenítő reakció:



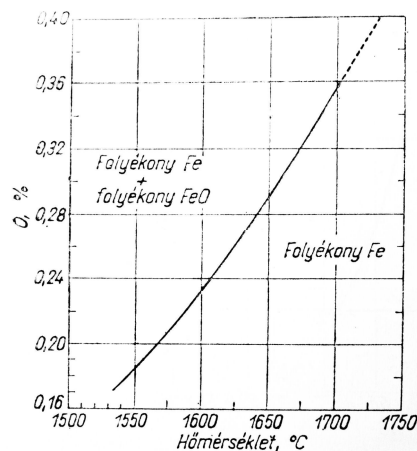
A Mn-nal történő kéntelenítés során vasszulfid helyett mangánszulfid keletkezik, amely a vas olvadáspontja fölött, 1620°C-on olvad meg. Kristályosodáskor nem hálószerűen jön létre, mivel az olvadékból hamarabb kristályosodik, mint a fémes fázis, így szemcsehatár menti repedést nem okozhat. A MnS azonban a ként csak kedvezőbb alakban, mint a FeS, de továbbra is nemkívánatos nemfémes zárványok alakjában tartalmazza.

A salakfázis fénoxid tartalmával történő kéntelenítés esetén az üstmetallurgiai kéntelenítéshez hasonlóan kéntelenítenek (ld. 2.3.2. szakasz). A salakhoz elsősorban CaO-ot adagolnak.

### 3. Oxigén az acélban

#### 3.1. Az oxigén bekerülése az acélba.

Az oxigén az acélgyártás frissítési periódusában kerül bele az acélba. Azért, hogy az acélfürdőben oldott kísérő elemek oxidációja kellő sebességgel menjen végbe, az oxidálószer feleslegben történő adagolása szükséges. Az oxigén az olvadt vasban kis, 0,23%-os mennyiségben oldódik. Ha a vas O-tartalma az oldhatóság határát meghaladja, akkor különálló folyékony FeO-fázis válik ki. A 4. ábra az O oldódását mutatja tiszta vassfürdőben.



4. ábra: az O oldhatósága tiszta vassfürdőben a hőmérséklet függvényében

#### 3.2. Az acélban lévő oxigén hatása

A frissítés után az acél túlzottan nagy mennyiségű oxigént tartalmaz, többet, mint amennyit szilárd állapotban oldani képes. Az O az acélban ridegséget okoz, már 0,1% O jelenléte is jelentősen csökkenti az ütőmunkát. A folyékony vasban az oldott oxigéntartalom már igen kis mennyiségben is FeO-ként van jelen. Szobahőmérsékleten az O a ferritben szinte nem oldódik (912°C-on is max. 0,0002% egyensúlyi körülmények között), ezért nagyrészt oxidzárványként jelenik meg. A káros oxigénmennyiséget csökkenteni kell, vagy kevésbé káros oxidok formájában kell megkötni.

Az acélban oldott állapotú O a N-nel együtt az acél öregedését és lúgos elridegedését okozhatja. Az oxidzárványok hatása viszont attól függően változik, hogy olvadáspontjuk milyen hőfokú. A kovácsolás hőfokának megfelelő olvadáspontú salakzárványok a vasszulfidhoz hasonlóan vöröstörékenységet okozhatnak. Nagyobb hőfokon olvadó

salakzárvány a hengerlés során, a hengerlési irányban elnyúlt füzérekben helyezkedik el. Lehűléskor ezekre a füzérekre kristályosodhat a proeutektoidos ferrit is, és ezzel a ferrit-perlites szövetszerkezetű acélt is ilyen soros szerkezetűvé teszi. Az ilyen szövetszerkezetű acélban a hengerlési és az arra merőleges irányban különbözőek lesznek a szilárdsági és nyúlási tulajdonságai. Az acélban előforduló oxidzárványok lehetnek: FeO, MnO, csillapított acélban még lehet: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> valamint összetett, úgynevezett komplex zárványok is. Az FeO a vassal eutektikumot alkot, ez az eutektikum a kristályhatárokon rideg burokként dermedhet meg (megfelelő O-tartalom felett), amely ridegíti az acélt.

### 3.3. Az acél dezoxidálása

#### 3.3.1. Kicsapásos dezoxidálás

A kicsapásos dezoxidálás lényege, hogy az acélfürdőben oldott oxigént (vagy FeO-t), olyan elemmel kötik meg, amelynek 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 ferroötvözetek, az Al-t legtöbb esetben tiszta fém formájában használják.

Az adagolt dezoxidáló szerek alapján megkülönböztetünk:

- Csillapítatlan acélt: csak Mn-nal és Si-al dezoxidált. Ezekben az acélokban még marad oxigén, dermedéskor a karbontartalom hatására CO keletkezik.
- Félig csillapított acélt: Mn-nal, Si-mal és Al-mal dezoxidált, de nincs a fémes mátrixban oldott Al,
- csillapított acélt: Mn, Si, Al és esetleg egyéb dezoxidáló szerekkel kezelt és a fémes fázisban marad oldott alumínium (általában 0,01% nagyságrendben). Az ilyen acélok esetén dermedéskor nincs CO fejlődés.

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:

$$v = \frac{2g}{9\eta} (\rho_{\text{fürdő}} - \rho_{\text{zárvány}}) r^2 \quad (16)$$

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

#### 3.3.2. 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 fűrdőbe. A vasnak a salakból a fémfűrdőbe való visszaredukációjára 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 acélfűrdőbe, 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 acélfűrdőből, azonban a diffúziós dezoxidáció túl lassú, ezért általában összekapcsolják a kicsapásos dezoxidációval.

### 3.3.3. 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  $p_{CO}$  csökkenésével jelentősen csökken. Az elérhető legkisebb szorzatérték kb.  $2 \cdot 12 \cdot 10^{-12}$ , amely  $10^{-3} \cdot 10^{-4}$  torr  $p_{CO}$  esetén érhető el. Ez azt jelenti, hogy  $O\% = 0,001 \cdot 0,002$  és  $C\% = 0,002 \cdot 0,006$ . A  $p_{CO}$  értéke argonbefűvéssel is csökkenthető (AOD acélgártás)

## 4. Foszfor az acélban

### 4.1. A foszfor bekerülése a nyersvasba

A foszfor a nyersvasgyártás során a vasércből kerül nyersvasba. A P nem fordul elő a betétanyagokban szabad állapotban, hanem vivianitban ( $Fe_3P_2O_8$  vagy  $3FeO \cdot P_2O_5$ ) vagy apatitban ( $Ca_3P_2O_8$  vagy  $3CaO \cdot P_2O_5$ ) jelenik meg.

Az apatit redukciója a



reakcióegyenlet szerint – a keletkezett foszfor gőz 1 bar-os parciális nyomásán – csak  $1360^\circ C$ -os hőmérsékleten indul meg. A  $p_p$  csökkenésével a redukció könnyebben lejátszódik. Pl.

$p_p = 0,001 \text{ bar}$  esetén a redukció kezdőhőmérséklete  $1270^\circ C$ -ra csökken.

A  $SiO_2$  jelenléte a  $P_2O_5$ -ot szabadabbá teszi az apatit kötésből:

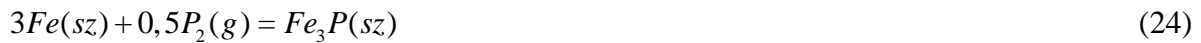


A szabaddá vált  $P_2O_5$  redukciója a következő egyenlet szerint megy végbe:



A reakció erősen hőfogyasztó. A reakció szabadentalpia-változása a reagensek és a termékek parciális nyomásától is függ, mert a reakcióban gázok vesznek részt. A (23) egyenlet alapján megállapítható, hogy minél nagyobb a  $p_{P_2O_5}$  (azaz minél kevésbé van a  $P_2O_5$  kötött állapotban), és minél kisebb a  $p_P$  (azaz minél több P oldódik a vasban), az egyenlet annál inkább a  $P_2O_5$  redukciója irányába játszódik le.

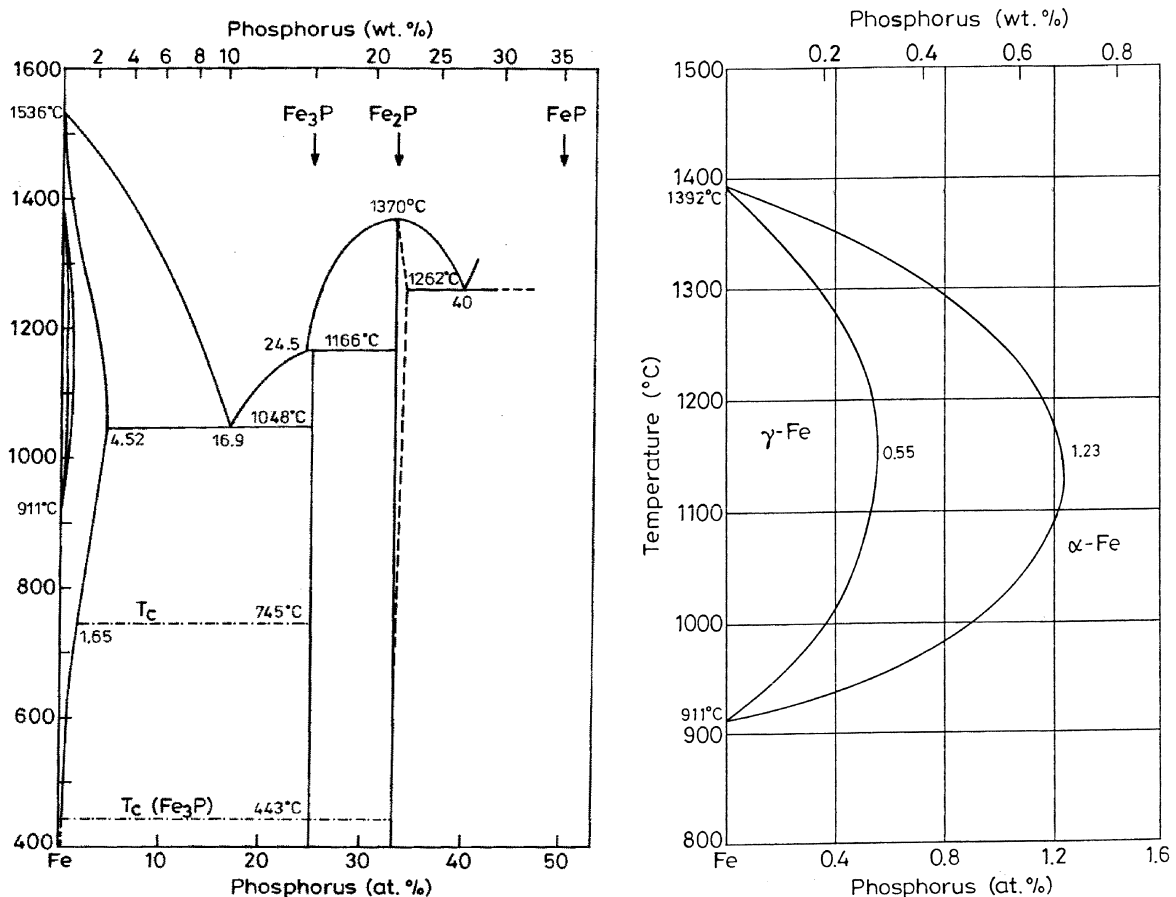
A  $P_2O_5$  redukciójának feltételei a nagyolvasztóban teljes mértékben adottak, és a redukálódott P gyakorlatilag teljes mennyisége beoldódik a nyersvasba, a nyersvas foszfortartalmát tehát a vasérc foszfortartalma határozza meg. A foszfor a vassal több vegyületet hozhat létre, amelyek közül a vas-foszfid képződése a legfontosabb:



A nyersvas foszfortartalmának csökkentésére nagyolvasztón kívüli eljárások fejlődtek ki.

#### 4.2. Az acélban lévő foszfor hatása

Az 5. ábra a vas-foszfor állapotábráját mutatja.



5. ábra: Fe-P állapotába (balra) és a gamma-Fe mező az állapotábrában (jobbra)

A foszfor a vasban szubsztitúciósan oldódó ferritképző elem. Nagyobb foszfortartalom az acél képlékenységét, szívósságát csökkenti. A foszfor ridegítő hatású és durva szövetszerkezetet hoz létre már 0,07wt% felett. Szívósságot csökkentő hatása miatt nagyon ritkán alkalmazzák ötvözőként, általában szennyezőnek minősül. Szerkezeti acélokban általában a megengedett legnagyobb mennyisége 0,01-0,05%. Ötvözőként növeli a folyáshatárt, az átedzhető szelvényátmérőt, és az ún. automataacéloknál a kénnel együtt javítja a forgácsolhatóságot, mivel a forgácsot töredezővé teszi. A foszfor az időjárás álló acélokban is előfordul ötvözőelemként.

A vasban oldott foszfor rontja a kovácshegeszthetőséget és növeli a keménységet. A szilárdságnövekedés mértéke 1at% oldott foszfor esetén  $\Delta R_{p0,2} = 280\text{Mpa}$ .

A foszfor oldhatósági határa alfa-Fe-ban 2,8wt%, e felett 1048°C olvadáspontú 10,5wt%P-tartalmú alfa-Fe – Fe<sub>3</sub>P eutektikum megjelenésével kell számolni. A szemcsék közötti eutektikum a kovácsolási hőmérsékleten megolvad, ezáltal melegtörekenységet okoz. A foszfor oldhatósága szobahőmérsékleten 0-ra csökken, a foszfor Fe<sub>3</sub>P alakban kiválik a szemcsehatárokon (vö. 5. ábra baloldala), ezzel magyarázható a foszfor ridegítő hatása. Könnyen keletkezhet túltelített szilárd oldat.

### 4.3. Az acél foszfortalanítása

A nyersvas foszfortartalmának csökkentése már a nyersvas csapolásakor, a csapolócsatornában megkezdődik. A használatos reagens főleg reve, mész és folyópát meghatározott arányú keveréke, amit a csapolócsatorna elején vezetnek az áramló nyersvasba. Ezzel a módszerrel 0,03%-nál kisebb P-tartalom nem érhető el.

A foszfor nagyobb mértékű eltávolítása csak az acélglyártás során lehetséges. Mivel a foszfor az acél tulajdonságait hátrányosan befolyásolja, így minden acélglyártási technológia elsődleges feladata a foszfortalanítás. A foszfor kioxidálódására az acélfürdőből három lehetőség van.

Oxidáció az oxidáló gázok oxigéntartalmával:



A salakfázis FeO tartalmával:



A fémfázisban oldott oxigénnel:



A keletkező P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a salakba kerül. A savas kémhatású P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a salak bázikus oxidjaival reagál. A salak P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalmának megkötése elsősorban CaO-dal történik:



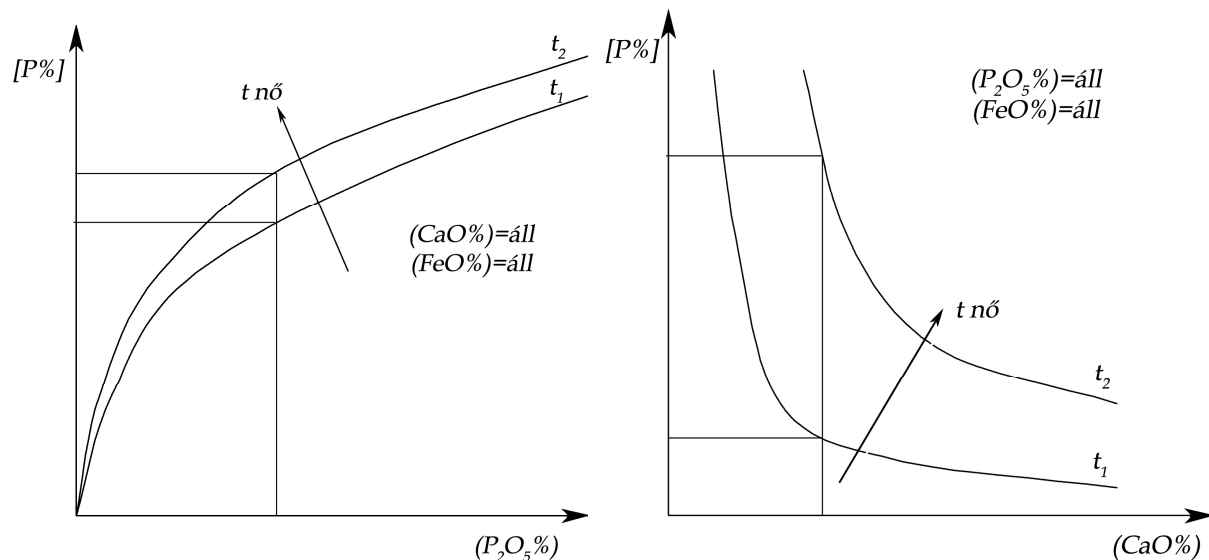
Ha a salak savas kémhatású, akkor benne a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> szabad állapotban marad, a pillanatnyilag keletkező P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ot a fémfázis C, Mn és Si tartalma foszforra redukálja, tehát nem következhet be a foszfor elsalakulása.

Az acélméltallurgiában a folyékony fémfázis P-tartalma az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$[P\%] = K_{(14)} \frac{\sqrt{(P_2O_5\%)}}{(CaO\%)^2 \cdot \sqrt{(FeO\%)^5}} \quad (29)$$

Ahol:  $K_{(14)}$  - a (14) reakció adott hőmérsékleten vett egyensúlyi állandója

Az acél foszfortartalma tehát a salak szabad  $P_2O_5$ -tartalmával és az egyensúlyi állandón keresztül a hőmérséklettel egyenesen, a salak szabad FeO- és a szabad CaO-tartalmával pedig fordítottan arányos. A vasfázis foszfortartalmának a salakfázis  $P_2O_5$ - és CaO-tartalmával való változását a hőmérséklet függvényében a 6. ábra mutatja.



6. ábra: A vasfázis foszfortartalma a salakfázis  $P_2O_5$ -tartalma (baloldalon) és CaO-tartalma (jobbaldalon) közötti összefüggés.

## 5. Hidrogén az acélban

### 5.1. A hidrogén bekerülése az acélba

Az acélok H felvételi forrásai a következők lehetnek:

- az acélgártás betétanyagainak nedvesség tartalma
- az acélgártás betétanyagainak H-tartalma
- gázfázis H-tartalma
- Kemencefalazat, öntőszerelvények

A vízgőz a folyékony vassal érintkezve a következő egyenlet szerint reagál:



A keletkező H a fémfázisba beoldódik.

A H felvételi források közül a gázfázis a legjelentősebb. A folyékony fém csapolás és öntés közben a levegővel történő érintkezésekor annak nedvességtartalmával reagál és jelentős mennyiségű H-t vesz fel.

A Siemens-Martin acélgártásnál a kemence atmoszférájának nagy nedvességtartalma a szénhidrogének elégségből származó vízgőzből ered. A vízgőz a salak FeO-tartalmával reagál:



Az így keletkező H a salakból a fémfázisba diffundál.

Az acélokba a H maratásos eljárások (mint pl. reveréteg lemaratása, pácolás) és hegesztés során (pl. nedves hegesztőporból) is bekerülhet.

## **5.2. Az acélban lévő hidrogén hatása**

Az acélban interstíciósan oldott alakban jelenhet meg. Oldott állapotban elektronját leadja, így a proton méretű hidrogén diffúziós úthossza sokkal nagyobb a többi gázhoz képest. Az acél a hőmérséklet csökkenésével mind kevesebb H-t tud oldani. A hidrogén egy része az acélban bennreked. A H az acél keménységét növeli, nyúlását csökkenti, tehát ridegítő hatású. Az oldott H a diszlokációk expandált zónájában gyűlik össze. Kellő mennyiségű hidrogén csoportosulása esetén ismét felveszi elektronjait, és a keletkező H<sub>2</sub> gáz miatt helyileg akár 10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> bar nyomás is keletkezhet. Ez repedéseket indíthat el, ún. pelyhességet, vagyis a törésfelületen fénylő, foltosságok okoz (Cr és Cr-Ni acéloknál lehet gyakori).

## **5.3. A hidrogén eltávolítása az acélból**

Az acélok gáztartalmának csökkentésére az acélgyártás során a fővetési fázis áll rendelkezésre. A folyékony fém gáztartalmát ugyanis a fémfürdőn áthaladó CO jelentősen csökkenti. A H-tartalom csökkentésére a következő módszerek lehetségesek:

- Argonozás
- A folyékony acél vákuumozása
- Az acéltermék átolvasztása

A folyékony acél argonnal történő átöblítéskor a gáztartalom a fővetéshez hasonló módon csökken. A vákuumozás során az olvadt acélt vákuumtérbe helyezik, ahol a Sieverts-törvény (megoszlási törvény) értelmében gáztalanítják, azonban ez soha nem megy végbe az egyensúlyi határig. A vákuumozás során a fémfürdő ismét fővésbe jön, a gáztartalom eltávolítását ez is elősegíti.

## **6. Nitrogén az acélban**

### **6.1. A nitrogén bekerülése az acélba**

Az acélgyártás folyamán 0,001– 0,03% mennyiségben kerül az acélba. Az acélok N felvételi forrásai a következők lehetnek:

- Gázfázis N-tartalma
- Oxidáló pótlék (levegő)
- Betétanyag

A gázfázisból történő N felvétel csapolás és öntés közben történik. A folyékony fém ekkor igen nagy felülettel érintkezik a levegővel és nagymennyiségű gáz képes felvenni.

A N-felvétel szintén jelentős lehet, ha az oxidáló pótléket levegő formájában adagolják.

A betétanyagok közül első sorban a folyékony nyersvas és a karbonizáló anyagok nitrogéntartalma jelentős.

### **6.2. Az acélban lévő nitrogén hatása**

Interstíciósan oldódik a ferritben. Öregedésre és elridegedésre hajlamossá teszi az acélt.

Az öregedés folyamatában a N-atomok a diszlokációk expandált helyein gyűlnek össze, akadályozzák a diszlokációk mozgását, és ezzel a képlékeny alakváltozást. A mechanikai tulajdonságokban ez úgy jelentkezik, hogy a szilárdsági értékek növekednek (R<sub>m</sub>, R<sub>eH</sub>), míg az alakváltozási jellemzők értékei (A, Z) lecsökkennek. A ridegedést az ütőmunka (KV) jelentős csökkenése is jelzi. Csillapítatlan acélnál az öregedési folyamat hatásai kb. 3 hónappal a gyártás után jelentkeznek. Ezért öregedésre hajlamos acél nagy dinamikai igénybevételnek kitett alkatrészek készítésére teljesen alkalmatlan. A nitrogén öregedést okozó

hatása már 0,006% felett észrevehető, ezért öregedésálló lágy acélokban 0,01%-nál több nitrogén nem lehet.

A lúgos elridegedést, ill. az interkrisztallin korróziót szintén a N-szennyezés okozza. Jelentkezhet ez a hiba az O-szennyezés hatására is. A lágyacélok, marólúgok vagy sóoldatok hatására szemcsehatárok mentén korrodálódnak. Az öregedés és lúgos elridegedés hajlama megelőzhető Al- és Ti-ötvözéssel.

Hasznos a N az acélban, ha ezt korrózióvédelem vagy kopásállóság növelése céljából az ún. nitridálás során diffundáltatják a felületébe. Tágítja a  $\gamma$ -mezőt is, és mint ilyen ötvözőelem az ausztenites Cr-Ni acélokban Ni helyettesítésére is alkalmas (0,2%-N 2–4% Ni-t helyettesít).

A N-nek szemcsefinomító hatása is van, ugyanis az acél dermedésekor a nehezen olvadó nitritek csíráképzőként szolgálnak.

### **6.3. A nitrogén eltávolítása az acélból**

Az acélok N-tartalmának csökkentésére elterjedt módszerek:

- Nitridképző elemek beötvözése
- A H-tartalom csökkentésére szolgáló eljárások (ld. 5.3. szakasz)

Az acélban atomosan oldott N nitridképző elemekkel megköthető. A keletkezett nitridek az acélban oldhatatlan fázisként jelennek meg. Nitridképző elemek: Al, Ti, Zr. Ezek közül főleg az Al-ot használják nitridképzőként olcsósága miatt.

## **7. Felhasznált irodalom**

Szegedi J.: *Acélgégyártás 1*, Budapest, 1984

Szegedi J., Szabó Z.: *Acélgégyártás 2*, Budapest, 1984

Csabalik Gy.: *Acélgégyártás 3*, Budapest, 1984

Óvári A.: *Vaskohászati kézikönyv*, Budapest, 1985

Farkas O.: *Nyersvasmetallurgia*, Budapest, 1989

Simon S., Sziklavári J., Szőke L.: *Újabb technológiai megoldások az acélgégyártásban*, Budapest, 1978

Csabalik Gy., Szarka Gy.: *Vaskohászattan 1*, Budapest, 1985

Zorkóczy B.: *Metallográfia és anyagvizsgálat*, Budapest, 1968

Tisza M.: *Metallográfia*, Miskolc, 1998