

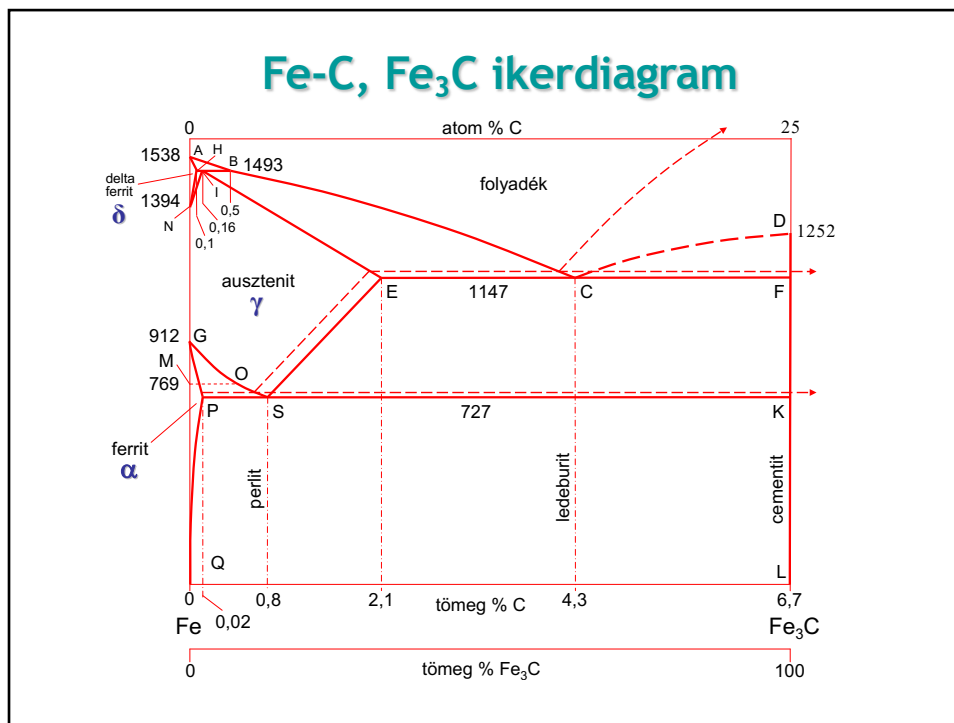
## anyagismeret

# Acélok nemegyensúlyi (fázis)átalakulásai

## Acélok hőkezelésének alapjai

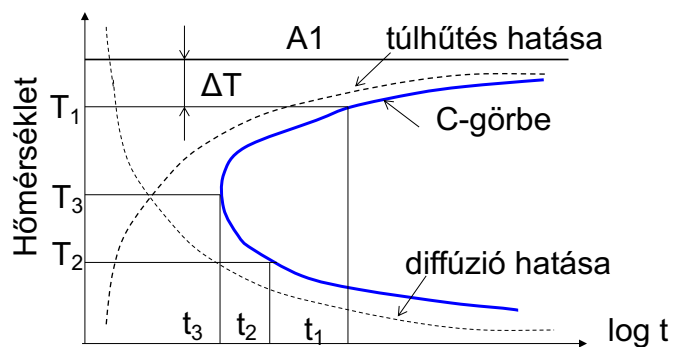
Dr. Mészáros István Attila

1



2

## A diffúziós fázisátalakulás időszükséglete (TTT vagy C görbe)

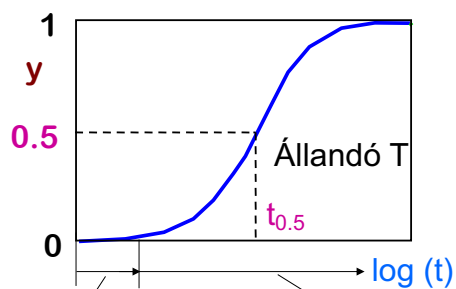


3

3

## A fázisátalakulás időbeli lefolyása

Az Avrami egyenlet a fázisátalakulást írja le:



$$y = 1 - \exp(-kt^n)$$

$$r = \frac{1}{t_{0.5}} - \text{az átalakulás sebessége}$$

$$r = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

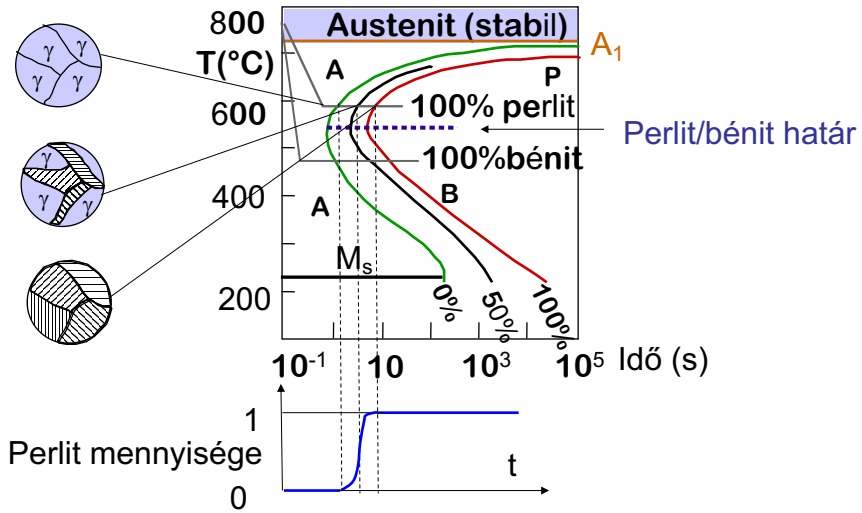
Inkubációs idő

Az átalakulás időbeli előrehaladása

4

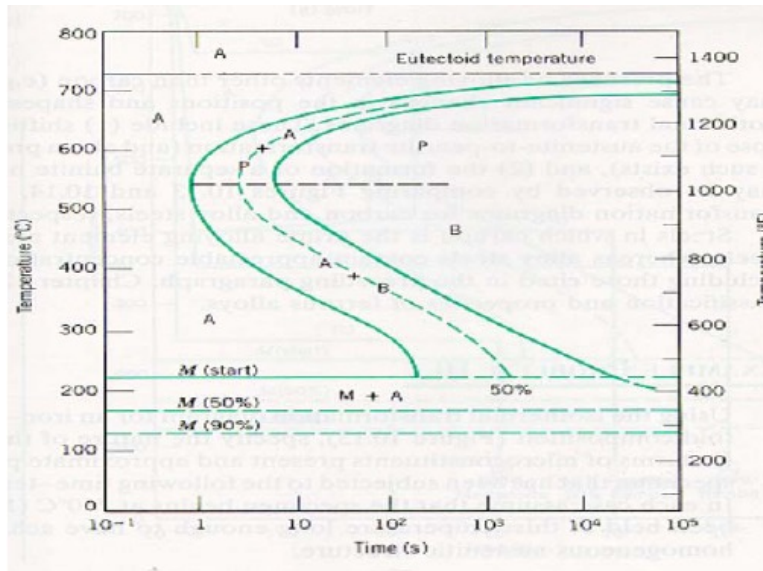
4

## Eutektoidos acél (0,8%C) izotermikus átalakulási diagram (TTT)



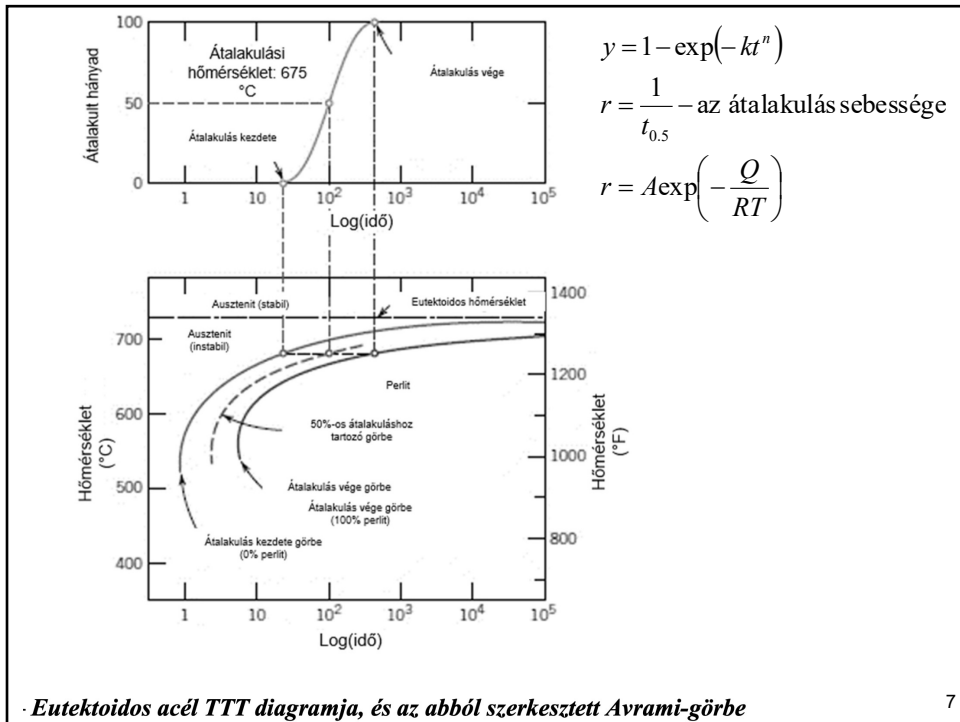
5

5



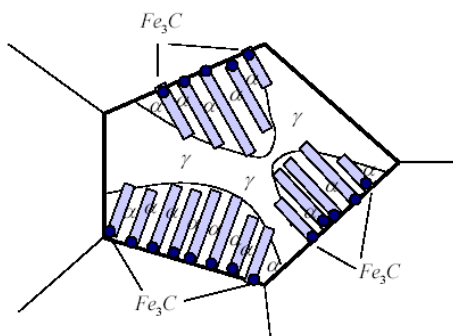
Eutektoidos acél TTT diagramja.

6



7

## Perlites (eutektoidos) átalakulás



$\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  (nagy T, lassú hűtés)

bojlás (0,8% C, 727 °C)

csíráképződés, **diffúzió**

$\gamma$  (0,8% C)  $\rightarrow$   $\alpha$  +  $\text{Fe}_3\text{C}$  (6,7% C)

6,7/0,8 = 8,37 !!!

**ausztenit határon indul  $\text{Fe}_3\text{C}$  képződéssel**

lemezes szerkezet

hűtési sebesség  $\Rightarrow$  finomság

korlátozottan, de alakítható szövet

8

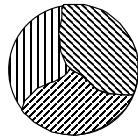
## Perlit szerkezete

$T_{\text{transf}}$  közvetlenül az  $A_1$  hőmérséklet alatt: nagyobb  $T$ , gyorsabb diffúzió.

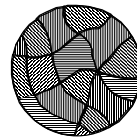
$T_{\text{transf}}$  jóval az  $A_1$  hőmérséklet alatt: kisebb  $T$ , lassúbb diffúzió.



10 μm



Kisebb  $\Delta T$ , durvább lemezek

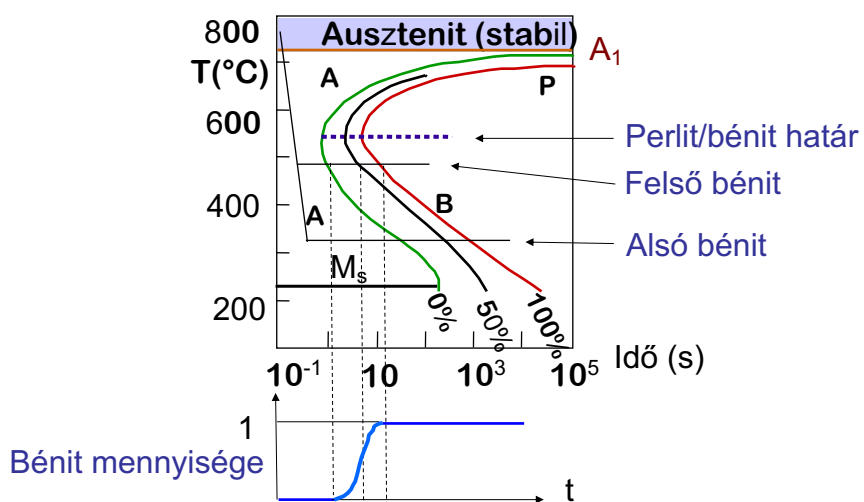


Nagyobb  $\Delta T$ , finomabb lemezek

9

9

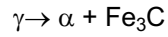
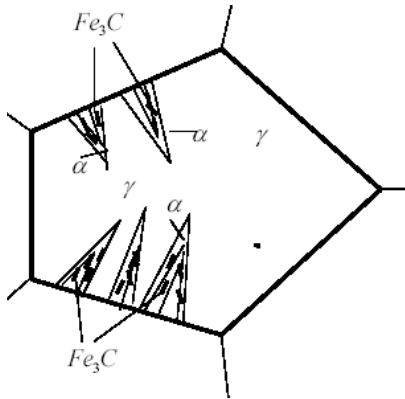
## Bénites átalakulás



10

10

## Bénites (Bainites) átalakulás



$\gamma$  (kis T, gyors hűtés,  $T = 550\text{-}230\text{ }^\circ\text{C}$ )

bomlás

csíráképződés, **diffúzió (korlátozott)**

**ausztenit határon indul ( $\alpha$  képződéssel)**

$\alpha$  ( $< 0,3\% \text{ C}$ ) !!! ( $0,02\% \text{ C}$  egyensúlyi)

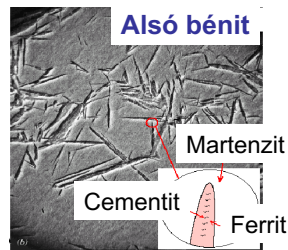
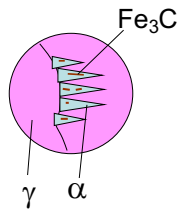
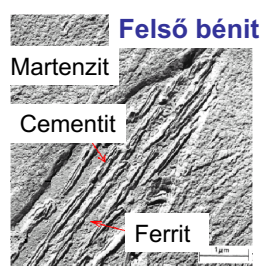
$\text{Fe}_3\text{C}$  korongok, tűs szerkezet

felső - alsó bénit

rosszul alakítható szövet

11

## Bénit szerkezete



$350\text{-}550\text{ }^\circ\text{C}$

Ferritűk és hosszú  
cementit szemcsék elegye

$200\text{-}350\text{ }^\circ\text{C}$

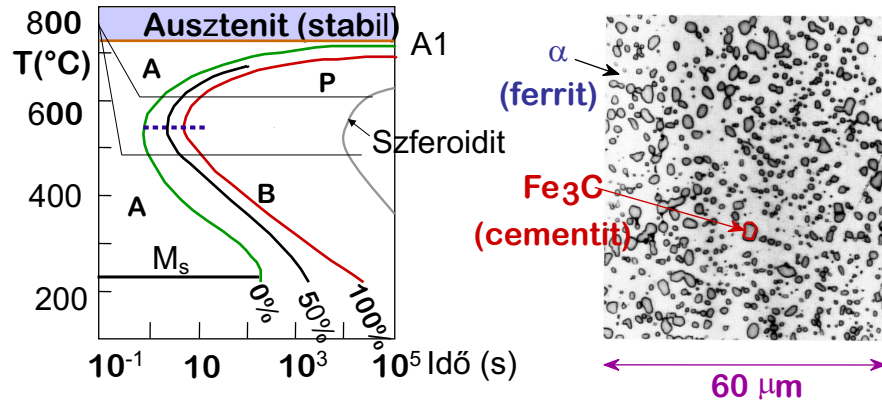
Vékony ferrit lemezek és nyújtott  
cementit szemcsék elegye

Az átalakulás sebességét alapvetően a diffúzió (kevésbé a csíráképződés) befolyásolja. A viszonylag kis hőmérséklet miatt nagyon finom struktúra jön létre.

12

12

## Szferoidit keletkezése



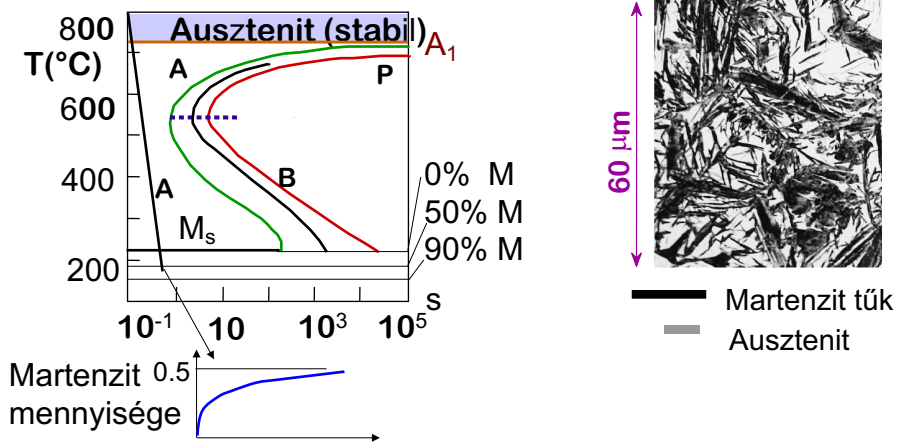
Hosszú idő alatt a perlit/bénit szerkezete átalakul (diffúzió) és apró  $Fe_3C$  gömbök jönnek létre a ferrit mátrixban.

13

13

## Martenzites átalakulás

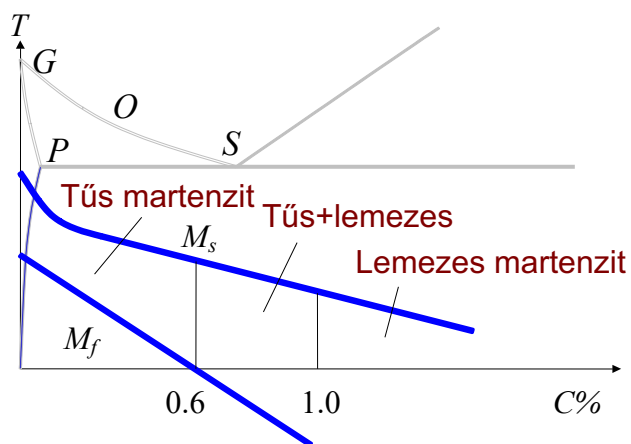
A kezdeti homogén fázisból ( $\gamma$ ) az átalakulás során homogén fázis ( $m$ ) keletkezik, csíráképződés nélkül. Nagy lehűlési sebesség esetén jön létre. Diffúzió nélküli átalakulás, a másodperc törtrésze alatt megy végbe.



14

14

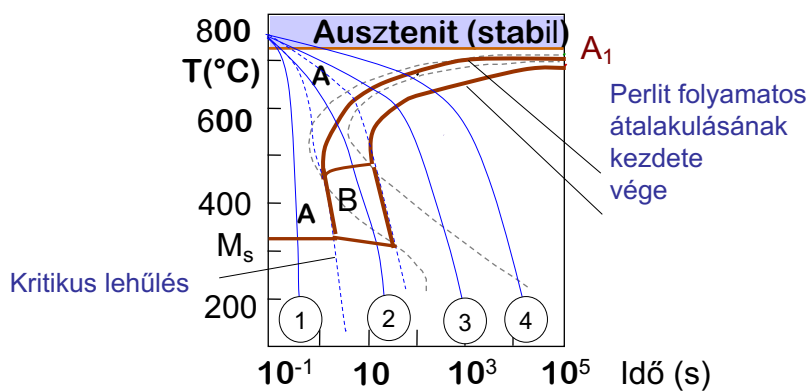
## M<sub>s</sub> és M<sub>f</sub> hőmérséklet széntartalom függése



15

15

## Eutektoidos (C=0,8%) acél folyamatos átalakulása



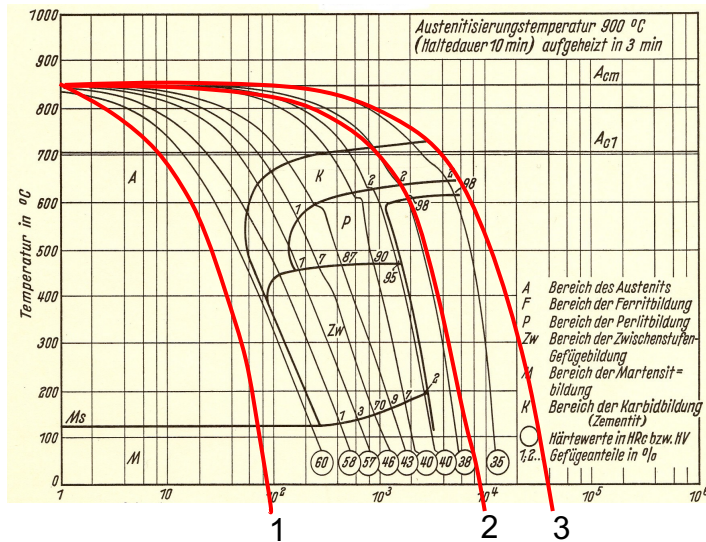
- |                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| 1. Edzés (víz):  | martenzit                        |
| 2. Edzés (olaj): | perlit és/vagy bénit + martenzit |
| 3. Normalizálás: | finom perlit                     |
| 4. Lágyítás:     | durva lemezes perlit             |

16

16



## Hipereutektoidos acél folyamatos átalakulása

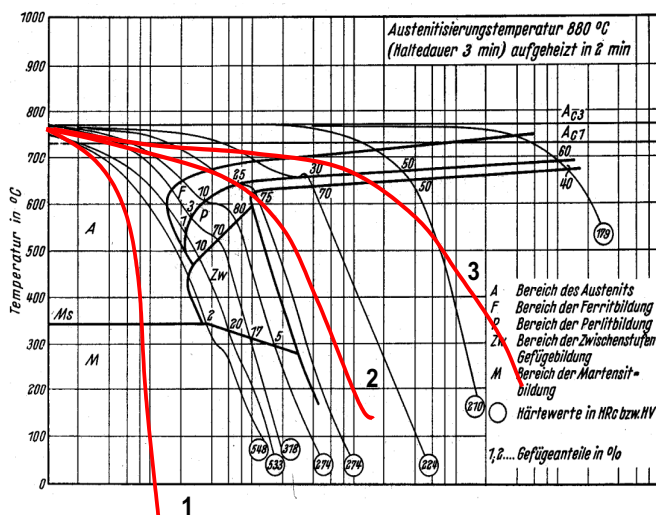


C = 1 %

1-edzés  
2-normalizálás  
3-lágyítás

17

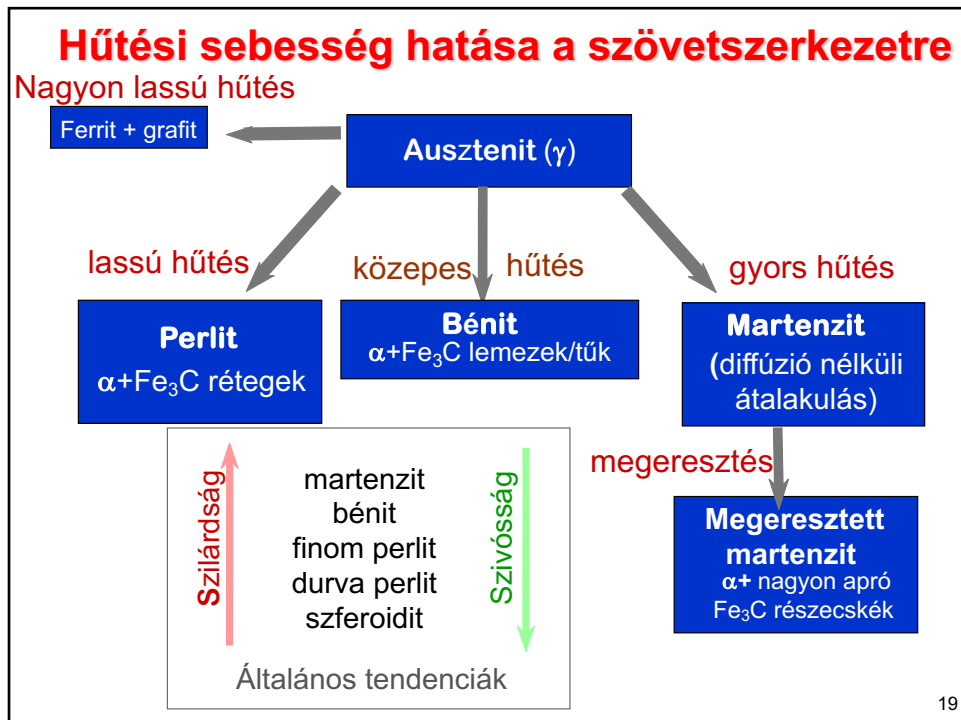
## Hipoeutektoidos acél folyamatos átalakulása



C = 0,45 %

1-edzés  
2-normalizálás  
3-lágyítás

18



19



20

- **1. Edzés**

Auszténitesítés + hőntartás + gyors hűtés (víz vagy olaj)  
Martenzites szövetszerkezet előállítása.

- **2. Megeesztés**

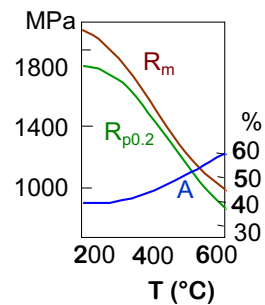
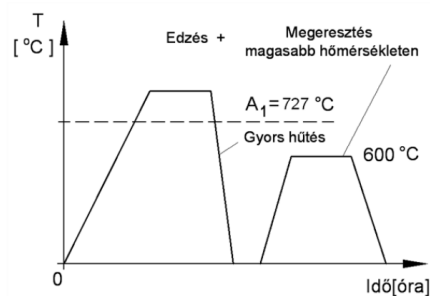
Martenzites szövetszerkezet hőntartása  $A_1$ -nél ( $727\text{ °C}$ )  
kisebb hőmérsékleten, majd lehűtése. Finom  
szövetszerkezetű perlit előállítása.

21

21

- **3. Nemesítés**

Edzés, megeesztés nagy hőmérsékleten.  
Szívós szövet előállítása.



22

22

- **5. Lágyítás**

- Egyszerű lágyítás**

- Ausztenitesítés + hőntartás + lassú hűtés (kemencével).

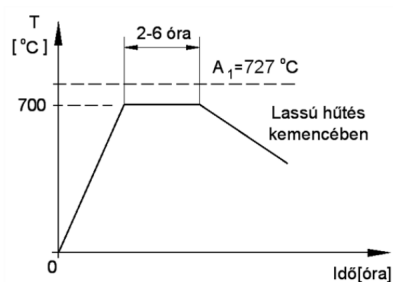
- Durva, lemezes perlit.

- Lágy, szívós anyag előállítása.

- **Szferoidizálás**

- Hőntartás + nagyon lassú hűtés.

- Lágy, szívós anyag előállítása.

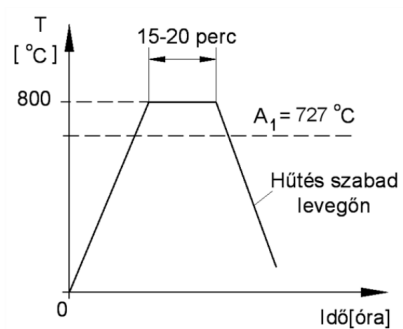


23

- **4. Normalizálás**

- Ausztenitesítés + hőntartás + levegőn való lehűtés.

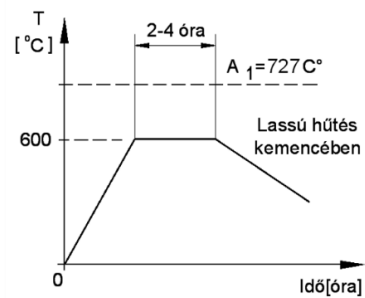
- Finom perlites szövetszerkezet előállítása.



24

## • 6. Feszültségcsökkentő hőkezelés

500-600 °C hőntartás + lassú hűtés (kemencével)  
Maradó feszültségek csökkentése.



25

25

## • 7. Betétedzés

1. Cementálás, izzítás karbon tartalmú közegben 900 °C-on 8-24 óráig
2. Edzés
3. Megeresztés.

Kéregben martenzites, belül ferrit/perlit/bainit-es szövet.

Fogaskerekek, tengelyek, csapágyak, fárasztó terhelésnek kitett alkatrészek esetén.

26

26

## Acélok hőkezelésének alapvető típusainak áttekintése

Feszültségcsökkentő hőkezelések

Lágyító hőkezelések

Egyszerű lágyítás

Szferoidizálás

Keménységet növelő hőkezelések

Edzés

Betétedzés

Szívósságot fokozó hőkezelések

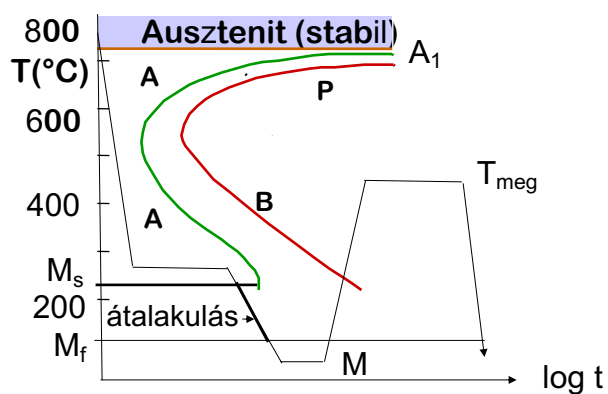
Nemesítés

Normalizálás

27

27

## Eutektoidos acél martemperálása

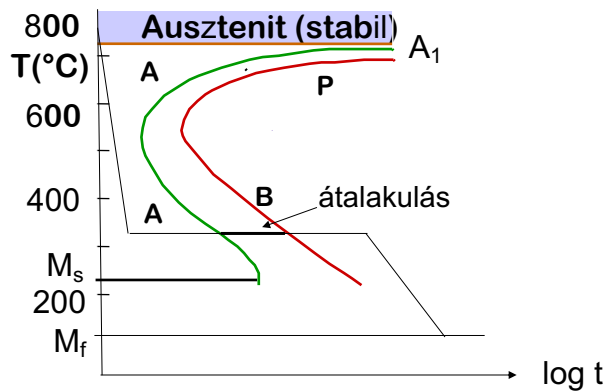


Módosított edzési eljárás, amellyel csökkenteni lehet a hagyományos edzéshez képest a belső feszültségeket és a repedésveszélyt.

28

28

## Eutektoidos acél ausztemperálása



Bénit előállítás, amelynek során a szilárdság viszonylag nagy szívósággal párosul, a repedésveszély csökken.

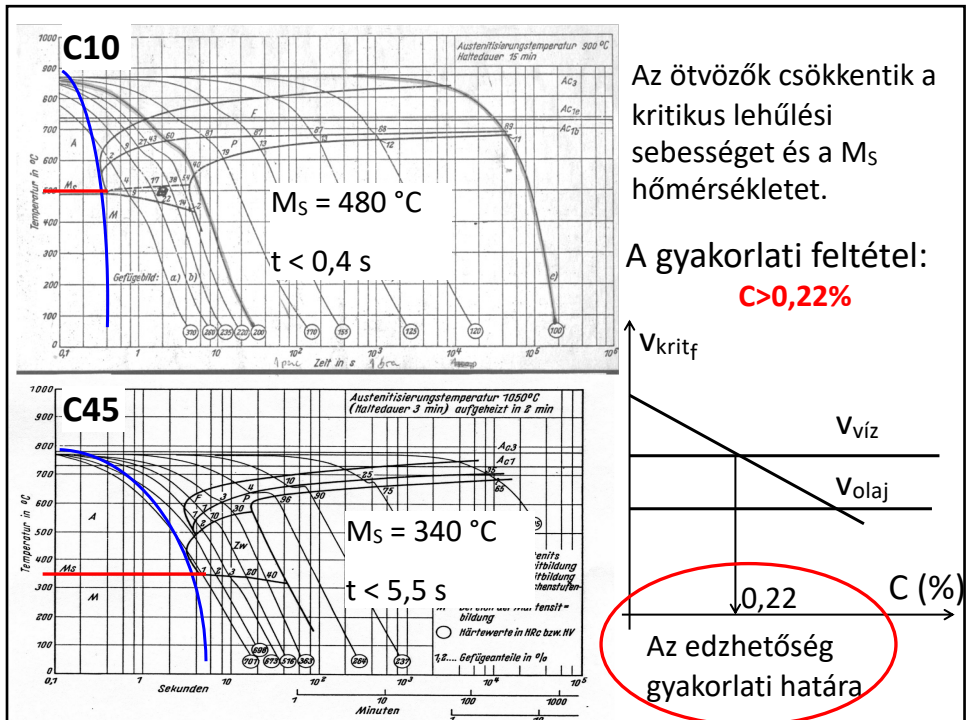
29

29

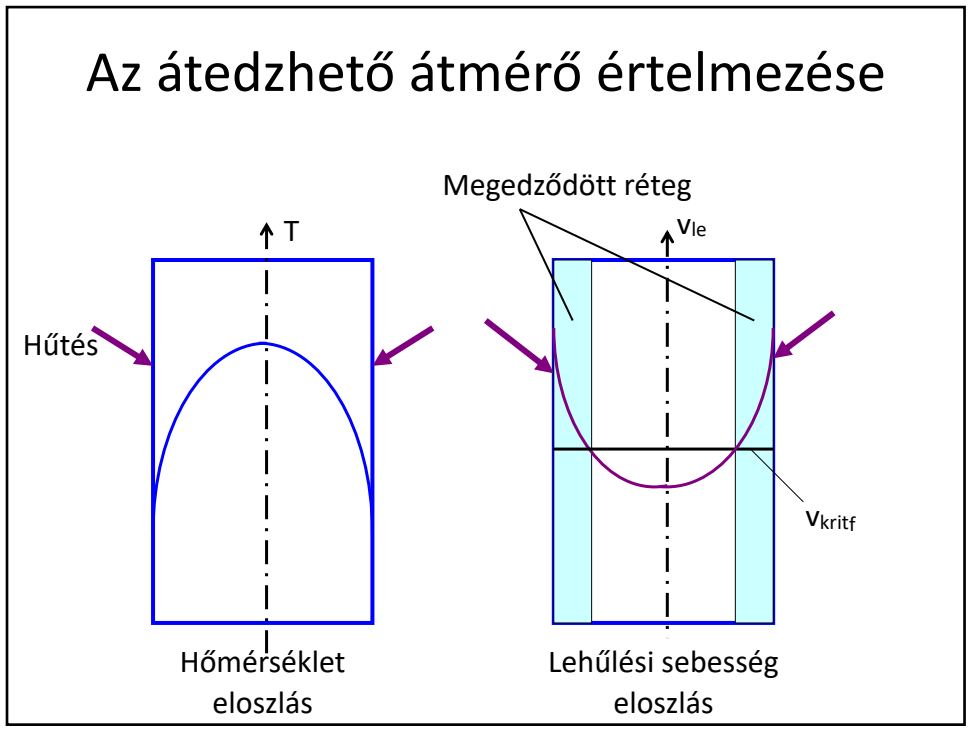
## Az edzés feltételei

- Az edzés nagyon fontos, mert nemesítéssel (edzés+megeresztés), allotróp átalakulással a tulajdonságok tág határok között befolyásolhatók
- Edzés lépései
  - Hevítés  $A_3 + \sim 50^\circ\text{C}$  hőmérsékletre
  - Hőntartás teljes ausztenitesítésig
  - Lehűtés a kritikus lehűtési sebességnél gyorsabban

30



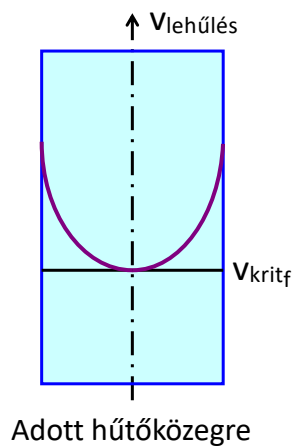
31



32



## Az átedzhető szelvényátmérő definíciója



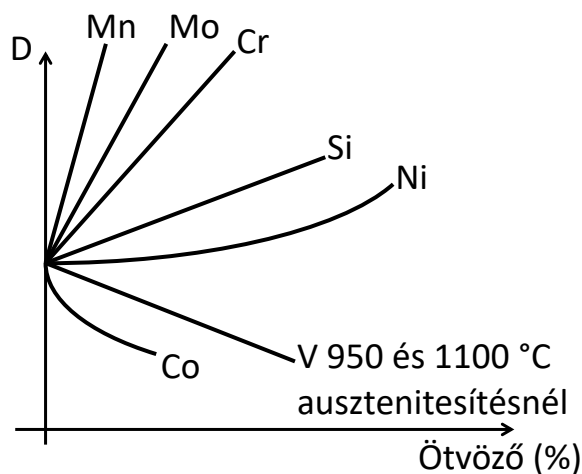
Az átedzhető szelvényátmérő az az átmérő, amelynél az adott hűtőközeg esetében, **a darab legbelső pontja is legalább a kritikus (felső) lehülési sebességgel hűl le.**

D (kémiai összetétel, hűtőközeg, szemcseméret, kívánt martenzit mennyiség)

Martenzit + bénit, a gyakorlatban **50% martenzit**

33

## Az ötvözők hatása az átedzhető szelvényátmérőre



34

## Számítás

- Grossmann szerint az ideális átedzhető szelvényátmérő 50% martenzit tartalomnál

$$D_{id} = 8 \sqrt{C} 1,08^{8-n} \prod_{i=1}^m (1 + Me_i f_{Me_i})$$

- Ahol:
  - C a korbontartalom (t%)
  - n: szemcsefinomsági mérőszám
  - Me<sub>i</sub>: az i-dik fém mennyisége (t%)
  - f<sub>Me<sub>i</sub></sub>: az i-dik fém állandója

Elem vegyjele	f <sub>Me<sub>i</sub></sub>
Mn	4,10
Cr	2,33
Si	0,64
Cu	0,27
Mo	3,14
Ti	5,70
Ni	0,52
P	2,83
V	1,73
S	-0,62

35

## A reális átedzhető szelvényátmérő

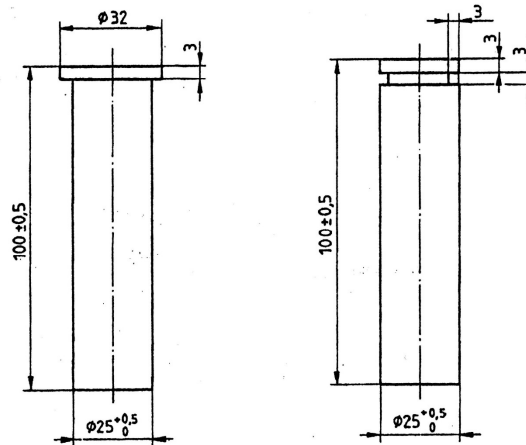
$$D_{re} = D_{id} \eta_{közeg}$$

- $\eta_{v\acute{i}z}=0,75$
- $\eta_{olaj}=0,5$
- $\eta_{leveg\acute{o}}=0,25$

36

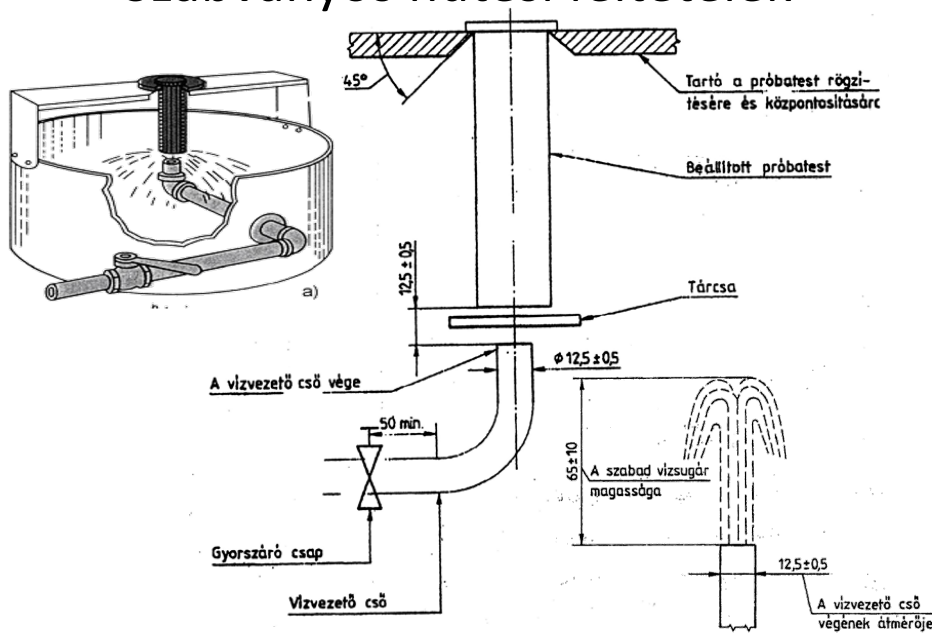
## Mérés

- Véglapedzési próba, vagy Jominy-próba
- Szabványosított
  - Próbatest
  - Hűtési feltételek
- Menete
  - Ausztenitesítés (30')
  - Hűtés véglapról
  - Keménységmérés
  - Kiértékelés



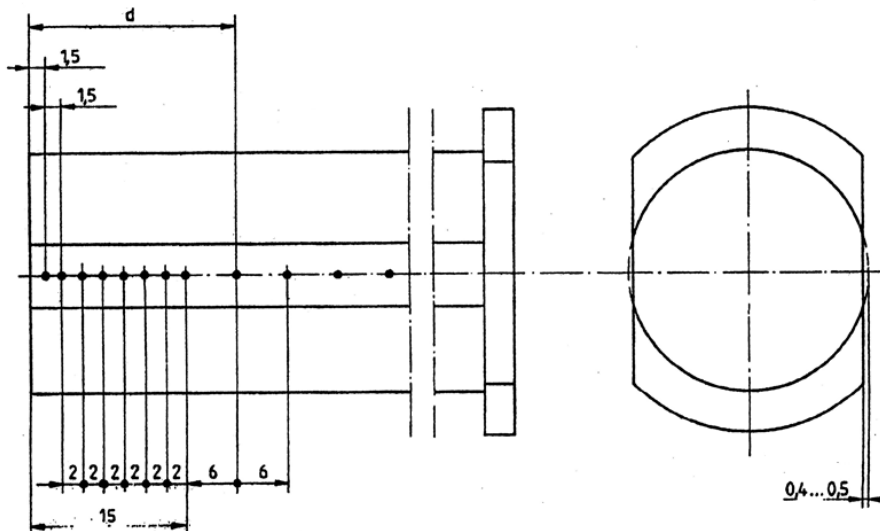
37

## Szabványos hűtési feltételek



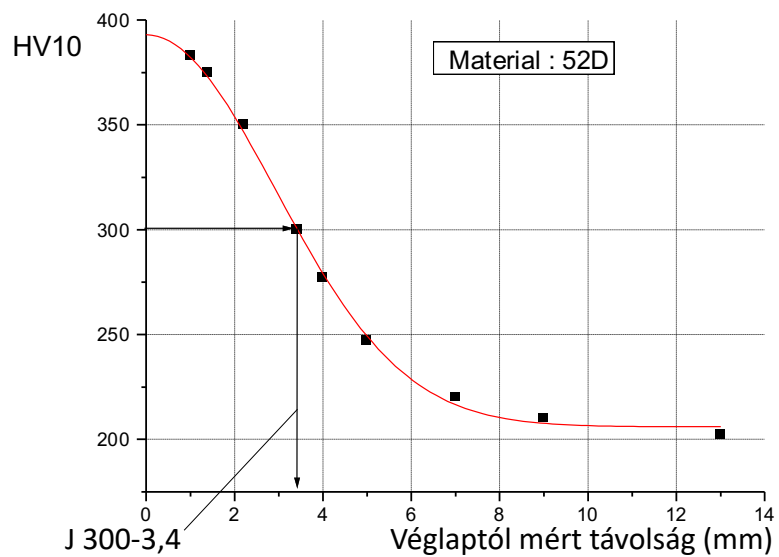
38

## Keménységmérés



39

## Példa: mérési eredmény



40