



# Az ötvöző elemek kapcsolata

## az alapfémmel

**Szilárd oldatot** képeznek

- **szubsztitúciós szilárd oldatot** alkotnak (Mn, Ni, Cr, Co, V)
- **interstíciós szilárd oldatot** alkotnak (N, B)

**Fémes vegyületet** képeznek (Fe<sub>2</sub>N, Fe<sub>4</sub>N), (FeAl<sub>2</sub>), (FeSi), (Fe<sub>3</sub>P, Fe<sub>2</sub>P), (Fe<sub>2</sub>Ti), (FeV), (FeCr), (FeMo), (Fe<sub>2</sub>W, Fe<sub>3</sub>W)

## a karbonnal

Számos tulajdonság, pl. keménység,

kopásállóság szempontjából meghatározó jelentőségű

- a karbonnal soha nem képeznek karbidokat (Ni, Cu)
- más ötvözetekben képeznek karbidokat, az acélban soha (Al, Si)
- legfontosabbak a karbidképzők (Mn, Cr, Mo, W, Ti, V)



# Az ötvözött karbidok legfontosabb jellemzői

- a **karbidok** keménysége **természetes keménység**
  - keménységüket lényegesen magasabb hőmérsékletig megtartják, mint a martenzit.
- stabilitásuk függ
  - a rácsszerkezettől (legstabilabb a köbös karbid)
  - a képződési hőtől (minél nagyobb annál stabilabb)
  - az olvadáspontjuktól (minél magasabb annál stabilabb)



# Ötvözött karbidok jellemzői és stabilitási sorrendje

A karbidok			
jele	rács- szerkezete	olvadáspontja T, °C	keménysége HV
Fe <sub>3</sub> C	rombos	1250	900
Mn <sub>3</sub> C	rombos	1050	1100
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	rombos	1890	1300
Mo <sub>2</sub> C	hexagonális	2690	1500
Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	hexagonális	1665	2100
WC	hexagonális	2850	2400
W <sub>2</sub> C	hexagonális	2860	3000
Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	köbös	1550	1650
VC	köbös	2810	2800
TiC	köbös	3140	3200

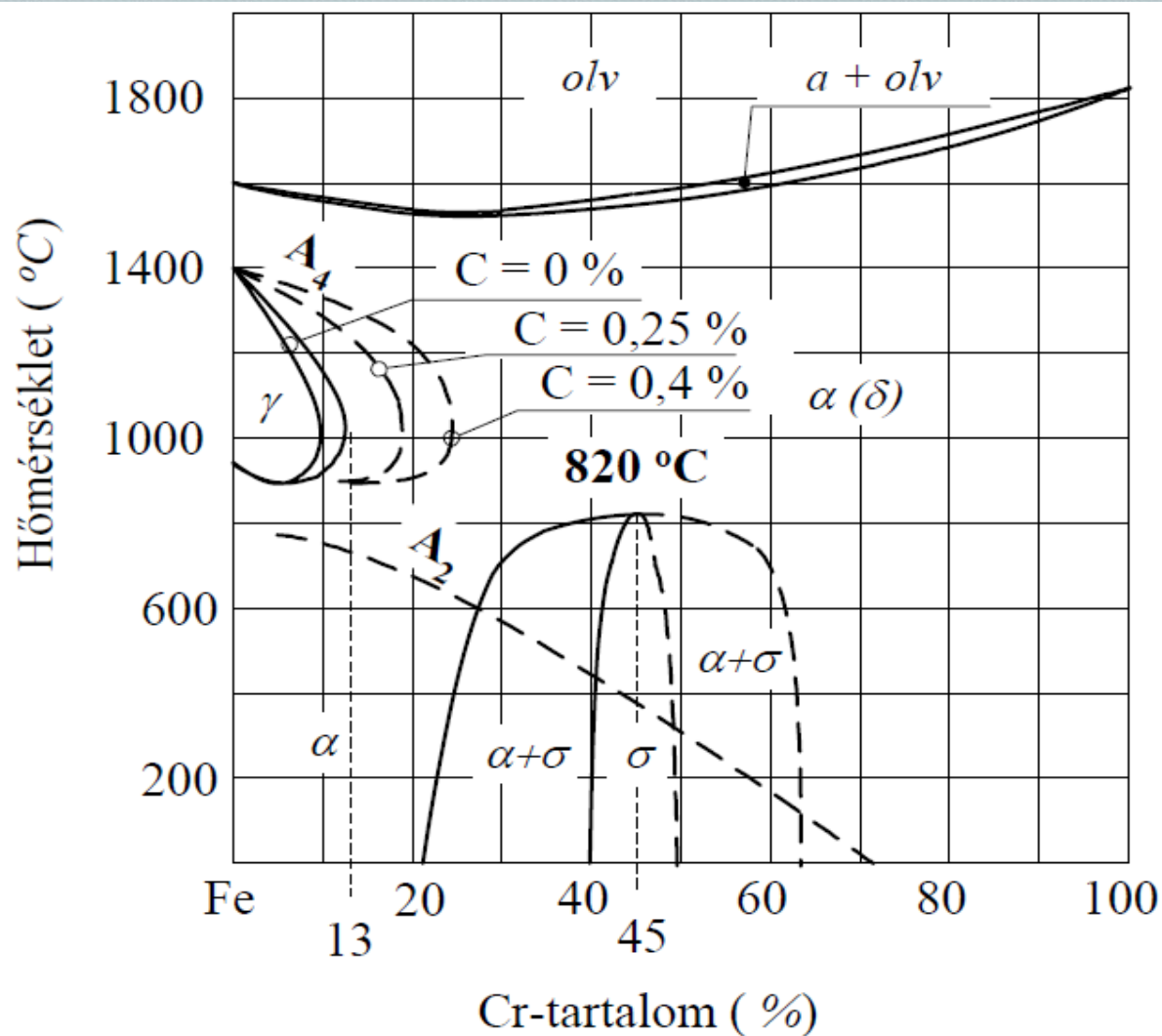


## A Cr mint ötvöző hatásai

- a Cr az acélok egyik **legszélesebb körben** alkalmazott ötvözője: „a kémiai tulajdonságok ötvözője”
- **ferritképző** ötvöző,
- zárt  $\gamma$ -mezőt hoz létre (a C tartalom növekedése tágítja)
- jellegzetes szöveteleme a 42 % Cr-nál keletkező, ún.  $\sigma$ -fázis: rendezett rácsú szilárd oldat  
a fémes vegyületekre jellemző rideg viselkedés jellemzi



# A Fe - Cr egyensúlyi diagram





# A Cr, mint a kémiai tulajdonságok ötvözője

A sav- és korrózióálló acélok (erőteljesen passzíváló hatású, védőoxidréteg)

– **ferrites korrózióálló Cr-acélok**

X8Cr13 – X10Cr17

– **perlit-martensites korrózióálló Cr-acélok**

X20Cr13 – X105CrMo17

– **austenites korrózióálló Cr-acélok**

X10CrMnNi – X6CrNiTi1810



A Cr számos szerkezeti és szerszámacél fontos ötvözője:

- nagy vegyrokonsága a C-hoz, N-hez és O-hez
  - oxidok, nitridek, karbidok képződése,
  - finomszemcsés acél biztosítása
- a karbidok egész sorozatát képezi
  - nagy természetes keménység,
  - magas hőmérsékletig megmaradó kopásálló karbidok
- az átedzhetőség növelése a kritikus hűtési sebesség csökkentésével, a levegőn is (tehát nagyon lassan, a belső feszültségeket feloldódásával) tökéletesen beedződik.



# A Cr hatása a kritikus hűtési sebességre

Króm tartalom	A martensites átalakulást jellemző idő	A kritikus hűtési sebesség	
Cr, %	$t_m, s$	$v_{krit}, ^\circ C/s$	viszonyszám
0,15	1,5	270	1
1,02	8,0	50	1/5
1,70	50,0	8	1/30
13,00	600,0	0,67	1/400



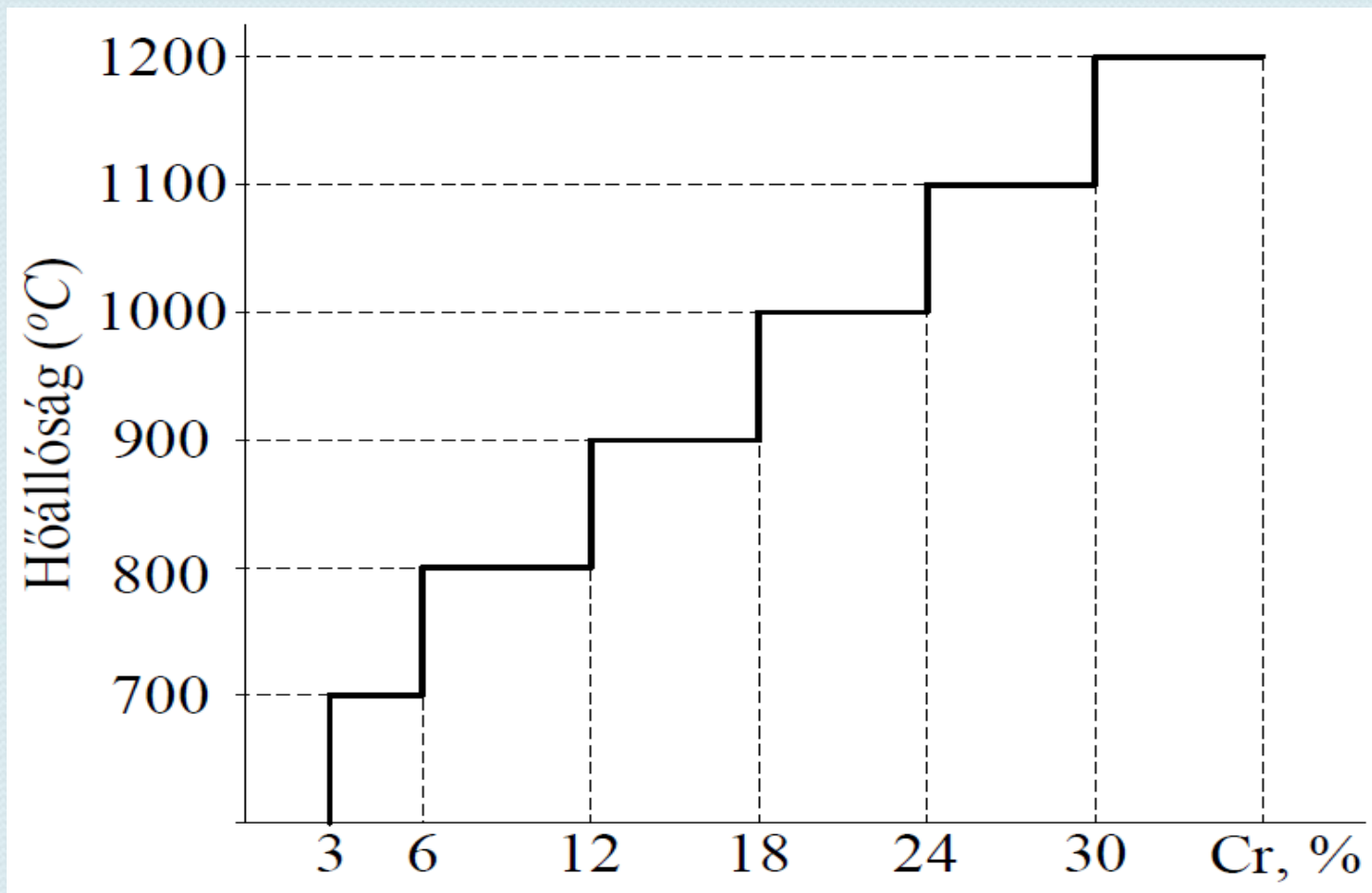


## Cr-acélok további alkalmazási területei

- **Betétben edzhető és nemesíthető szerkezeti acélok**
  - hőerőgépek nagy hőszilárdságú elemei
  - nagy hőterhelésnek kitett alkatrészek
  - különféle golyóscsapágy acélok  
(C=1 %, Cr=1,5 %)
- **nagy keménységű, kiváló kopásállóságú szerszámacélok**
  - ledeburitos Cr-acél  
(C=2 %, Cr=12 %)



# A Cr-acélok hőállósága





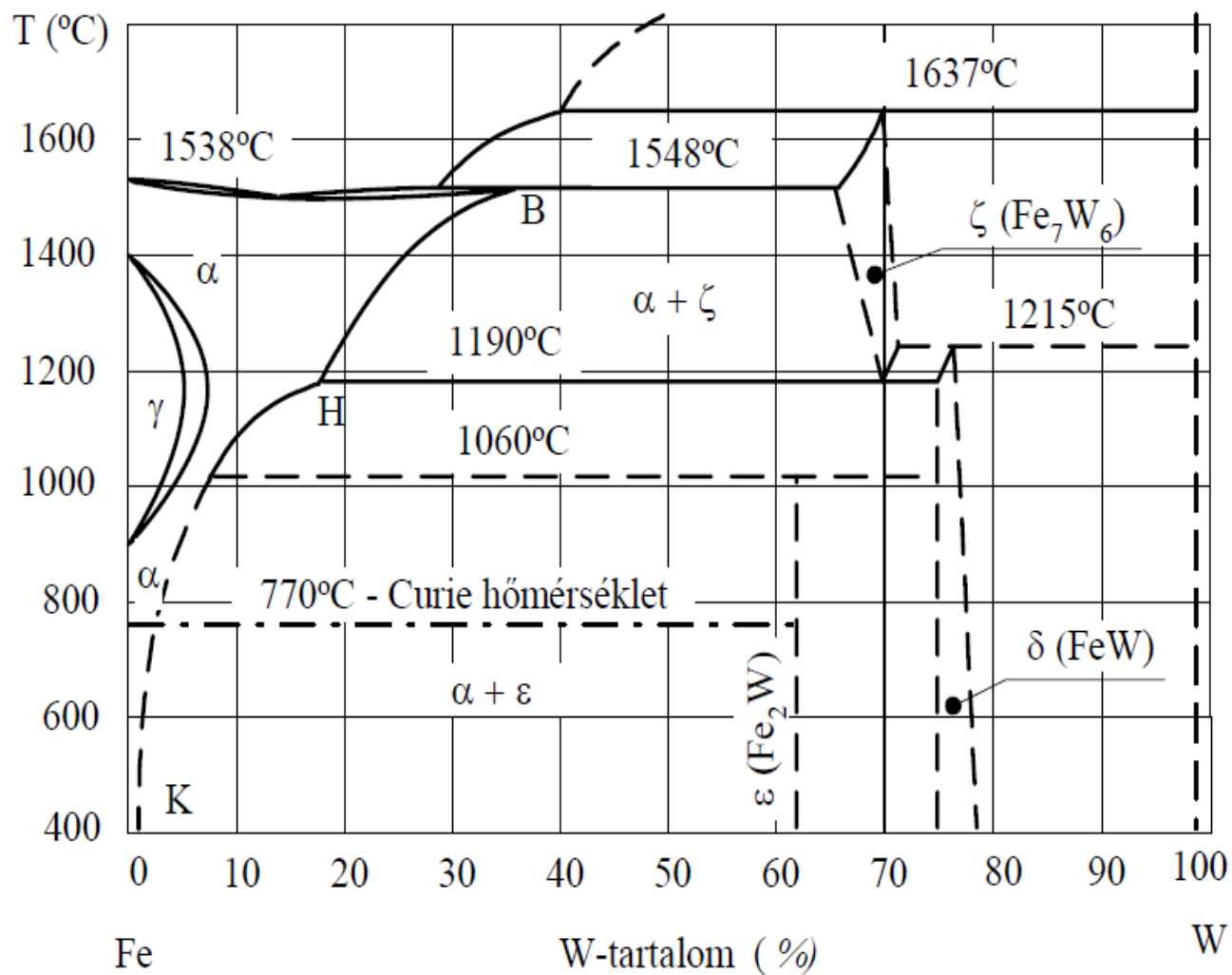
**A legmagasabb olvadáspontú fém (3380°C).**

Ötvöző hatásai sok tekintetben a Cr hatásához hasonlóak:

- a  $\gamma$ -mezőt **szűkíti** és részben nyitott  $\alpha$ -mezőt hoz létre,  $\gamma \rightarrow \alpha$  átalakulás csak  **$W < 8\%$** , nagyobb **W-tartalmú acélok nem edzhetők.**
- növeli a megeresztés-állóságot és a **hőszilárdságot**
- a **C mennyiségének növelése** tágítja a  $\gamma$  - mezőt, ezzel az **edzhetőség határát is kitolja.**
- karbidképző**  $\rightarrow$  a szerszámacélok egyik legfontosabb ötvözője a forgácsolószerszámok éltartóságukat közel 600°C-ig megőrzik.
- a **gyorsacélok** egyik legfontosabb ötvözője
- klasszikus példa: HS 1-18-4-1



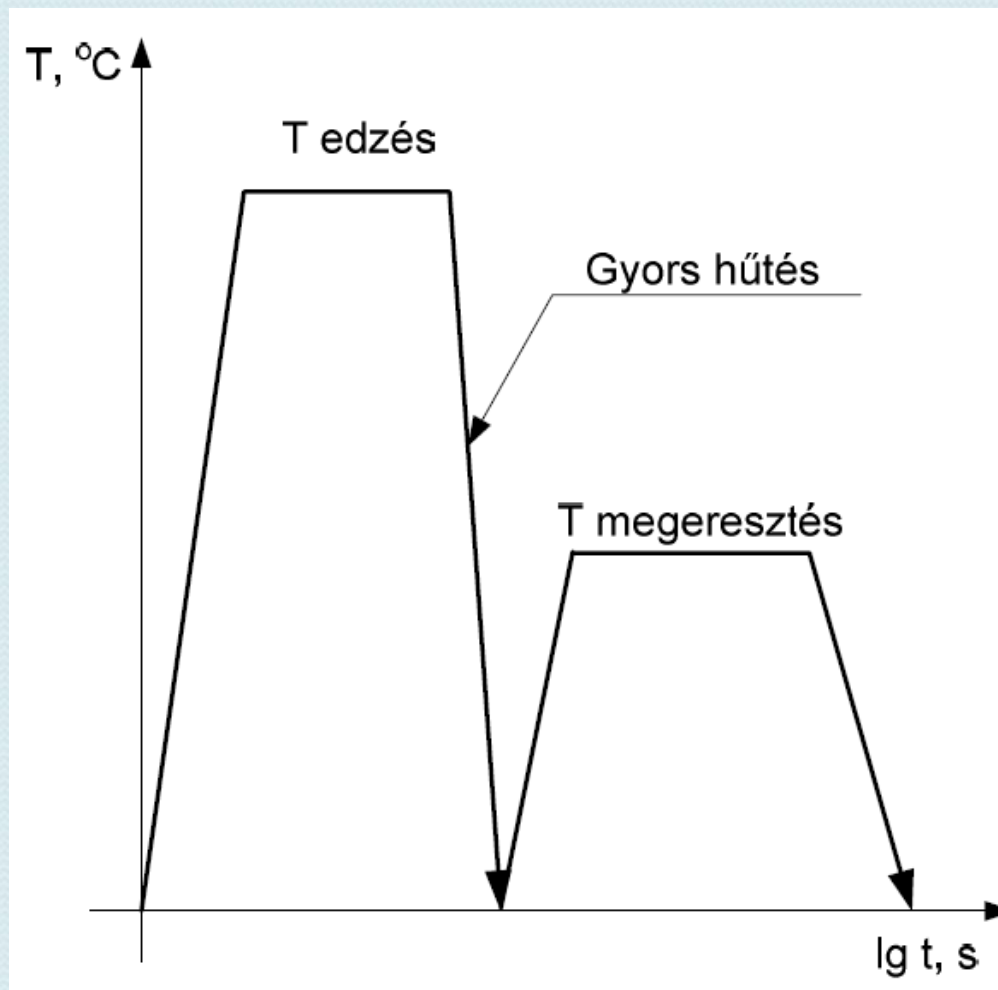
# A Fe-W kétalkotós egyensúlyi diagram





# A gyorsacélok kiválásos keményítő hőkezelése

- Nagy hőmérsékletű,  $T = 1250 - 1290$  °C-ról elvégzett **edzés**
- nagy hőmérsékletű,  $T = 550$  °C-on elvégzett **megeresztés** (kiválásos kikeményítés)





## Az edzés paramétereit és jellemzőit

- **Felhevítés** az edzési hőmérsékletre **több** (rendszerint három) **lépcsőben** (rossz hővezető-képesség)
- az edzési hőmérsékleten **néhány perces hőntartás** is elegendő
  - a nagy hőmérséklet miatt **gyors ausztenitesedés**
  - az ausztenit szemcsedurvulását a jelenlévő **primer karbidok** megakadályozzák
- az erősen jobbra tolódott átalakulási diagram miatt **olaj**, esetleg a **levegőn** való hűtés is megfelel a nagy keménységű **martenzites szövet** eléréséhez



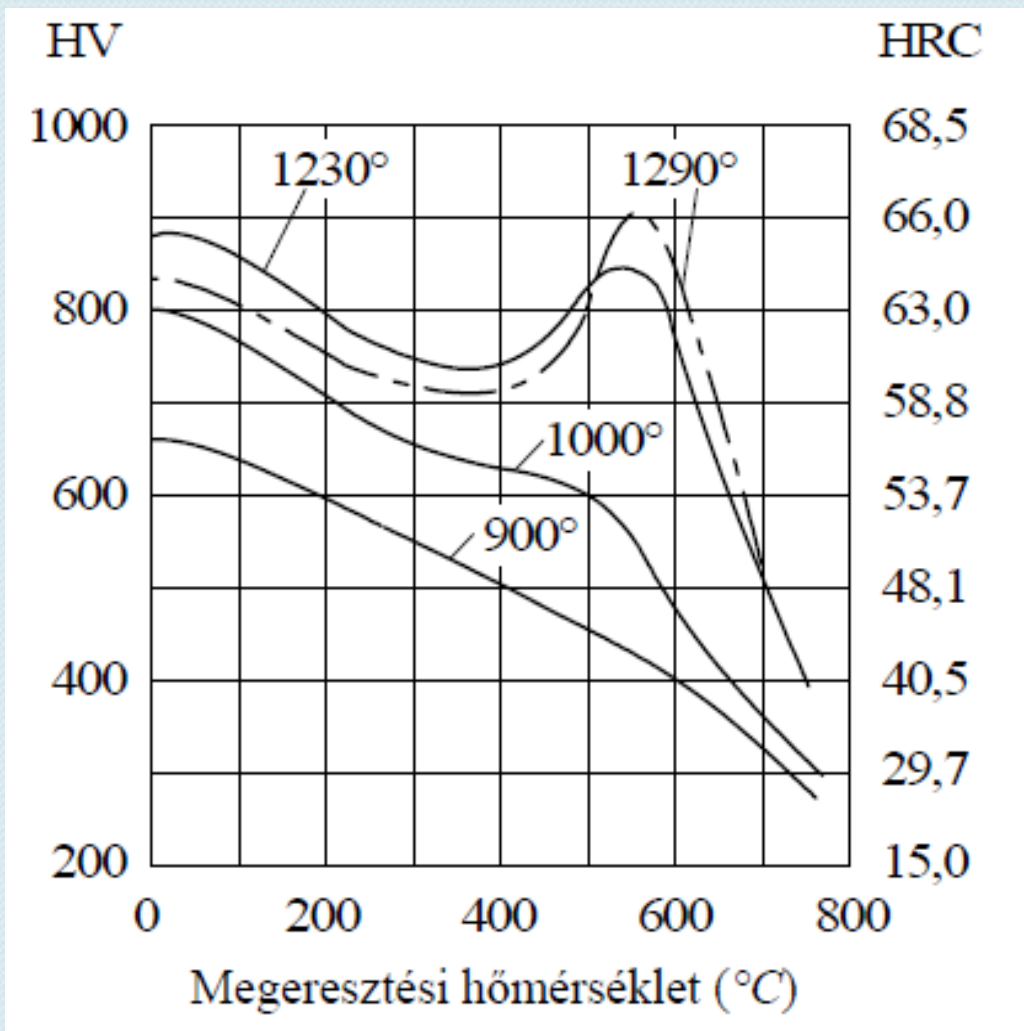
# A megeresztés paramétereit és jellemzői

Nagy hőmérsékletű ( $T \geq 550 \text{ }^\circ\text{C}$ ) megeresztés, jellegzetessége az ún. **másodlagos kikeményedés**

- a nagy keménységű ötvözött **karbidok** (k<sub>2</sub>-karbidok) **kiválásának** tulajdonítható
- helyesen megválasztott edzési és megeresztési paraméterek esetén az elért keménység-növekedés az **edzési keménységet is meghaladja**
- az ötvözött karbidok minél teljesebb kiválása érdekében rendszerint 2-3 szoros **0,5-1 órás megeresztés** biztosítja



# Gyorsacélok megeresztési diagramja







# Egyéb acélötvözők jellemzői

Az acélok további fontos ötvözői

Molibdén

Vanádium

Titán

Nióbium

Bór

Szilícium

Alumínium



- Ötvözetei a *W*-acélokéhoz hasonló állapotábra szerint kristályosodnak.
- A *Mo* is megoszlik az  $\alpha$ -vasban és a ***Mo*-karbidokban**, valamint kettős karbidokban.
- Hatása a **megeresztés állóság**, és a hőszilárdság fokozása. Ezért **hőszilárd acélok** 14-15 % *Cr* mellett **0,5 % *Mo*-t** is tartalmaznak.
- A *Mo*-t önmagában acélötvözésre nem használják, hanem csak **járulékos ötvözőként**
  - a *CrNi* acélokba a megeresztés állóság növelésére,
  - a 18/8 ausztenites *CrNi* acélokba a kénsavval és klórmésszel szemben való ellenállás fokozására, valamint
  - a gyorsacélokba a megeresztés-állóság fokozására.



- Bezárja a  $\gamma$ -mezőt
- $FeV$  fémes vegyületet,  $V_4C_3$  karbidot képez.
- Metallográfiai hatásai:
  - szemcsefinomítás,
  - erős dezoxidálás és nitrid képzés. járulékos ötvöző
- Erős oxigén- és nitrogén-affinitás - nemesacélkohászatban alkalmazzák, mint csillapító és mikroötvöző szert.
- Nitridképző hatás - a nitridálható acélok ötvöző anyaga
- **Főleg szerszámacélok** járulékos ötvözője, jól dezoxidált tömör, finomszemcsés és így szívós acélt.



# Titán és a Nióbium

- **Karbidképző és szemcsefinomító hatású**
- A  $Ti$ -nak igen nagy az affinitása az  $O$ -hez és  $N$ -hez, tehát ez a legerősebb dezoxidáló és denitráló acélötvöző.
- Oxidja könnyen salakba megy és így a ferrotitánnal csillapított acél salakmentes.
- Nagy nitrogén-affinitása miatt alkalmazzák szerkezeti acélok mikroötvözésére a szilárdság növelése céljából.
- Affinitása a karbonhoz jóval nagyobb, mint a  $Cr$ -é. (18/8  $CrNi$  szemcsehatár-korróziójának elhárítására)
  - A szemcsehatár-korrózió elhárítására
  - $Ti = 5 \times C \%$
  - $Nb = 10 \times C$



- A bór a legújabb időkben előtérbe került acélötvöző,
- különlegessége, hogy belőle az összes ötvöző anyag közül a legkisebb mennyiség adagolása is **erőteljesen növeli az átedzhetőséget** és ezzel a nemesíthetőséget.
  - Már 0,0005 % bór is hatásos, a szokásos ötvöző anyag tartalom 0,0025 %.
  - A nagy keresztmetszetű acélok ötvözésére bevált

## Hátránya

- a bórral való ötvözés gyakran a mechanikai tulajdonságok "megmagyarázhatatlan" szórását okozza,
- hatása a C-tartalommal csökken.



- Affinitása az oxigénhez nagyobb, mint a vasé,  
⇒ az acélok csillapításának legfontosabb eszköze.  
(az „öregedést” okozó **szabad oxigén – elvonására használják.**)
- A ***Si*-ot 1-3 % között szerkezeti acélok** ötvözésére használják. Egyik leggyakoribb felhasználási területe a **rugóacélgyártás.**
- **3,6-4,4 % a transzformátor lemezek** szokásos *Si*-tartalma, amely a watt-veszteséget csökkenti.
- **15% *Si*-tartalom felett** keletkező  $Fe_3Si_2$  a forró kénsavnak és salétromsavnak is ellenáll ⇒ **salétromsav és kénsav besűrítők** gyártására 15-18 % *Si*-tartalommal



## Si ötvöző alkalmazása

- A **grafitkiválást** elősegíti, ezért a grafitos szürkevas fontos ötvözője.
- Ez a tulajdonsága a szerkezeti acélokban az *A1* hőmérséklet körüli izzításnál bekövetkező grafitkiválás miatt a "*fekete törés*" veszélyét okozza,
  - ezért a **szilíciumos szerkezeti** acélok igen gondos és óvatos hőkezelést igényelnek.
  - **Izzításukat** a szükséges **hőmérsékletköz alsó határán**, a szükséges **legrövidebb ideig** kell végezni.



# Alumínium

- Az  $Al$  az  $\alpha$ -vasban 15 %-ig oldódik, a  $\gamma$ -mezőt szűkíti.
- Az **acélgyártásnál** az  $O$ -hez és  $N$ -hez való nagy affinitását használják fel (**dezoxidálás**)
- alumíniumoxid csírák –**finomszemcsés** acélt.
- leköti a szabad nitrogént és a lágyacél **öregedését**,  
elridegedését **megakadályozza**.
- mikroötvözőként is alkalmazzák.
- 1-1,5 %  $Al$ : nitridálható acéloknál ( $AlN$ )
- 1-3%  $Al$ : hőálló  $Cr$ -acélokhöz ötvözve hőállóság növelő.
- 8-15%  $Al$ : igen erős  $Al-Ni$  és  $Al-Ni-Co$  állandó mágnesek.





## Az acélok szennyezői

- Az acélok szennyező anyagai azok a nem kívánatos elemeket, amelyek a gyártási folyamat (nyersvasgyártás, acélgyártás, további feldolgozás) során akaratunk ellenére kerül az acélba.
- Ilyen szennyező anyagnak számíthatjuk
  - a nitrogén
  - az oxigén
  - a hidrogén
  - a foszfor és
  - a kén elemeket.



# Nitrogén az acélban

- A nitrogénnek az acélgyártás során az acélba kerülő mennyisége általában csekély (0,001-0,03 %).
- Ötvözés útján az acélba vihető mennyisége 0,2-0,3 %.
- Nitridálás során szándékosan ötvözzük az acélba ezáltal – kiváló felületi jellemzőkkel (nagy keménységgel, jó kopásállósággal és kedvező csúszási tulajdonságokkal rendelkező felületi réteget tudunk előállítani.)
- *A N* tehát lehet káros szennyező anyag, de lehet hasznos ötvözőelem is.



## A *N* mint káros szennyezőanyag

- Az *O*-nel együttesen az acél ún. *öregedését* és *lúgos* (vagy szódás) *elridegését* okozza.
- **Öregedés:** a ferrites lágyacél elridegése
  - az acél alsó és felső folyáshatár-különbségének növekedése,
  - az acél nyúlásának csökkenése jelzi.
- A lágyacélok öregedésének oka:
  - a szabadon mozgó *N*-atomok a rendszer energiatartalmának csökkentésére a diszlokációs helyeken gyűlnek össze, mintegy reteszelik azokat és a képlékeny alakításhoz szükséges mozgásukat gátolják.
  - **A 0,004 %-nál nagyobb *N*-tartalmú acél öregedésre hajlamos.**



## Az öregedés kimutatása

- A lágyacél öregedési hajlamát ún. **mesterséges öregítő próbával** ellenőrzik. Ennek lényege:
  - 10 %-os mértékű képlékeny hidegalakítás után a lágyacél próbadarabot egy óráig 250 °C-on főzik. Az alakítást a diszlokációk számának növelése, a hevítést a diffúziós folyamat gyorsítása miatt alkalmazzák.
  - Az ilyen mesterségesen **öregített állapotban végzett fajlagos ütőmunka** vizsgálat eredménye az eredeti állapotban kapott fajlagos ütőmunkához képest az acél **öregedési hajlamával arányos csökkenést mutat.**



## A lúgos elridegedés

- A **szemcsehatár-maródás** (korrózió) az öregedésre hajlamos, *N*-nel és *O*-nel szennyezett acéloknál, főleg **kazánlemezeknél**.
- Az ilyen lágyacélok húzófeszültségi állapotban meleg **lúgok, vagy sóoldatok** maró hatásának kitéve, **törékenyekké válnak** és a feszültségek hatására a szemcsehatárok mentén tovaterjedő, sokszor az **egész keresztmetszeten átmenő repedést** szenvednek.
- Ilyen jelenségek a kémiai iparban használt *lúgbesűrítő kazánoknál* és a szódával lágyított tápvízzel táplált *gőzkazánoknál* fordulnak elő.



# Az öregedés és a lúgos elridegedés elhárítása

- Mindkét káros jelenség megelőzésére  $Al$ -mal való kezelést, ún. *csillapítást* alkalmaznak.
  - A folyékony acélba  $Al$ -ot adagolnak.
  - Az  $Al$ -nak egyaránt igen nagy a vegyrokonsága az  $O$ -hez és a  $N$ -hez, így azokat állandó vegyületek,  $Al_2O_3$  és  $AlN$  alakjában leköti,



# A Nitrogén mint hasznos ötvözőelem

- A  $N$  mint hasznos ötvözőelem több területen is szerepel:
  - **nitridálásnál**, felületi keménységet adó diffúziós ötvözőelem,
  - mint a  $\gamma$ -mezőt tágító ötvözőelem, amely minőségében **0,2 %  $N$**  2-4% nikkelt helyettesíthet az **ausztenites  $CrNi$  acélokban**.
  - **Normalizált szerkezeti acélokban** elsősorban  $V$ -mal  $Nb$ -mal stabil **nitrideket képez**:
    - így, **mint mikroötvöző egyrészt növeli az acél szilárdságát,**
    - másrészt **megakadályozza a szemcsedurvulást.**



# Oxigén az acélban

- Az oxigén az acélban kétféle alakban fordul elő
  - oldott állapotban a ferritben és
  - kötött állapotban, mint oxid-záródmány.
- *N*-nel együtt - öregedés és lúgos elridegedés előidézése.
- **Kis hőmérsékleten olvadó oxid-záródmányok kovácsolás közben fellépő **vöröstörést** okozhatnak éppúgy, mint a *Fe-FeS* eutektikum.**
- Károsak a nagy hőmérsékleten olvadó oxid-záródmányok is,
  - soros, vagy szálas szerkezetet okoznak
  - a szálas szerkezetű hengerelt acél szilárdsági, és főleg nyúlási tulajdonságai keresztirányban kisebbek, mint hosszirányban.





# Hidrogén az acélban

- Oldott é elnyelt gáz állapotban ( $H_2$ ) is jelen van és **minden körülmények között káros szennyezőnek számít.**
- Az acél  $H_2$  elnyelő képessége a hőmérséklettel csökken és így dermedés közben a korábban elnyelt  $H_2$  nagy részét, kb. felét kilöki.
- A megszilárdult acélból a benne rekedt  $H_2$  gáz kiszabadulni igyekszik. Távozását  $200\text{ }^\circ\text{C}$ -ra való hevítéssel lehet elősegíteni.
- **Az elnyelt  $H_2$  az acélt ridegíti, nyúlását erősen csökkenti.**
- $H_2$ -t vehet fel az acél az újrakristályosító izzítás után alkalmazott, a revét eltávolító pácolás, savmaratás közben is.
  - Következménye: a pácridegség, elkerülése:
    - néhány napos pihentetés, vagy
    - $200\text{ }^\circ\text{C}$ -on ki kell főzni



## A Hidrogén további kedvezőtlen hatásai

- Sok acélnak, elsősorban a **krómnikkel- és króm-acéloknál fordul elő az ún. *pelyhesség*, vagy *fénylő foltosság*,**
  - a helyenként összegyűlő és a nagy feszültség alatt távozni igyekvő, de bezárt  **$H_2$  repesztő hatása** folytán keletkezik
  - a törésfelületen kerek, fényes foltok alakjában jelentkezik
- A *H*-nek káros hatása még az acélra az erős *C*-elvonó hatása
- A hidrogénnek jelentős szerepe van az acélok hegesztésénél is:
  - a hidrogén növeli a **varratok szomszédságában keletkező repedések veszélyét**. A varratba kerülő hidrogéntartalom a hegesztő elektródák lényeges jellemzője.



- A foszfor általában szennyező anyagnak számít, mert
  - az **ütőmunkát**, tehát a **szívósságot** már 0,1%-nál kisebb mennyiségben is nagyon **rontja**.
  - Szerkezeti acélokban megtűrt felső határát 0,05 %-ban adják meg.
- Alkalmazzák az ún. automataacélokban a **forgács törékennyé tételére**.
- Az **öntöttvasat híg folyóssá** teszi, azért a vékony falú, tagozott öntvények adagjaiba ötvözőként is adják



- "**vöröstörés**" okozója (kovácsolás, hengerlés)
    - alacsony olvadáspontú, puha **vasszulfid** (FeS) az acélban a kristallitok között **hálószerűen kristályosodik** ki.
    - Oka: Kovácsoláskor ez a háló már alacsonyabb hőmérsékleten (985 °C-on) is megolvad és a kristallitok deformációjakor és elcsúszásakor **repedések kiindulásának a helye.**
  - A melegtörés 1200 °C körüli hőmérsékleten következhet be a hálós vas-szulfidnak az acélhoz képest alacsonyabb hőmérsékleten való dermedése miatt.
- A szabványos acélok **maximális kéntartalma 0,05%** lehet.



## A vöröstörés , illetve a melegtörékenység csökkentése

- Mindkét törési veszedelem elkerülhető az olvadt acélnak **Mn-nal való kezelésével**.
- A  $Mn$ -nak a  $S$ -hoz való vegyrokonsága nagyobb lévén, ekkor inkább  **$MnS$  (mangánszulfid) keletkezik**, amelynek **olvadáspontja ( $1620\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) nagyobb a vasénál**.
- Ezen kívül nem hálósan, hanem **pontszerű zárványok** alakjában helyezkedik el az acélban és így **nem okoz repedést**.
- Hasznos ötvözője a  $S$  az automata-acéloknak, amelyekben **0,15-0,30 %-ban ötvözve, a forgácsot törékennyé teszi** és így a lágyacélnak automatákon való megmunkálását javítja. Az ilyen acél nem kenődik el a forgácsoláskor.



- **Mn**: dezoxidens, S – tartalom csökkentésére, 1,7 % felett ridegít
- **Si**: dezoxidens, ridegít
  - Si < 0,07 % csillapítatlan acél
  - Si > 0,12 % csillapított az acél
- **S**: vöröstörékenységet okoz, hegesztésnél kristályosodási repedést okoz
- **O**: ridegít, öregedést elősegíti
- **N**: öregedést okoz
- **H**: pelyhesedést okoz

**Az ötvözők általában növelik az átedzhető átmérőt**



**KÖSZÖNÖM A  
FIGYELMET!**