

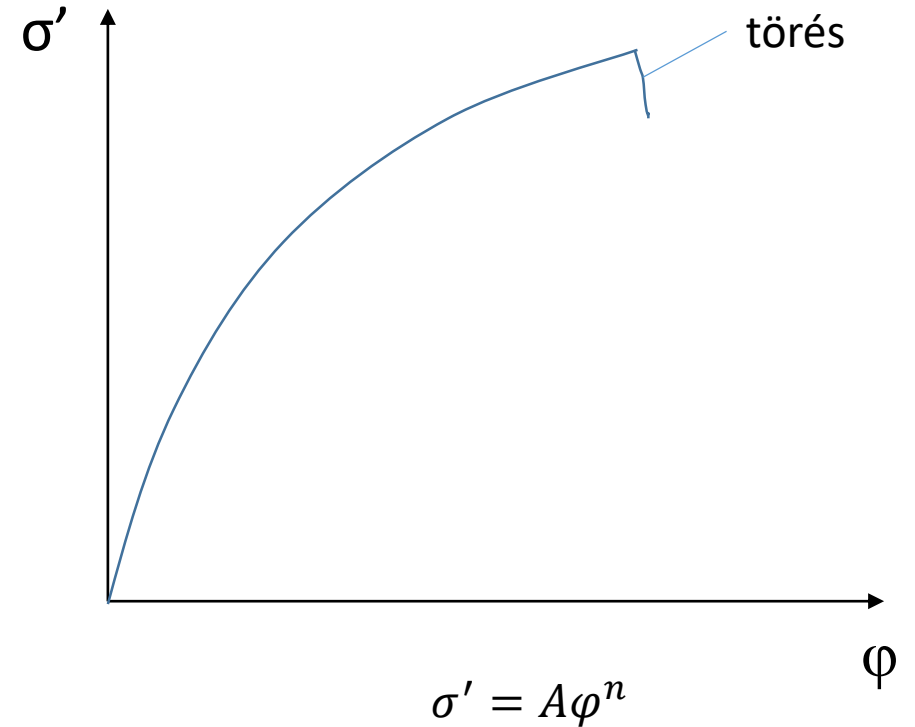
# Korszerű acélfejlesztési irányok

# Korszerű acélfeljesztési irányok

- Korszerű acélfajtákkal szemben támasztott követelmények
  - Komplexebb követelményrendszernek kell megfelelni
    - Nagy szilárdság
    - Jó megmunkálhatóság (alakíthatóság, hegeszthetőség, forgácsolhatóság)
    - Szívósság
    - Rideg töréssel szembeni ellenállóképesség
    - Olcsó legyen
- Szilárdságnövelő módszerek acéloknál
  - Képlékeny hidegalakítás
  - Oldási és kiválósos keményítés
  - Martenzites átalakulás
  - Szemcsefinomítás
- Mindegyik módszer azon alapul, hogy valamilyen módon a diszlokációk mozgása nehezebbé válik.

# Képlékeny hidegalakítás

- Szilárdság növekedés:  $\Delta\sigma = k\sqrt{\rho}$   
 $\rho$  – diszlokáció sűrűség  
    lágýtott fémek:  $\rho = 10^6 - 10^7 \frac{1}{\text{cm}^2}$   
    hidegen alakított:  $\rho = 10^8 - 10^{11} \frac{1}{\text{cm}^2}$   
 $k$  – diszlokáció típusától függő állandó
- Csak akkor alkalmazható, ha az üzemi hőmérséklet nem haladja meg az újrakristályosodási hőmérsékletet.
- Színfémeknél, nem hőkezelhető ötvözeteknél gyakran alkalmazzák.



$A$  – keményedési együttható  
 $n$  – keményedési kitevő  $0 < n < 1$

# Oldási keményedés

- Szilárdság növekedés néhány százalék ötvöző taralomig:

$$\Delta\sigma = G\varepsilon^2 c$$

G – csúsztató rugalmassági modulusz

c - oldott atomok koncentrációja

$\varepsilon$  – rács deformáció

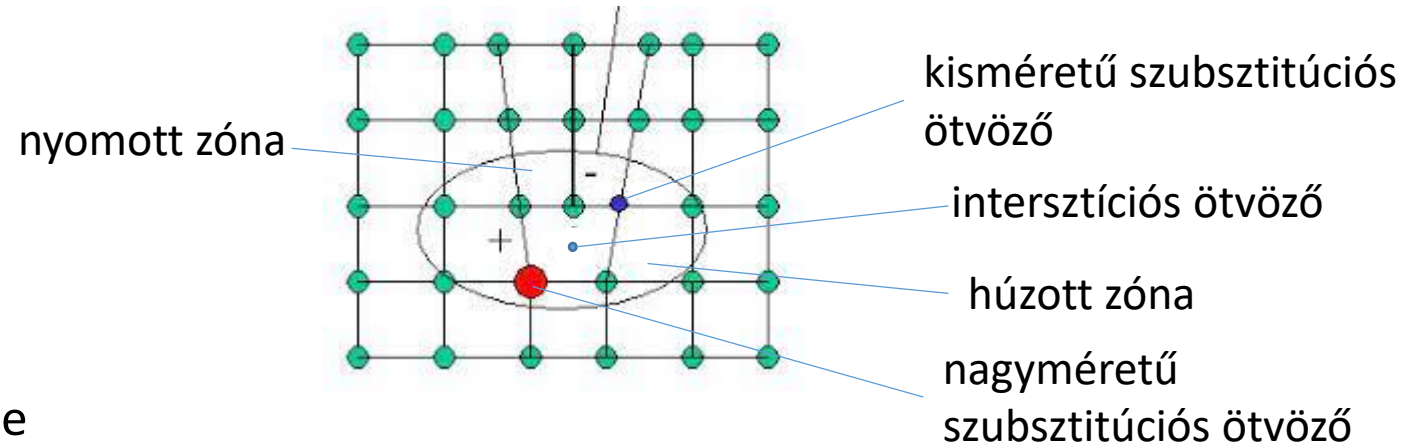
$$\varepsilon = \frac{d_0 - d}{d_0}$$

$d_0$  – rácsot alkotó ionok átmérője

d – oldott ionok átmérője

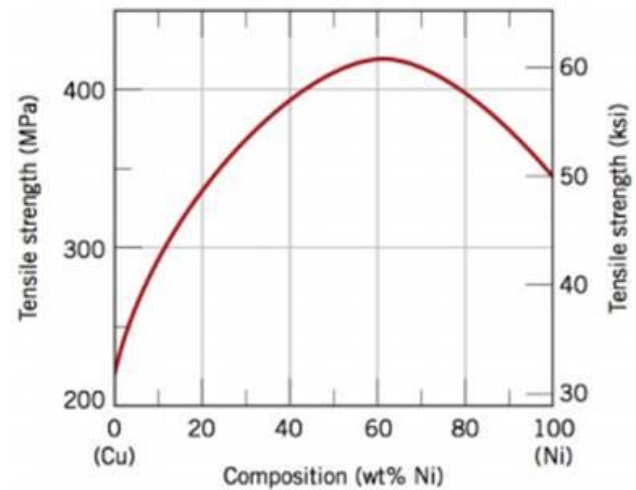
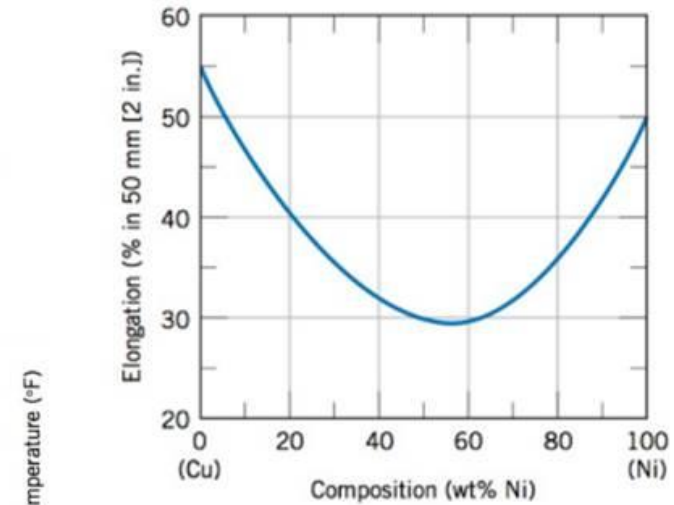
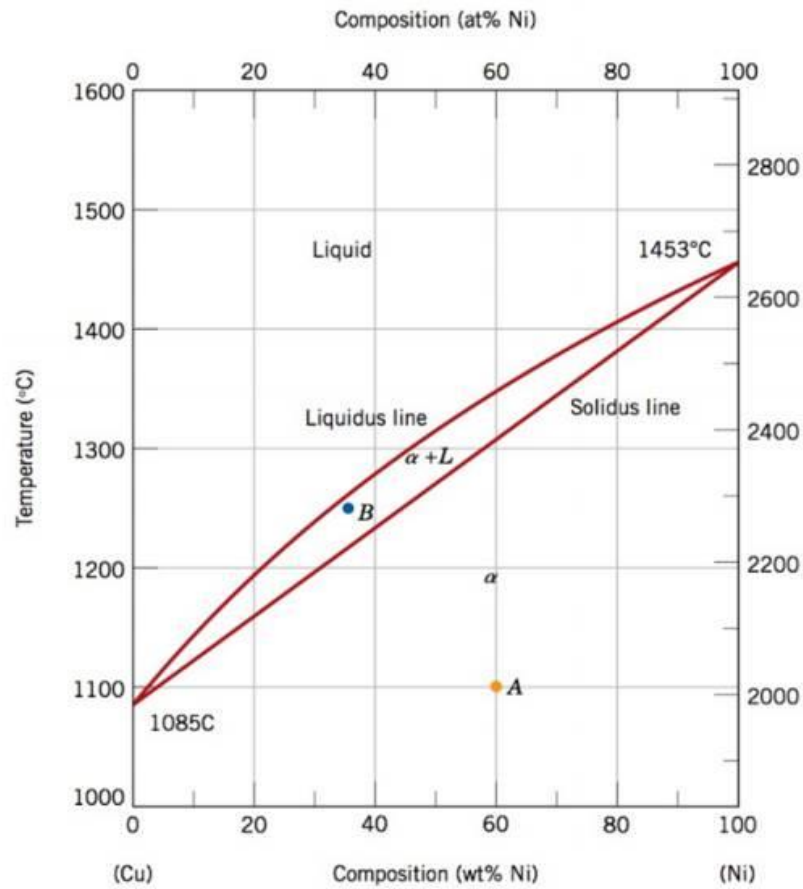
Szilárd oldat képződése során az ötvöző atomok egy része a diszlokációk rugalmasan torzult környezetében helyezkedik el.

- A diszlokációk idegen atomokkal dús környezetét Cottrell- atmoszférának hívják



- A diszlokációkat az oldott atomok leblokkolják, nehezítik a mozgásukat → szilárdság növekedés

# Oldási keményedés



# Kiválásos keményedés

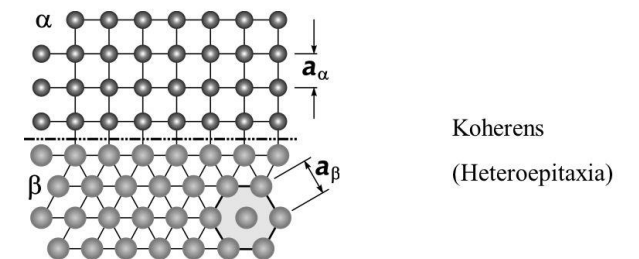
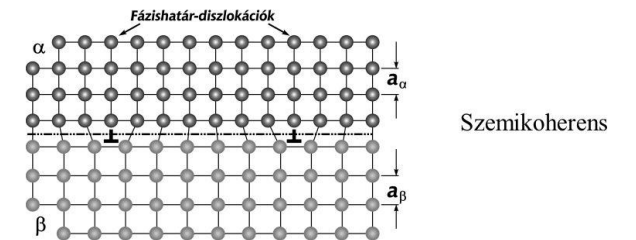
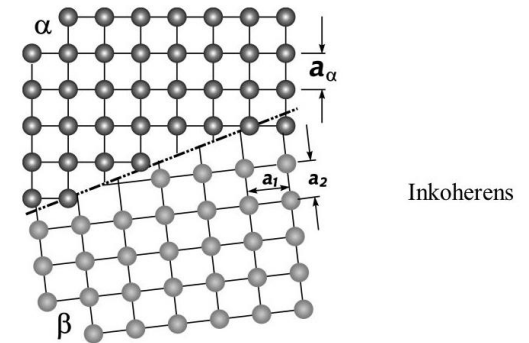
- Korlátolt oldhatóság esetén az oldhatósági határ felett az oldó és az oldott atomok külön fázist alkotnak

pl. fémes vegyületek  $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Cr}_2\text{C}_3$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{TiN}$

Szilárdság növekedés koherens fázishatár esetén:

$$\Delta\sigma = 2G\varepsilon c$$

A fázishatárok akadályozzák a diszlokációk mozgását. A szilárdság növekedés nagyobb, mint az oldási keményedés



# Diszperziós keményedés

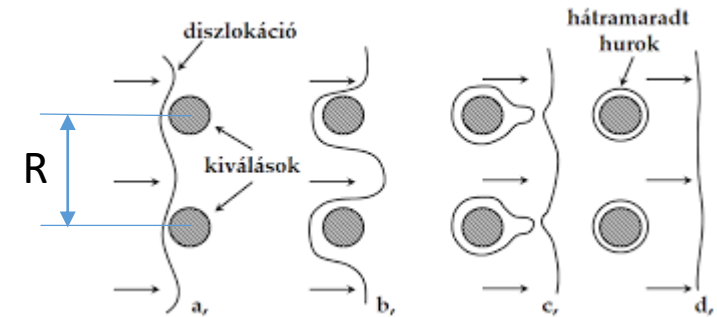
- Egyensúlyi fázis kialakulásakor a koherens fázishatárok megszűnnek.
- Az inkohereus fázishatárú, nem oldódó kiválások által okozott keményedést hívjuk diszperziós keményedésnek. A diszlokációk nem tudnak áthatolni rajta, hanem megkerülik azt.
- A diszperziós keményedéssel elérhető szilárdság összemérhető az oldási keményedéssel, de alatta marad a kiválásos keményedésnek.
- Stabilitása attól függ, hogy a diszperz részecskék aránya a hőmérséklet függvényében hogyan változik.

$$\text{Szilárdság növekedés: } \Delta\sigma = \frac{Gb}{R}$$

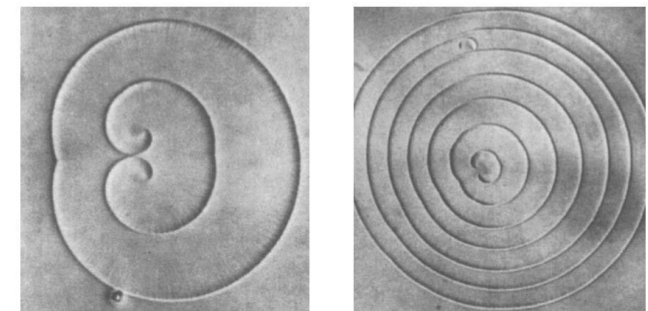
b – Burgers vektor

R – kiválások távolsága

G – csúsztató rugalmassági modulusz

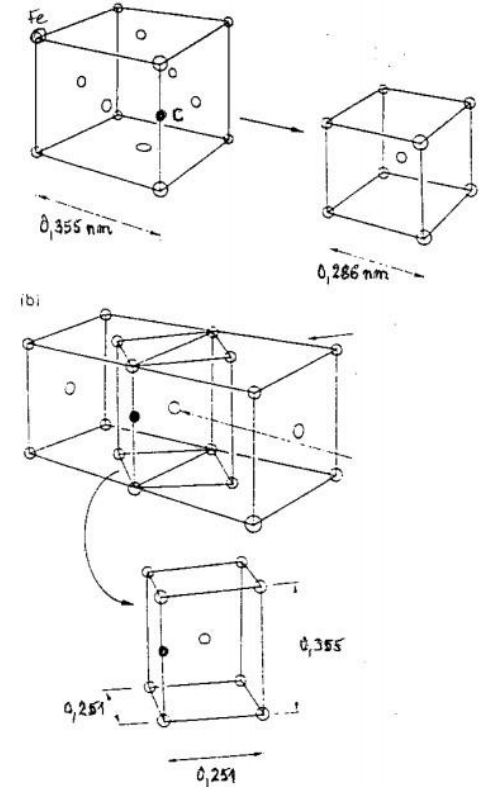
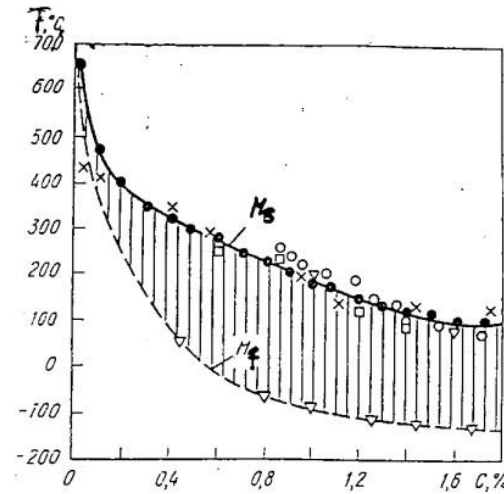


Frank-Read forrás TEM képe



# Martenzites átalakulás

- $\gamma \rightarrow \alpha'$ 
  - Nem egyensúlyi átalakulás
  - Diffúziómentes
    - Túltelített szilárd oldat
  - Hőmérséklettől függ ( $M_s$ ,  $M_f$ )
  - Fajtérfogat növekedéssel jár ( $\approx 3\%$ )
    - Helyi képlékeny alakváltozással jár ( $\varphi=0.6-0.8$ )
    - Diszlokációsűrűség megnő (akár 4 nagyságrend)





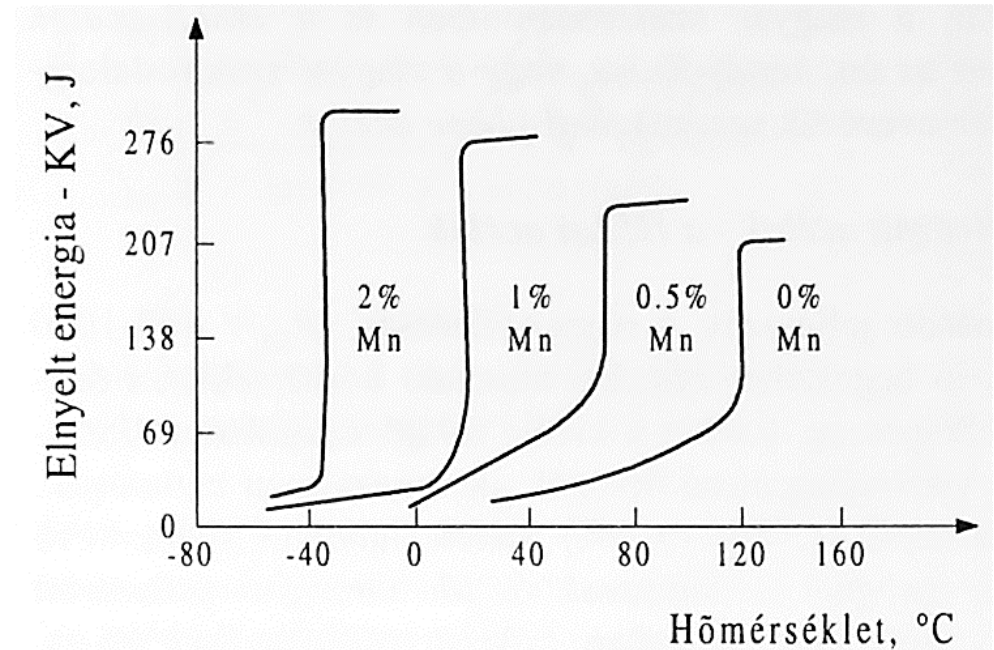
# Szemcsefinomítás

- A diszlokációk számára a szemcsehatárok áthatolhatatlan akadályt jelentenek általában.
- Minél finomabb a szemcseszerkezet, annál hamarabb blokkolódnak a diszlokációk.
- Hall-Petch összefüggés:  $R_p = R_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$ 
  - d - szemcseátmérő
  - k – anyagtól függő állandó
  - $R_0$  – szemcse folyáshatára

# Nagy szilárdságú gyengén ötvözött acélok

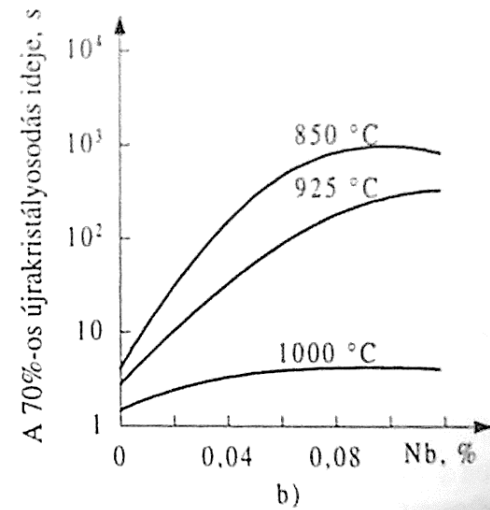
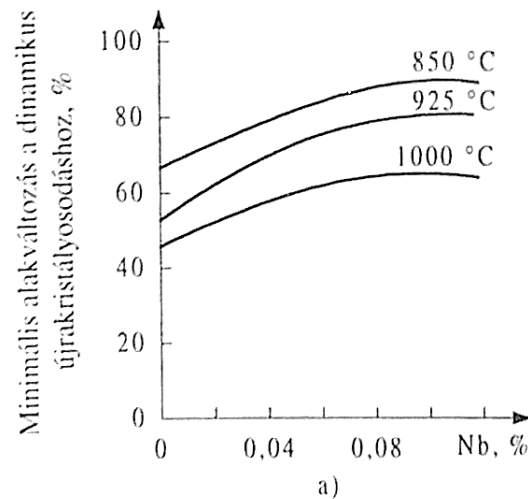
## High Strength Low Alloyed (HSLA)

- A jó tulajdonságokat kis mennyiségű és viszonylag olcsó ötvözők alkalmazásával érik el.
  - Ötvözők:
    - Szén tartalom  $C=0.1-0.2\%$ 
      - Jó alakíthatóság
      - Jó hegeszthetőség
      - Kis átmeneti hőmérséklet
    - Mangán tartalom  $1-1.7\%$ 
      - Szilárdság növelő hatású
      - Sok nem jó, mert csökkenti az  $M_s$  hőmérsékletet
      - Csökkenti az átmeneti hőmérsékletet (TTKV)
    - Mikroötvözők összes mennyisége  $\leq 0.2\%$ 
      - V, Nb, Ti, Al, Zr, B



# Nagy szilárdságú gyengén ötvözött acélok

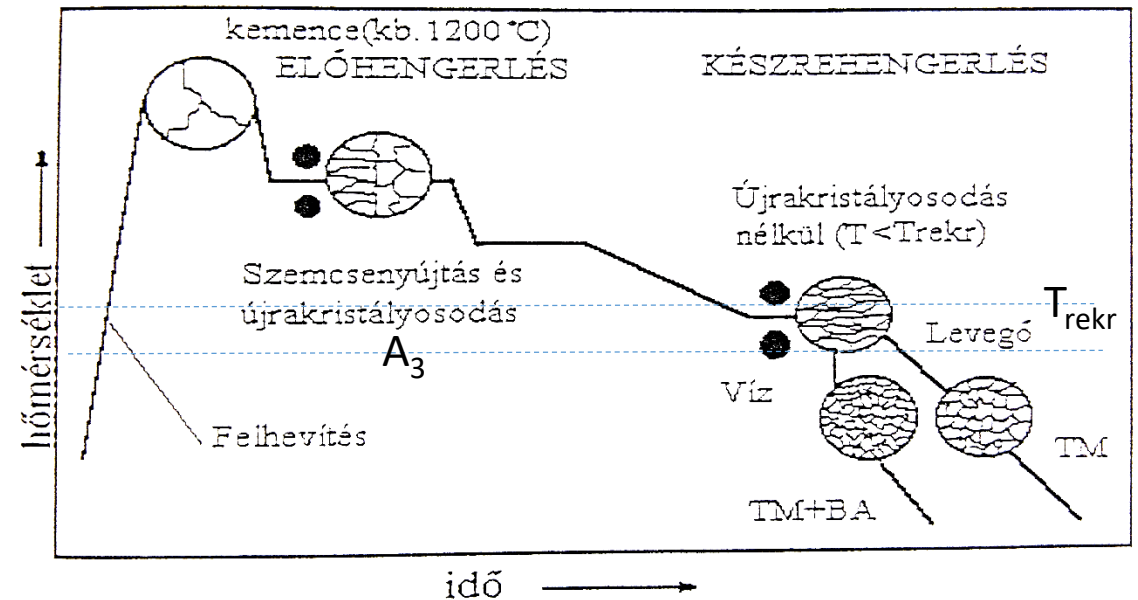
- Több szilárdságnövelő mechanizmust kombinálnak:
  - Oldási keményedés Mn, Al
  - Kiválásos keményedés
    - kis mennyiségű, nehezen oldódó, diszperz eloszlású karbidok, nitridek (V, Nb, Ti)
    - Szemcsefinomító hatás – késlelteti az ausztenit szemcsék újrakristályosodását



# Nagy szilárdságú gyengén ötvözött acélok

## • Termomechanikus hengerlés

- Optimális hőmérsékleten végzett képlékeny alakítás és szabályozott hűtési folyamat összessége.
- Cél: extra finom szemcseméret elérése.
- Folyamata:
  - Előhengerlés, normalizáló hengerlés
    - Mikroötvözők és a C, N oldatban vannak
  - Hőmérséklet csökkentések
    - Karbidok nitridek kiválása megindul a szemcsehatárokon
    - Ezek akadályozzák az ausztenit szemcsék növekedését, újrakristályosodását →  $T_{rekr}$  nő
  - Készrehengerlés
    - Az alakítás utolsó fázisa (termomechanikus hengerlés) újrakristályosodás nélkül történik
    - Az ausztenit szemcsék erősen deformálódnak
    - Megnő az alakítási ellenállás → speciális, erősebb hengerversor szükséges, lemezvastagság korlátozott
  - Hengerlés utáni lehűtés
    - $A_3$  hőmérsékletet átlépve végbemegy a  $\gamma \rightarrow \alpha$  átalakulás
    - Keletkező ferritszemcsék mérete függ a kiinduló ausztenitzemcsék méretétől, alakítottságától, hűlési sebességtől

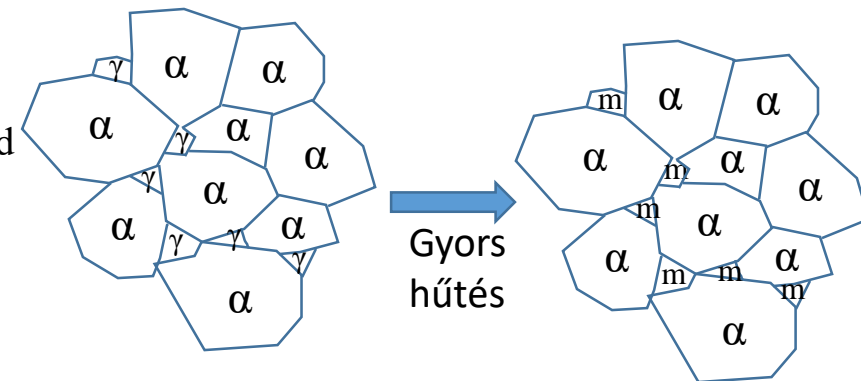
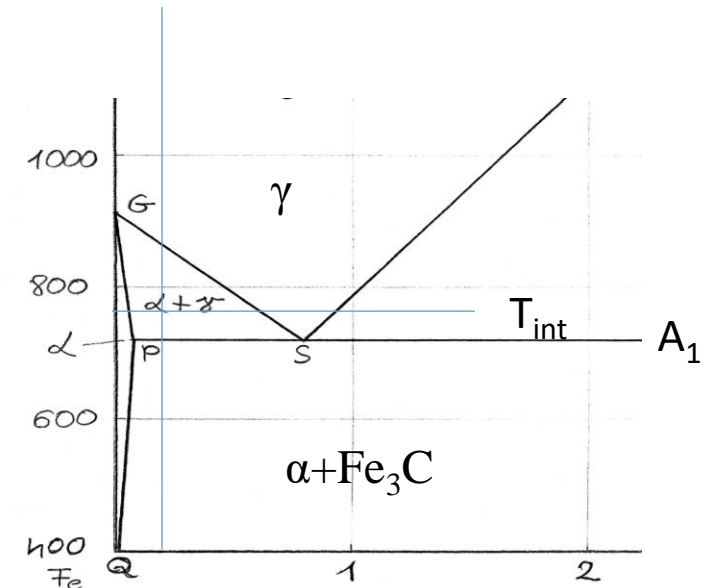


1. ábra

A termomechanikus hengerlés folyamata

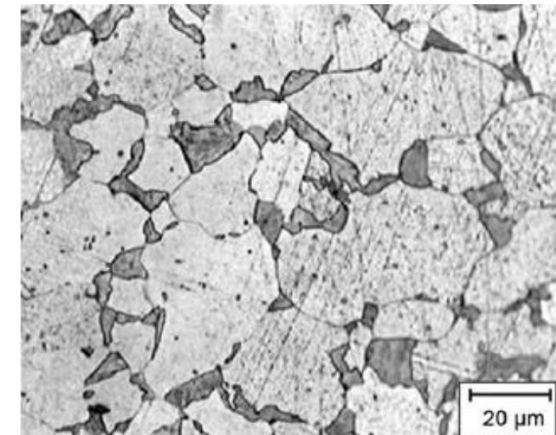
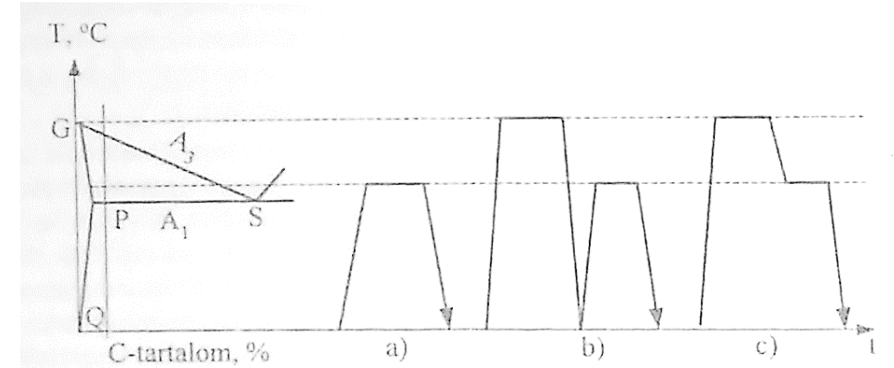
# Kettős fázisú acélok (Dual-Phase)

- DP acélok ötvözői
  - Hasonló a HSLA acélokhhoz
  - Si – segíti a ferrites átalakulást, gátolja a cementit kiválását
  - Cr, Mo – lassítja a perlit és a bénit képződést
- DP-acélok hőkezelése
  - A jó tulajdonságokat egy különleges hőkezelési eljárásnak köszönheti.  
(interkritikus izzítás + edzés)
  - Interkritikus izzításkor egy adott  $\gamma/\alpha$  arányt (10-20% ausztenit) állítanak be.
  - A  $T_{int}$  értékét a mennyiségi szabály segítségével lehet meghatározni adott ötvözet esetén.
  - Az egyensúlyi állapotú ausztenit C tartalmát a minőségi szabály alapján lehet meghatározni.
  - Az izzítás alatt a ferrit felől a C az ausztenit felé diffundál. → Edzhetővé válik
  - Gyors hűtés hatására az ausztenit martenzitté alakul át.
  - A fajtérfogat növekedés miatt a körülötte lévő ferrit képlékeny alakváltozást szenved el.
- Szövetszerkezete: Lággy ferritbe ágyazott 10-20% martenzit.



# Kettős fázisú acélok

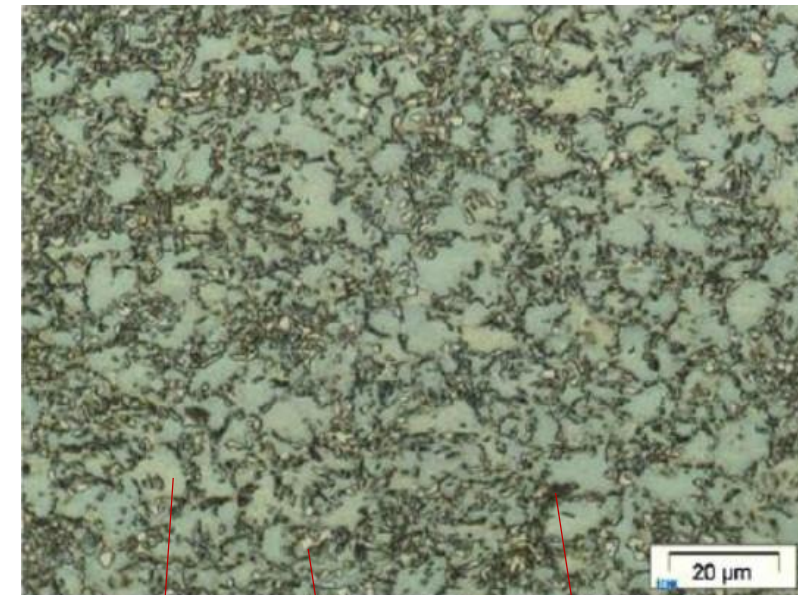
- DP acélok tulajdonságai:
  - Alapvetően a martenzit mennyisége és eloszlása határozza meg.
    - Martenzit mennyisége 10-20%
    - Eloszlása – a diszperz eloszlás a kedvező
      - Nagy szakítószilárdság mellett szokatlanul jó képlékenység
      - Szakítási diagram folytonos, nincs folyáshatár.
      - Alakítási keményedési kitévőjük meglehetősen nagy
      - A mechanikai tulajdonságaiban kismértékű anizotrópia észlelhető.
- Gyártása
  - Áthúzó kemencében
    - Vékony lemezek esetén 2-10 perc alatt kialakul a megfelelő  $\gamma/\alpha$  arány.
  - Kamrás kemencében
    - Nagyobb darabok esetén kamrás kemencében az izzítás 1-3 óráig tart
    - Durvább lesz a szerkezete
  - Termomechanikus hengerlés után végzett interkritikus izzítással
    - A finom szemcseszerkezetnek köszönhetően így érhető el a legkedvezőbb tulajdonágok.



# TRIP acélok (Transformation Induced Plasticity)

- DP acélok továbbfejlesztett változata
  - Fázisok minősége, mennyisége előre meghatározott
  - Szövetszerkezete: ferrit, bénit és legalább 5% maradék ausztenit
- Tulajdonságai:
  - Az előnyös tulajdonságokat nem ötvözéssel érik el, hanem tudatos anyagtervezéssel.
  - Az előnyös tulajdonságok képlékeny alakítás hatására jelentkeznek.
    - Nagy szilárdság
    - Jó alakíthatóság
- Felhasználásuk:
  - Autóipar
  - Rögzítőelemek
  - Tűk
  - Huzalok

↓  
martenzit



ferrit

auszenit

martenzit,  
bénit

# TRIP acélok

- Jellemző összetétel és ötvözők:
  - C=0.12-0.55%
  - Mn=0.2-2.5%
  - Si=0.4-1.8% galvanizálhatóságot rontja
  - Al – a Si-ot helyettesítheti, de növeli az  $M_s$ -t,
  - P=0.05-0.1% kis Si tartalom mellett növeli a maradék ausztenit mennyiségét
- Gyártása:
  - Kétlépcsős hőkezelési eljárással állítják elő
  - Hőkezelés célja a minél magasabb C tartalmú maradék ausztenit létrehozása, mert így az  $M_s$  szobahőmérséklet alá csökken és nem megy végbe a  $\gamma\alpha$  átalakulás. → képlékeny hidegalakítás hatására ez az ausztenit martenzitté alakul → felkeményedést okoz, hozzájárul a képlékeny alakváltozáshoz

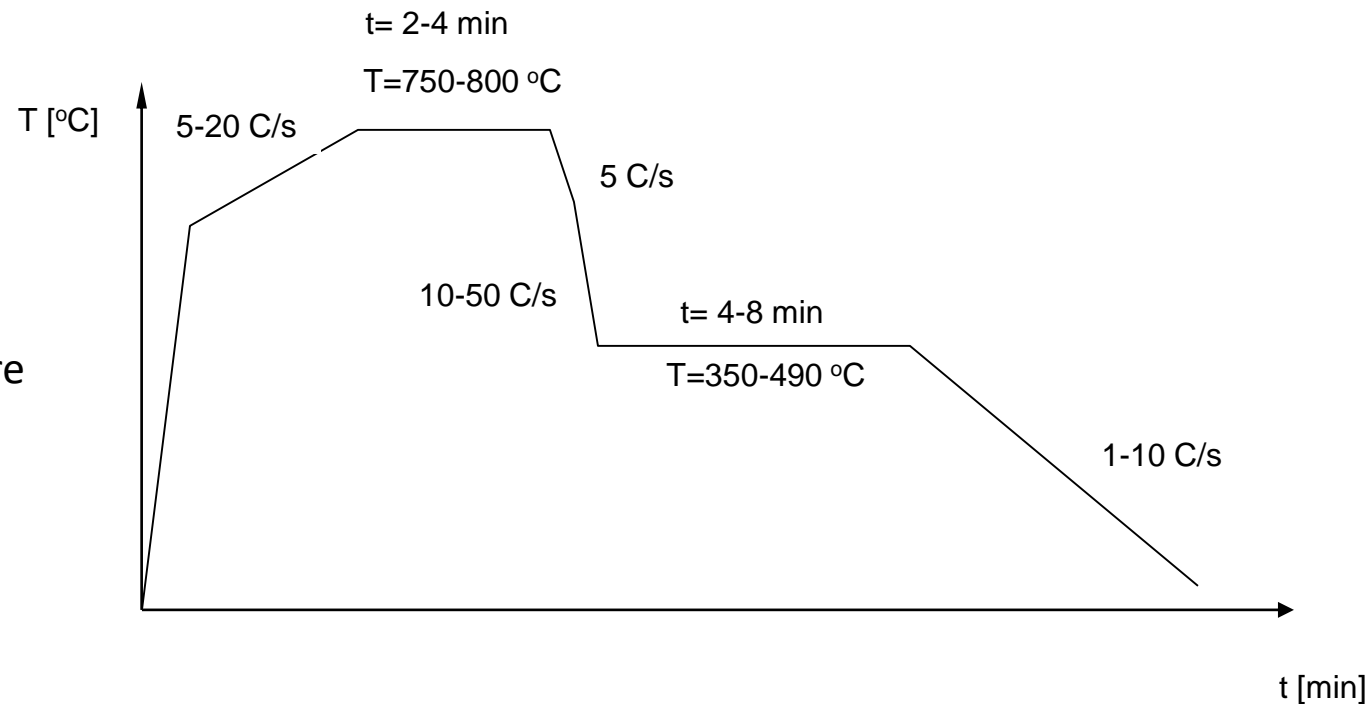


# TRIP acélok

- Kiinduló alapanyag:
  - Finomszemcsés hidegen alakított acél

- Hőkezelés lépései

1. Gyors hevítés  
interkritikus hőmérsékletre
2. Interkritikus izzítás  
C tartalom 0.3-0.4%-ig növekedik  
teljes cementit tartalom feloldása
3. Gyors hűtés  
perlit kiválás elkerülése miatt  
az auszttéperálás hőmérsékletére
4. Ausztemperálás  
bénites átalakulás megy végbe  
a maradék ausztenit C tartalma  
1.5-2%-ig nőhet
5. Végső hűtés  
lassú hűtés mellett az ausztenit  
jelentős része megmarad



# Martenzites átalakulás alakítás közben

- A finoman elosztott maradék ausztenit feszültség hatására átalakul martenzitté, ami együtt jár egy jelentős alakváltozással.
- A maradék ausztenit stabilitása attól függ, hogy az  $M_s$  hőmérséklet elég alacsony-e.
- A TRIP acélok képlékeny alakításának szempontjából három hőmérsékleti tartományt különböztethetünk meg:

## 1. $M_s$ - $M_s^\sigma$ tartomány

Az  $M_s$  hőmérsékleten már mechanikai feszültség nélkül is megindul a martenzites átalakulás. Ha emelkedik a hőmérséklet, akkor egyre nagyobb mechanikai feszültség kell az átalakulás megindításához, mivel az átalakulás kémiai hajtóereje csökken. Ebben hőmérséklettartományban az ausztenit a meglévő kristálycsírák helyein alakul át martenzitté. Elérve az  $M_s^\sigma$  hőmérsékletet a maradék ausztenit martenzitté való átalakulása akkor indul meg, ha a feszültség eléri az ausztenit folyáshatárát.

# Martenzites átalakulás alakítás közben

2.  $M_s^\sigma$ - $M_d$  tartomány  
 $M_s^\sigma$  hőmérséklet felett az ausztenit szemcsék képlékeny elcsúszása révén jönnek létre, döntően a csúszási kötegek metszsvonalain. Az ilyen módon létrejött martenzit nem magas széntartalmú lemezes szerkezetű martenzit, így nem is olyan rideg.
3.  $T > M_d$  tartomány  
 $M_d$  hőmérséklet felett már nincs martenzites átalakulás még képlékeny alakítás hatására sem.

- A gyakorlatban nehéz meghatározni az  $M_d$  hőmérsékletet.
- Helyette  $M_d^{30}$  hőmérséklet alkalmazzák.
- Az  $M_d^{30}$  az a hőmérséklet, ahol az ausztenit 50%-a átalakul martenzitté 30%-os alakváltozás hatására.
- A TRIP acélokat úgy kell megtervezni, hogy az  $M_s^\sigma$  és  $M_d^{30}$  hőmérséklet tartomány tartalmazza a szobahőmérsékletet.
- Vizsgálatok azt mutatták, hogy a maximális nyúlást TRIP acélok esetén 10% körüli maradék ausztenit tartalom mellett a 20-70 °C hőmérséklet tartományban lehet elérni.

