



Acélszerkezetek (I.)

1. előadás

Nyersvas– és acélgyártás

Szabó Imre Gábor

Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar

ÉpítőmérnökTanszék



1. Mi az acél?

Nincs egységes megfogalmazás:

- Olyan fémötvözet, amiben legnagyobb arányban a vas van jelen. A vas egyik legfontosabb ötvözete, fő ötvözője a szén, melyből 2% alatti (tömegszázalékban értendő) mennyiséget tartalmaz, ez alól kivételek a korlátozott számú króm acélok.
- Ide sorolható minden műszaki vas-szén ötvözet, melyre
 - a széntartalom aránya 0% és 2,06% között van,
 - valamint a többi elem lényegesen alacsonyabb arányban van jelen benne a vasnál.



2. Acélok ötvözői

A szén mellett sok más elemet is szokás használni ötvözőként, ezen elemek használatával lehet létrehozni a különböző felhasználási célokra leginkább megfelelő acélfajtákat.

Az acél tulajdonságai változtathatók az ötvözők mennyiségének és minőségének (fajtáinak) módosításával, például ilyen tulajdonságok:

- keménység,
- rugalmasság,
- hajlékonyság,
- alakíthatóság,
- szilárdság,
- hőállóság,
- savállóság,
- korróziómentesség, korrózióállóság,
- hegeszthetőség.

2.1 Néhány jellemző ötvözőelem:

Nikkel (Ni):

- növeli az acél szilárdságát és keménységét,
- növeli az olvadáspontot,
- hőálló acélt eredményez.



1. kép. Körülbelül 3 cm-es nikkeldarab [www.wikipedia.org]

Mangán (Mn):

- a nikkelnél felsoroltakra alkalmas.



2. kép. Mangándarab [www.wikipedia.org]

Vanádium (V):

- növeli az acél keménységét,
- javítja a kifáradással szembeni ellenállást.



3. kép. Vanádiumdarabok [www.businessnews.com]

Króm (Cr):

- nagy hőmérsékleten is kevésbé oxidálódóvá teszi az acélt, ami hőálló acéloknál jelentős,
- szép felületet eredményez.



4. kép. Krómdarabok [www.wikipedia.org]

Alumínium (Al):

- a krómnál felsoroltakra alkalmas.



5. kép. Alumíniumdarab [www.wikipedia.org]

Szilícium (Si):

- a krómnál felsoroltakra alkalmas.



6. kép. Szilíciumdarab [www.rieth.hu]

Volfrám (W):

- az ún. gyorsacélok létrejöttét biztosítja (a gyorsacélok alkalmasak pl. nagy teljesítményű forgácsolószerszámok készítésére).



7. kép. Volfrámdarab [www.wikipedia.org]

Nagy mennyiségű króm és nikkel:

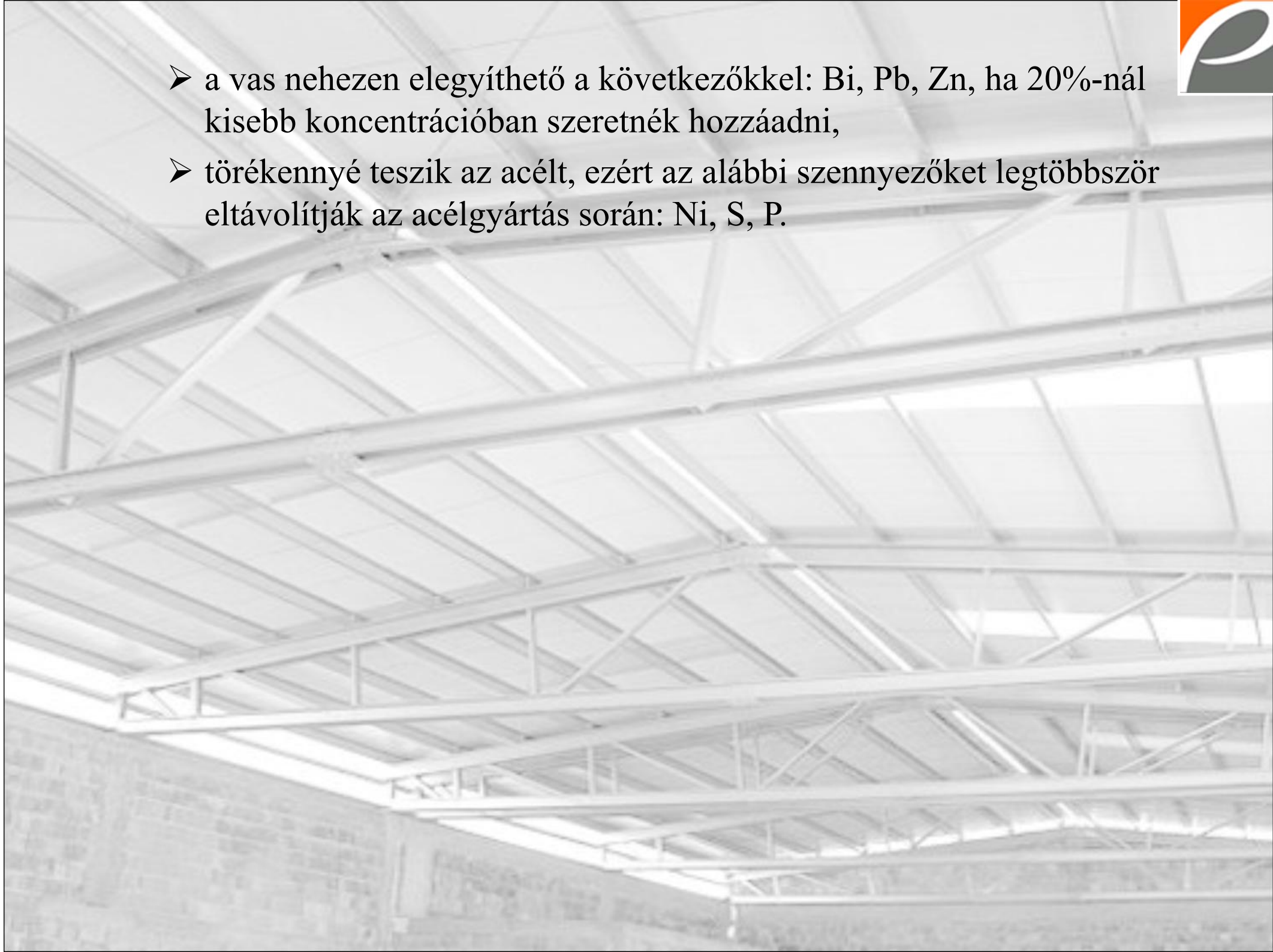
- rozsdamentessé teszi az acélt,
- savállóvá is teszi.

Az ötvözéshez nem vagy nem jól használható elemek:

- a vas nem ötvöződik a periódusos rendszer elemei közül az alábbiakkal: nemesgázok, halogének, alkáli fémek, alkáli földfémek, némely kis forráspontú fém pl. Hg, Cd, Mg, Ag,



- a vas nehezen elegyíthető a következőkkel: Bi, Pb, Zn, ha 20%-nál kisebb koncentrációban szeretnék hozzáadni,
- törékennyé teszik az acélt, ezért az alábbi szennyezőket legtöbbször eltávolítják az acélgyártás során: Ni, S, P.





3. Acéltermelés napjainkban

Világszerte évente mintegy 1,6 milliárd tonna acélt gyártanak, így az acél messze a legelterjedtebb, legsokrétűbb felhasználású fémes anyag.

Az acél az ipar egyik legfontosabb anyaga, előállításával az acélkohászat foglalkozik, képlékeny alakítással (kovácsolás, hengerlés, kisajtolás stb.), hidegen és melegen megmunkálható, tulajdonságai hőkezeléssel tovább alakíthatók.

Acéltermelés országonként az egyes években, ezer tonnában megadva								
Helyezés	Ország\Év	1970	1980	1990	2000	2007	2010	2013
1.	Kína	18.144	37.121	66.349	128.500	573.567	731.040	821.990
-	EU	192.588	208.000	192.129	194.154	139.300	168.580	166.208
2.	Japán	93.322	111.395	110.339	106.444	87.534	107.232	110.595
3.	USA	119.307	101.456	89.726	101.803	58.196	88.695	86.878
4.	India	6.276	9.514	12.963	26.924	63.527	77.264	81.299
5.	Oroszország	65.835	84.040	87.735	59.136	60.011	70.426	68.856
6.	D-Kórea	481	8.558	23.125	43.107	48.572	69.073	66.061
7.	Németország	50.466	51.146	43.980	46.376	32.670	42.661	42.645
8.	Törökország	1.312	2.536	9.443	14.325	25.304	35.885	34.654
9.	Brazília	5.390	15.337	20.567	27.865	26.506	34.524	34.163
10.	Ukrajna	41.012	52.353	54.655	31.767	29.855	32.975	32.771

1. táblázat. Acéltermelés országonként, az egyes években, ezer tonnában megadva [www.wikipedia.org]



4. A vasérc

A vas a földkéreg második leggyakoribb eleme (tömeg szerint). A vas a Föld kérgének kb. 4,7 %-át alkotja, és több mint száz vasásvány formájában van jelen, ám a fémek többségéhez hasonlóan, elemi állapotban nem található meg. A vas ércásványai közül legfontosabbak az oxidok.

Magnetit (mágnés-vasérc): kémiai neve: vas(II)-vas(III)-oxid, összegképlet:

Fe_3O_4 , 50-70% vastartalom.



8. kép. Magnetit [www.enfo.agt.bme.hu]



Hematit (vörösvasérc, ferri-oxid): kémiai neve: vas(III)-oxid, összegképlet: Fe_2O_3 , 35-65% vastartalom.



9. kép. Hematit [www.nj.kortepc.hu]

Limonit (barnavasérc): összegképlet: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + n\text{H}_2\text{O}$, 25-50% vastartalom

Több olyan ásványfaj összefoglaló neve, amelyek az adott megjelenési formában nem különíthetők el egymástól. Legjellemzőbb alkotói a goethit, lepidokrokrit, hematit, ferrihidrit.



10. kép. Limonit [www.wikipedia.org]



Sziderit (vaspát): kémiai neve: vas(II)-karbonát, összegképlet: FeCO_3 , 25-40% vastartalom



11. kép. Sziderit [www.wikipedia.org]

Goethit (bársonyvas-érc, tűzvasérc): összegképlet: FeO_2H .

Megnyúlt tűszerű vagy rostos kristályhalmazokban a rombos rendszerben kristályosodik. Gumós halmazokban is megtalálható. Prizmás lapos kristályai gyakoriak.

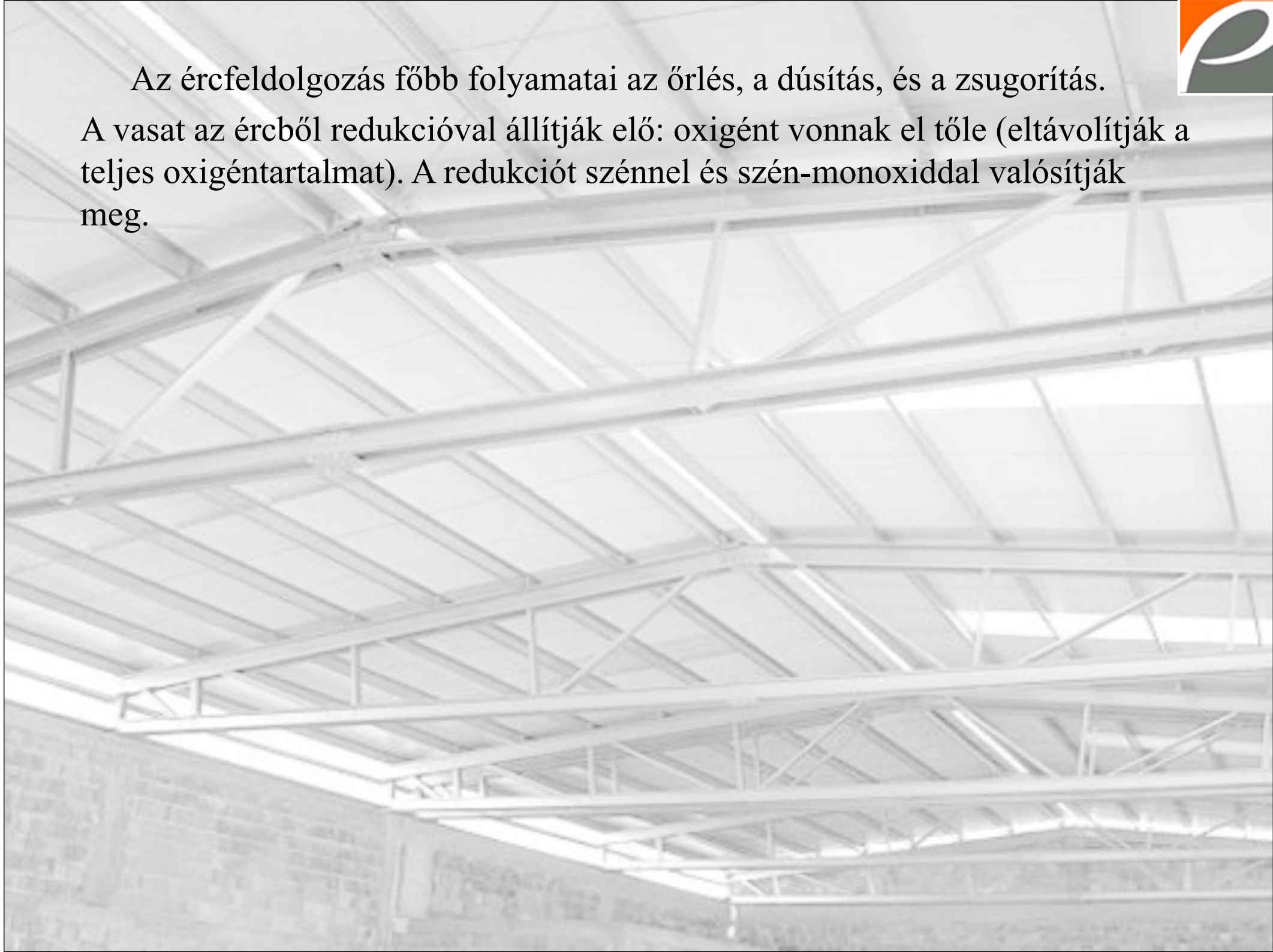


12. kép. Goethit [www.wikipedia.org]



Az ércfeldolgozás főbb folyamatai az őrlés, a dúsítás, és a zsugorítás.

A vasat az ércből redukcióval állítják elő: oxigént vonnak el tőle (eltávolítják a teljes oxigéntartalmat). A redukciót szénnel és szén-monoxiddal valósítják meg.





5. Az acélgyártás fejlődése

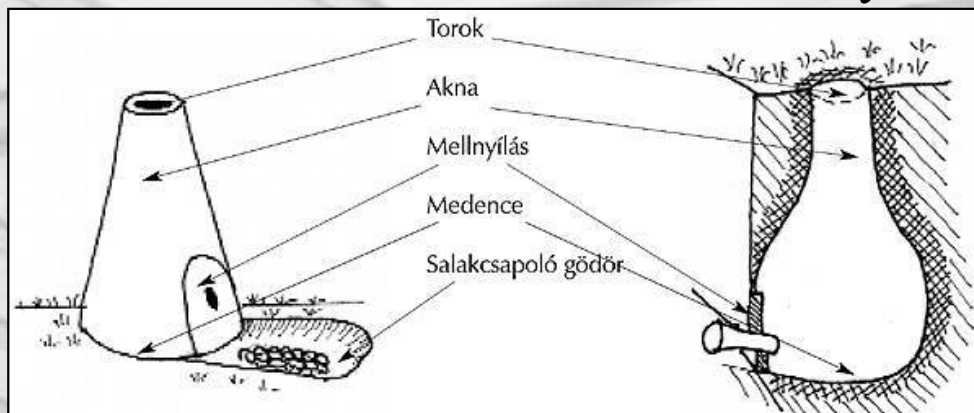
Az első vaskohók még csak *kis gödrök* voltak, melyekben faszénnel izzították a vasércet. Ebben a redoxi folyamatban a szén redukálta a vasércet (elvonta oxigéntartalmát).

Az idő során fejlődött ez az eljárás: *nagyobb gödröket* használtak, illetve *agyagbélést* is készítettek beléjük, valamint a tűz táplálását természetes huzattal oldották meg. Ekkor a gyártott termék alig olvadt meg, a szén pedig alig ötvözte a vasat a viszonylag kis hőmérséklet miatt. A röviden leírt eljárás során az ércből elkészült a salakkal szennyezett acélszerű termék. Ekkor viszont még nem volt felhasználható a produktum: még el kellett távolítani a termékről a salakot, erre megfelelő eljárás volt a kovácsolás. Ezt követően már fel lehetett használni acélként a kapott mintát.

A fejlődés tovább folytatódott: a kemencék méretét tovább növelték, valamint ezekben a kohókban lehetővé tették az ún. börtömlős levegőbefúvás technikáját is. Ezek voltak a *bucakemencék*, amiket évszázadokon át használtak.

5.1 Bucakemence

A vas érceiből való előállításának egyik mérföldköve az úgynevezett bucakemencék, illetve bucavasgyártás megjelenése volt, amit sok évszázadon keresztül alkalmaztak. Közép- és Nyugat-Európában hozzávetőlegesen a Kr. e. 8-6. századra datálható a bucavasgyártás kezdete, de térségenként akár jelentős eltérések is lehettek (pl. az oroszországi Voronyezs környékéről már a Kr. e. 15. századból is kerültek elő bucatűzhely-maradványok).



1. ábra. Bucakemence felépítése [www.vilaglex.hu]



13. kép. Bucakemence maradvány Sopron környékéről [www.vilaglex.hu]



Külszíni gyűjtésből vagy relatíve alacsony művelésű bányákból származó vas-oxid tartalmú ércet bucakemencékben (esetleg olvasztógödrökben) közvetlenül fémes vassá redukáltak. A "közvetlen" vagy "direkt" jelző onnan származik, hogy a nagy vasveszteségű és hosszadalmas eljárás alatt a vasérc meddőtartalmából folyékony salak keletkezett, viszont a fémes vas az eljárás során nem került folyékony állapotba, így kevés szenet tudott csak oldani.

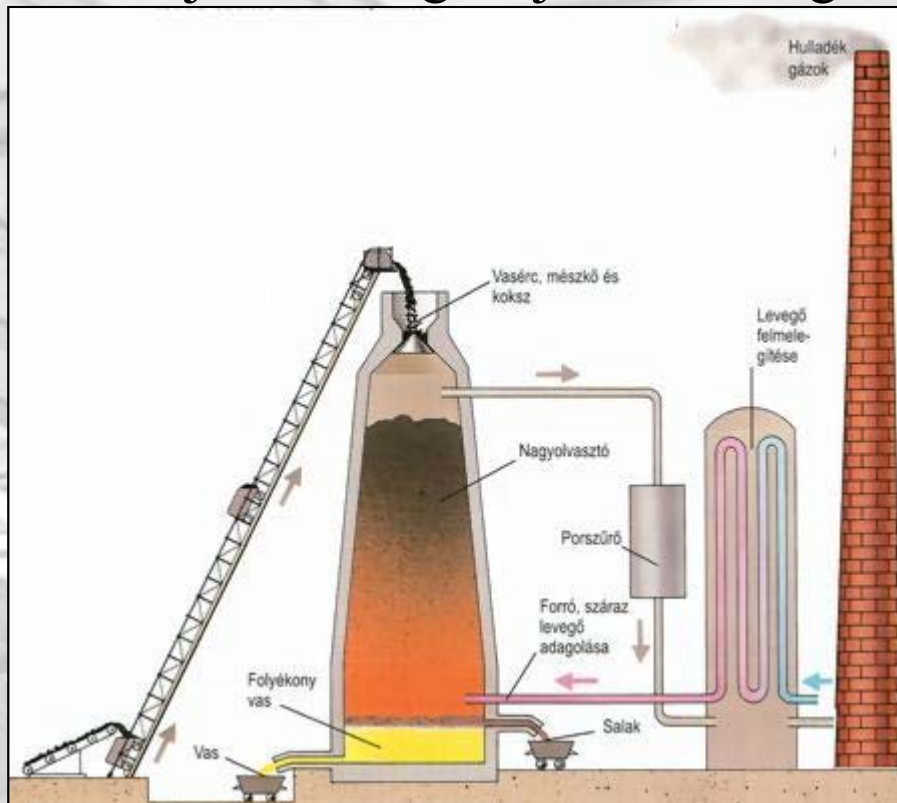
Az ércből salakkal szennyezett, közvetlenül alakítható, heterogén szerkezetű úgynevezett vasbucákat kaptak.

A salakot kovácsolással távolították el, a terméket ezután acélként fel lehetett használni.

A levegőbefújatásnál alkalmazott kézi erőt idővel felváltotta a vízikerek használata. Ez egyúttal a kemencék üzemi hőmérsékletének emelkedését is jelentette. Az adag teljes egészében megolvadt és jobban ötvöződött a szénnel, nyersvas vagy öntöttvas lett belőle. A kapott termék rideg, kovácsolhatatlan volt - ez az átmeneti fázis vezetett a kétlépcsős vagy indirekt eljáráshoz: a primer nyersvas széntartalmát frissítéssel - oxigénhordozó bevitelével - csökkentették, belőle alakítható acélt előállítva.

5.2 Nagyolvasztó

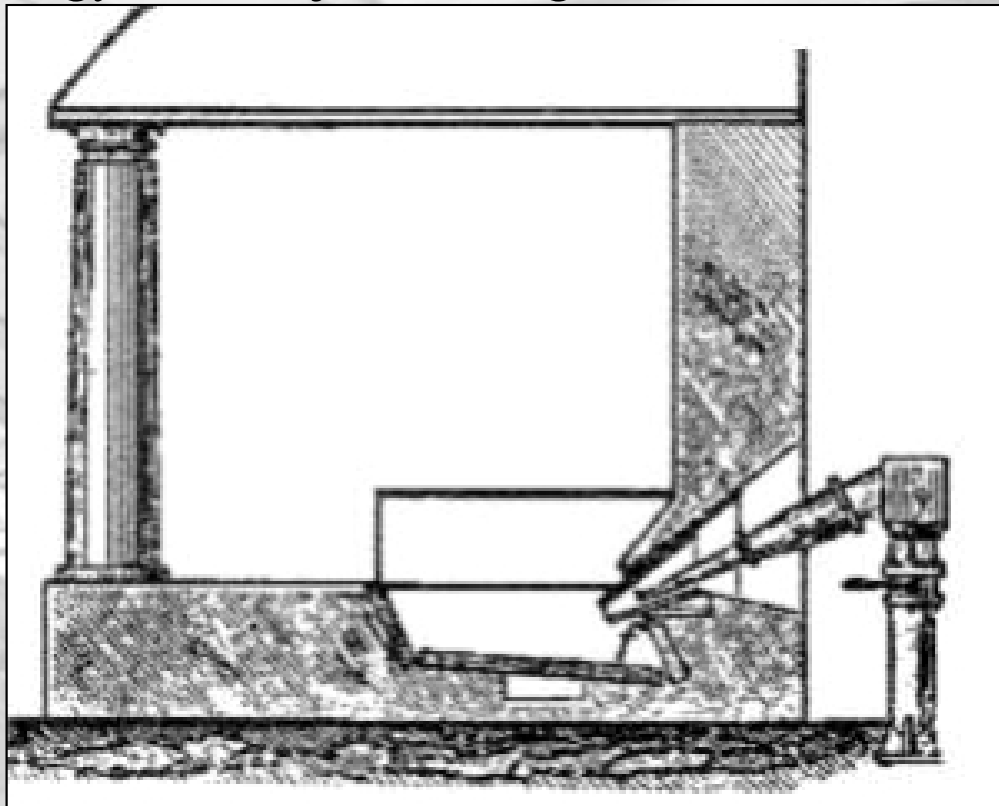
Ekkor jelent meg a *nagyolvasztó*, mint az indirekt eljárás jellemző berendezése, és egy új iparág, a vasöntés. (A nagyolvasztó európai megjelenése máig vita tárgyát képezi. Egyes vélemények szerint csak a 16. századtól beszélhetünk klasszikus nagyolvasztóról, más vélemények szerint a berendezés a 16. századig a Rajnától keletre még nem jutott el). Később a nagyolvasztót csak nyersvas előállítására használták, mivel új technológiák jelentek meg.



2. ábra. Korszerű nagyolvasztó felépítése [www.vilaglex.hu]

5.3 Frisztűzi acél

A frisstűzi acélgyártás módszere nagyjából a 15. század végén, a 16. század elején alakult ki. A nyersvas kísérő elemeit faszénnel fűtött kemencében, oxigénben dús atmoszférában égették ki. A művelet nagyjából négy órát vett igénybe, és általában mintegy 100-150 kilogrammos acélgomolyát (lupát) kaptak. A módszer közel 500 évig használatos volt. Svédországban és Ausztriában még a 20. század elején is gyártottak jó minőségű frisstűzi acélt.



3. ábra. Frisztűz (frisselő-kemence) fűjtatóval [www.vilaglex.hu]

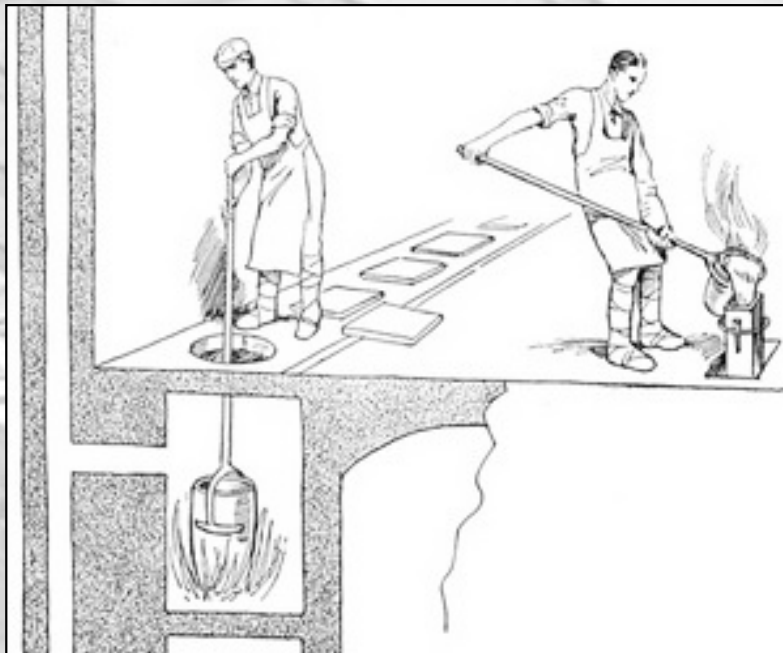


A vas a tűzben cseppenként olvadt meg. A lecsorgó vascsseppek felületén a fúvósél-áram oxigénjével Fe_3O_4 képződött. A vascsseppek a Fe_3O_4 -dús salakba süllyedve, a tűzhely alján gyűltek össze. Az oxidáció következtében a vas szilícium-, mangán- és széntartalma csökkent, olvadáspontja növekedett és lágy gomolyaként (lupaként) kristályosodott. A gomolyát kovácsolással tisztították meg a bezáródott salakrészecskéktől. Egy korabeli vasműhely frisstüzből és közvetlenül mellé telepített kalapácsból állt. A kalapács neve hámor volt, de rendszerint magát a műhelyt (frisstüzet és kalapácsot) értették a hámor elnevezés alatt.

5.4 Tégelyacélgyártás

A tégelyacélgyártást 1740-ben találta fel Benjamin Huntsman. A tégelyacél tömörségét és gáztalanságát annak köszönhette, hogy a zárt, salakító anyaggal (pl. üvegpor) lefedett tégelyekbe rakott, korábban frisstüzi módszerrel előállított acélhoz az eljárás során semmiféle szennyező anyag nem férhetett, és hiányzott a frissítéshez szükséges oxidáló anyag is. Ebből kifolyólag inkább tekinthető acélnemesítő/finomító eljárásnak.

A szükséges hőmérsékletet faszén-, koks-, később gáztüzeléssel biztosították. Ezzel a módszerrel kezdődött az ötvözött acélok gyártása.

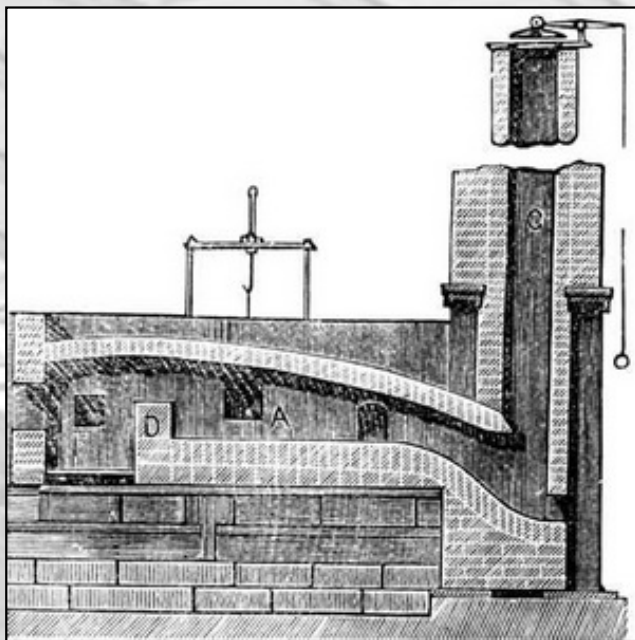


4. ábra. Tégelyacélgyártás [www.vilaglex.hu]

5.5 Cort-féle kavaró acélgyártás

Henry Cort szabadalmazta 1784-ben a kavaró acélgyártási eljárást. Lángkemencét használták, az olvadt nyersvas csak a kőszén eléből származó, oxigénben dús füstgázzal érintkezett. A folyékony fürdőt hosszú vasrudakkal kavargatták (innen a név), hogy mindig újabb rész érintkezzen a füstgázzal. A kapott lupákról kovácsolással eltávolították a salakot, majd üreges hengereken rudakká hengerelték őket.

Cort szabadalmának vitathatatlan előnye volt a nagyobb termelékenység, az olcsó kőszéntüzelés, valamint a kapott acél jobb alakíthatósága.



5. ábra. Cort-féle kavaró acélgyártás [www.vilaglex.hu]

5.6 Bessemer szélfriessítési eljárása

A Bessemer-féle szélfriessítési eljárást 1855-ben szabadalmaztatta Henry Bessemer angol mérnök. Lényege, hogy a folyékony nyersvasat egy körte formájú, savas jellegű tűzálló falazattal bélelt konverterbe öntik, és a nyersvasrétegen alulról levegőt fújtatnak át. A levegő oxigénjének hatására kiég a szén, a szilícium és a mangán. Az említett folyamatok exotermek, így nem volt szükség külön tüzelőanyagra.

Tulajdonképpen a Bessemer-módszerrel kezdődött az acél ipari mértékű előállítása, amit a kavaró acélgyártással szembeni magasabb termelékenységének köszönhetett.



Hátránya volt azonban, hogy csak kis foszfortartalmú nyersvasat lehetett hozzá felhasználni, illetve a levegőfújtatás okozta magas nitrogéntartalom, ami az acél képlékenységét és szívósságát csökkentette.

5.7 Thomas-módszer

Sidney Gilchrist Thomas nevéhez fűződik a Thomas-módszer (1878). Az eljárás során alkalmazott konverter szerkezete hasonló a Bessemeréhez, de falazatát bázikus (magnezit és dolomit) tűzálló téglákból építették. Ennek révén az eljárás alkalmassá vált a betét foszfortartalmának csökkentésére is.

A művelet során bázikus salakképzőt (általában égetett meszet) adagolnak, ezen kívül a képződött vas-oxid is szerepet játszik a foszfortalanítás folyamatában.

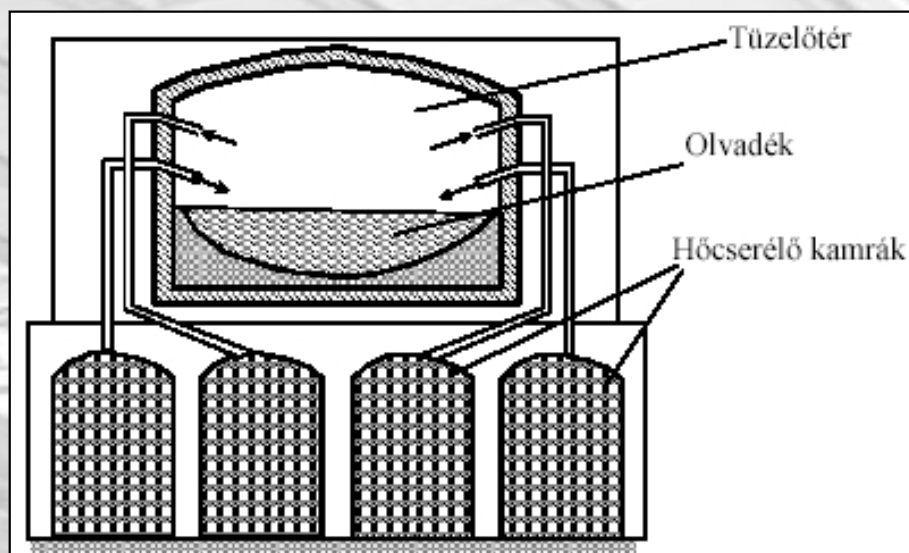


További újítás, hogy oxigénnel dúsított fúvólevegőt használtak, elkerülve ezzel a betét nitrogéntartalmának növekedését.

A Thomas-eljárás az 1880-as évektől kezdett elterjedni, főleg a foszforban dús nyersvasat gyártó területeken.

5.8 Siemens-Martin eljárás

A Siemens-Martin-eljárást Pierre-Émile Martin francia mérnök szabadalmaztatta 1864-ben. Az eljárás nevében a Siemens nevet a Carl Wilhelm Siemens által szabadalmaztatott, és itt felhasznált váltakozó lángjárású regeneratív tüzelési rendszer magyarázza. A módszerrel folyékony nyersvas és ócskavas is felhasználható, de akár szilárd betéttel is lehetett indulni, és lehetővé tette változatos ötvözöttségű acélok gyártását. Mintegy száz évig vezető módszere volt az acélgyártásnak, de az oxigénes konverteres eljárások miatt idővel egyre jobban háttérbe szorult.



6. ábra. Siemens-Martin eljárás [www.vilaglex.hu]

5.9 LD-konverter

A konverteres acélgyártási módszerek közül mára az oxigénbefúvásos módszer maradt meg. Ennek az eljárásnak első képviselője az LD (Linz-Donawitz)-konverter volt, amit követtek más néven jegyzett módszerek is. A szabadalom a svájci Robert Durrer nevéhez fűződik (1948). A legalább 1000 Celsius-fokos konverterbe adagolt nyersvasra és acélhulladékra oxigént fújtatnak, majd salakképzőt (CaO) adnak hozzá. A művelet során a betétben megindul a kísérőelemek (szilícium, mangán, kén, foszfor) oxidációja, ezt követően pedig lehetséges az ötvözők hozzáadása.



Az LD-konverteres megoldás a Siemens-Martin-eljárásnál olcsóbb, egyszerűbb, és termelékenysége is nagyobb.

5.10 Elektroacél-gyártás

Az ívfényes kemencében (ívkemence) végzett acélgyártással először Siemens foglalkozott 1879-ben. Ipari méretekben történő alkalmazására azonban csak a Héroult-kemence (1907) volt alkalmas, amelynél a villamos ív a betét és a grafitból készült elektród között jön létre.

A betét anyaga többnyire hulladékacél, esetleg vasszivacs és fémesített pellet (nyersvasat csak ritkán használnak).

Az ívkemencében lehet egy- vagy kétsalagos gyártási technológiával dolgozni, de a kétsalagos az általános. A frissítéshez égetett meszet és folyópátot adagolnak - de oxigén is használatos -, minek során a szénttartalmat kevéssel a tervezett alá viszik.



17. kép. Ívkemence [www.vilaglex.hu]



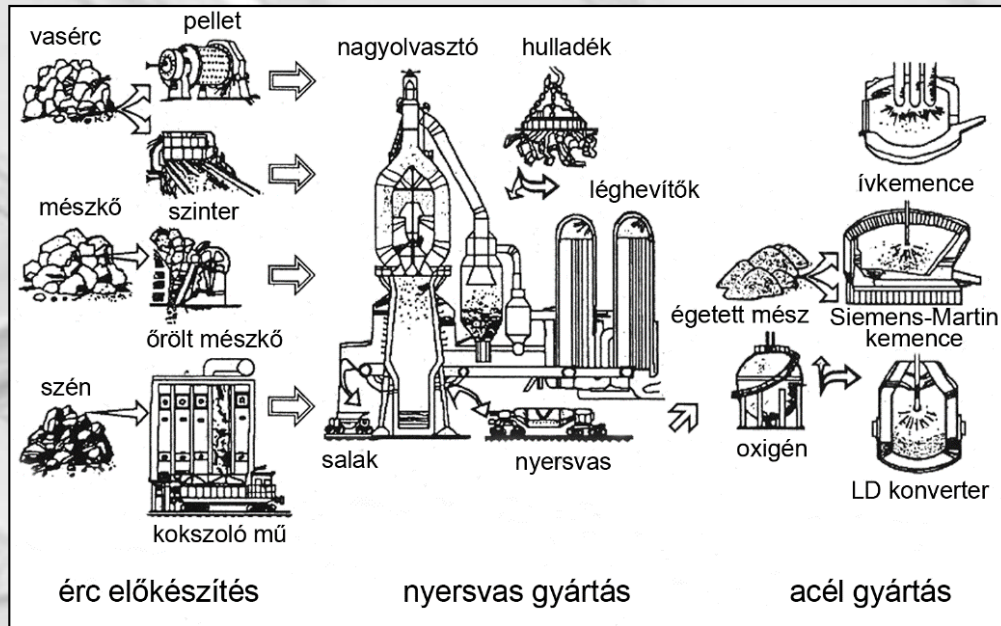
Ezt követi a salak lehúzósa, a szénttartalom beállítása, majd a dezoxidáció (a felesleges oxigén eltávolítása), az új salak kialakítása, és szükség esetén az ötvözés.

Az ívkemencék mellett használatosak még - kisebb méretekben - indukciós kemencék és ellenálláskemencék is.

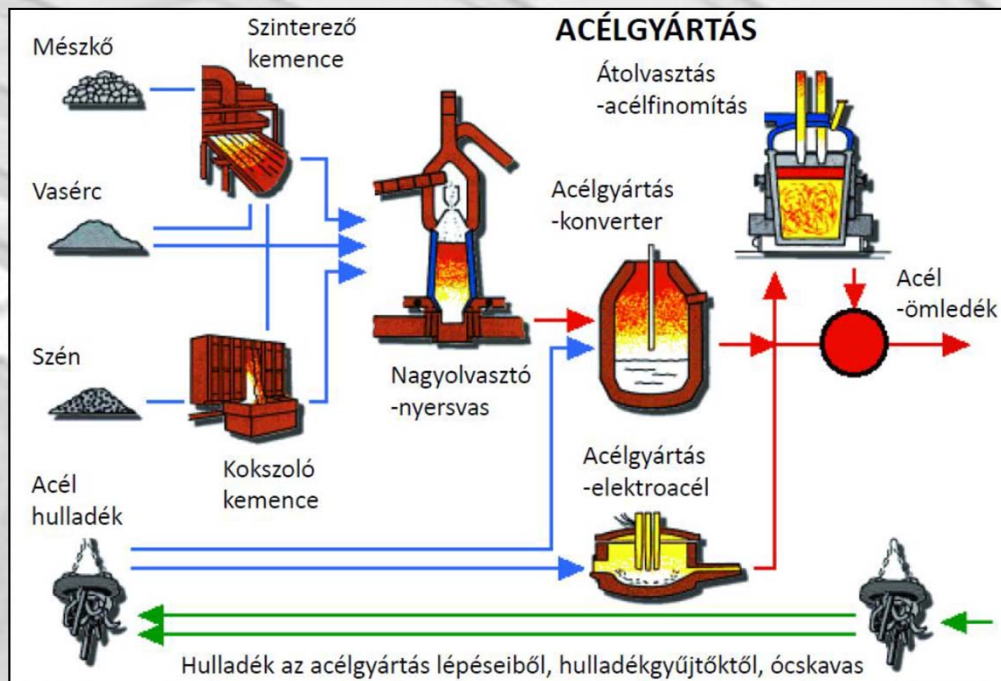
Az eddig felsorolt eljárásokkal szemben több gazdasági és technológiai előnye is van: a leginkább alkalmas hulladékacélok újrahasznosítására, ezáltal kisebb az energiafelhasználás (ellentétben a primer-, nyersvasból történő acélgyártással), illetve üzemeltetése rugalmasabb, így a termelési igényekhez is jobban igazítható.



6. Az acélgártás fizikai folyamatai



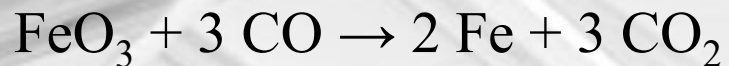
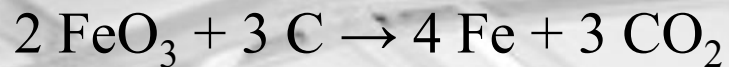
7. ábra. Acélgártás folyamata I. [www.tudasbazis.sulinet.hu]



8. ábra. Az acélgártás folyamata II. [Obulov]

6.1 Nyersvasgyártás

A vasat az ércből redukcióval állítják elő: oxigént vonnak el tőle (eltávolítják a teljes oxigéntartalmat). A redukciót szénrel és szén-monoxiddal valósítják meg, például:




A nyersvas-előállítás nagyolvasztóban történik, ebben valósul meg az előbb leírt redukció végrehajtása. A nyersvas képlékenyen nem alakítható, mert túl magas a karbontartalma, ez arra vezethető vissza, hogy a folyékony vas jól oldja a szenet, így jól ötvöződnek.

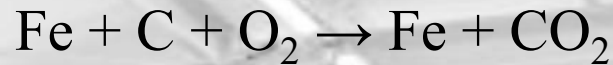
6.2 Acélgyártás

Oxidációs folyamat.

- kiinduló anyag: a nyersvas és az ócskavas,
- nem használandó, „káros” kísérőelemek eltávolítása a kiinduló anyagból: képlékeny acélra van szükség végtermékként, ehhez el kell távolítani a fölösleges szenet és egyéb „szennyezőt” a rendszerből.




Ebben a szakaszban kiégetik a C-, Si-, Mn-, P- és S-tartalmat a rendszerből, ez oxidációs folyamat: oxigént adnak (juttanak) a vashoz az alábbi kémiai reakcióban



Az oxigén rendszerbe juttatásának módjai:

- kavatófrissítés (régén),
 - martin kemence (kb. 50-100 éve),
 - konverter: kibuborékoltatás (most).
- ötvözés „hasznos” elemekkel és a megfelelő mikroszerkezet kialakítása: ezáltal adódnak a sokoldalúan felhasználható, különböző minőségű acélfajták,
- a folyékony acél kiöntése folyamatos öntőgépbe vagy kokillába,
- kikristályosítás,
- az kész acél tulajdonságai tovább alakíthatók hőkezeléssel és hideg vagy meleg képlékeny alakítással (kovácsolás, hengerlés, kisajtolás stb.) egyaránt.



Hőkezelésen az alábbi értendő:

- edzés: hirtelen lehűtés hideg vízben,
- megeresztés: visszamelegítés és várakozás.

Ezek által kemény és szívós szerkezete lesz.

Az acélgyártás folyamata igen gazdaságos eljárás:

- klasszikusan négy hevítésből áll (olvasztás, acélgyártás, öntés, hengerlés),
- míg manapság egy hevítés van jelen,
- minden folyamat egy helyen történik.



7. Kovácsolás

A kész acél tulajdonságai tovább formálhatók képlékeny alakítással (kovácsolás, hengerlés, kisajtolás stb.), hidegen és melegen egyaránt.

A kovácsolás volt a legősibb módszer, melyben fémek képlékeny alakítására került sor. A régészek találtak erre tárgyi bizonyítékot már a bronzkorból fennmaradó leletek közt is.

Kovácsolás során a következő zajlik:

- A fémet (vasat) alakítják:
 - ütésekkel vagy nyomással,
 - kézi vagy gépi úton,
 - meleg, hideg vagy félmeleg állapotban (megoldható a legtöbb képlékenyen alakító technológiánál),
 - ezt általában két szerszám felületei közt végzik.
- Finomabbá válik az eredetileg durvának mondható szövetszerkezet.
- Jobbá válhatnak a minta mechanikai tulajdonságai, mint például kontrakció, nyúlás, fajlagos ütőmunka. Ez annak köszönhető, hogy a szövetszerkezetben lévő szálelrendeződés formálható úgy, hogy az megfeleljen a későbbi igénybevételnek (erre vannak adekvát eljárások).



- A kovácsdarab(ok) minősége tovább javítható hőkezeléssel.
- A végtermék: milliméteres nagyságrendtől méteres nagyságrendig terjedő mintadarabok.





8. Acélok utókezelése

- Üstmetallurgia:
dezoxidálás, átöblítés, ötvözés, stb.,
- Sugárvákuumozás:
folyékony acélsugár öntése vákuumban, erős gáztalanítóhatás,
- Vákuumívfényes átolvasztás:
katód az átolvasztani kívánt acélrúd, anód a réz kád, a rúd megolvad és gáztalanodik,
- Elektrosalakos átolvasztás:
a megolvadt salakon átfolyó leolvadt acél elektróda gáz- és szennyezőtartalma csökken.



Felhasznált irodalom

NAGY MÁRIA: *Acélgyártás.* ELTE TTK, Fizikai Intézet, Anyagfizikai Tanszék, Budapest, 2017

www.businessnews.com

www.enfo.agt.bme.hu

www.nj.kortepc.hu

www.rieth.hu

www.tudasbazis.sulinet.hu

www.vilaglex.hu

www.wikipedia.org