



ANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLÓGIA
TANSZÉK

Anyagtechnológia (Hegesztés, hőkezelés)

Hőkezelési eljárások

Dr. Palotás Béla - dr. Németh Árpád
palotasb@eik.bme.hu



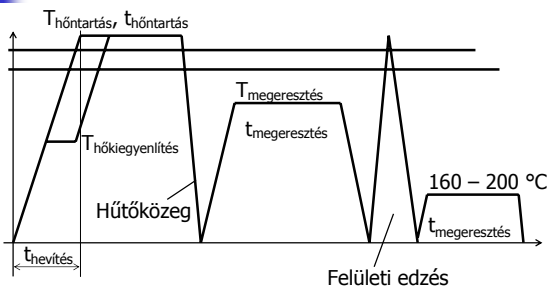
A hőkezelés célja

- A szövetszerkezet változtatásával a kívánt mechanikai- és egyéb, pl. korróziós tulajdonságok biztosítása
- A legtöbb hőkezelési eljárásnál a kémiai összetételt szándékosan nem változtatjuk meg (kivétel természetesen a termokémiai kezelések)

Hőkezelési eljárások

2

Tipikus hőkezelési ciklus



Hőkezelési eljárások

3

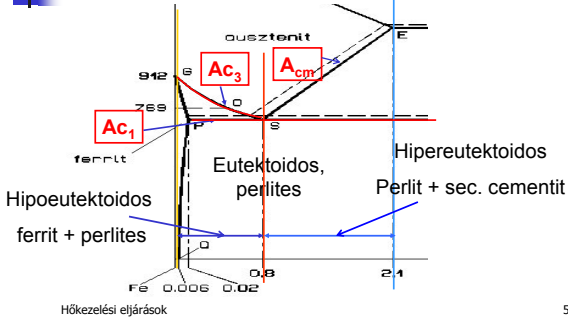
Fémek hőkezelése

- Minden fém hőkezelhető, az acélok ($C = 0 \div 2,1\%$) különösen alkalmasak arra, hogy tulajdonságaikat hőkezeléssel befolyásoljuk
- ❖ **Allotróp átalakulás γ (f.k.k.) \rightarrow α (t.k.k.) térrács változás alapján**
Acélok egyensúlyi és nem egyensúlyi átalakulása
 - Egyensúlyi átalakulások lásd Fe - C állapotábra
 - Nem egyensúlyi átalakulások: izotermikus és folyamatos átalakulási diagramok
- ❖ **Korlátolt oldás van (főleg nem vasfémek)**

Hőkezelési eljárások

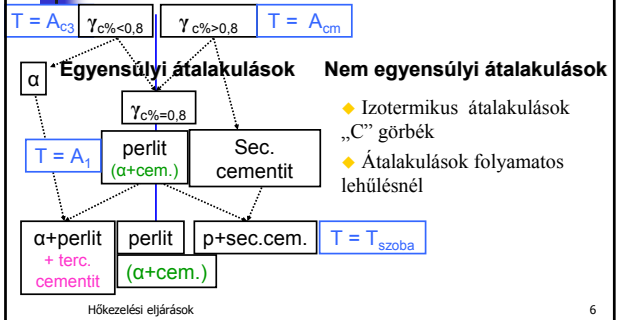
4

Egyensúlyi állapotábra



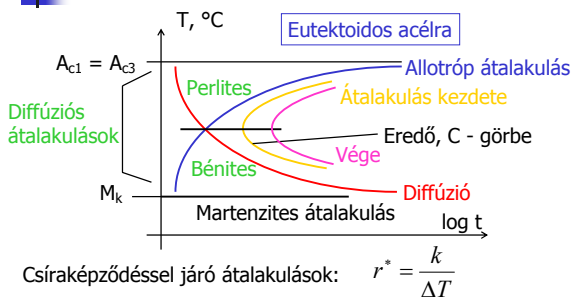
5

Acélok hőkezelésének alapjai



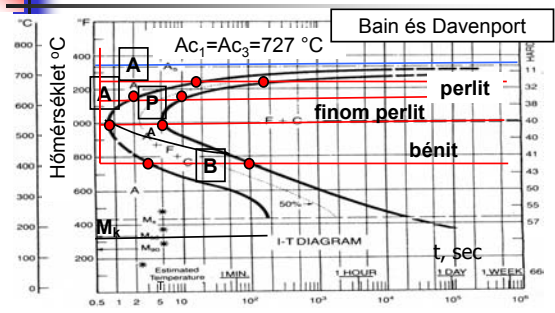
6

Nem egyensúlyi átalakulások



7

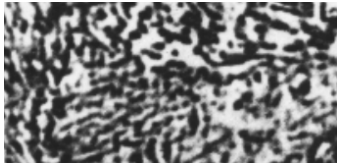
Perlites acél (C = 0,8 %) izotermikus átalakulása



8

Perlites átalakulás

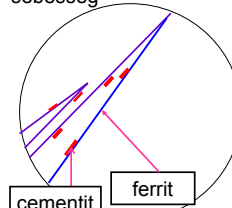
- Az átalakulás cementit- majd ferrit kiválásával játszódik le, két fázis ($\text{Fe}_3\text{C} + \alpha$ vas) réteges elegye jön létre \Rightarrow perlit



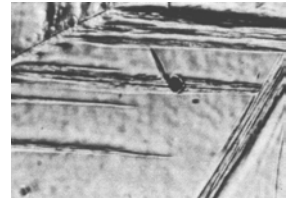
Bénites átalakulás

Nagy túlhűtés, részleges diffúziós mozgás, nagy kristályosodási sebesség

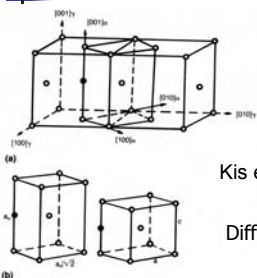
Bénit: jó szilárdság és kisebb szívósság



cementit ferrit



Martenzites átalakulás



Felhevítés $T > A_3$
ausztenites állapotba

$v_{\text{Lehűtés}} \geq v_{\text{kritikus}}$

Hangsebességű átalakulás

Kis elmozdulások

Diffúzió és kristálycsíra nélküli átalakulás

Martenzites szövet

$T = M_k - \Delta T$

$M_k < T < M_v$

A martenzit szilárdsága, keménysége nagy, alakváltozó képessége, ütőmunkája gyakorlatilag 0 !

„Plate”(lemezes) martenzit

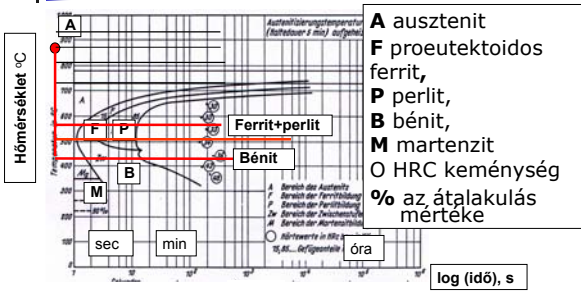


Tűs, léces mikroszerkezet

$T = M_v + \Delta T$



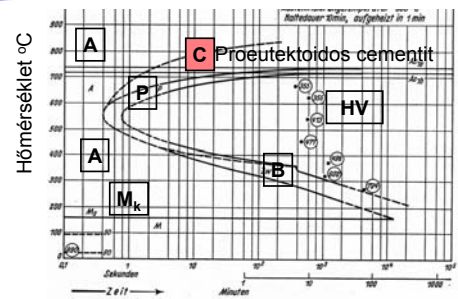
C 45 - jelű acél (C = 0,45 %) izotermikus átalakulása



Hőkezelési eljárások

13

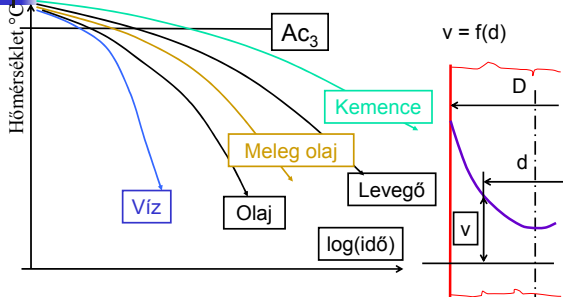
Hiperutektoidos, 1 % C tartalmú acél izotermikus átalakulása



Hőkezelési eljárások

14

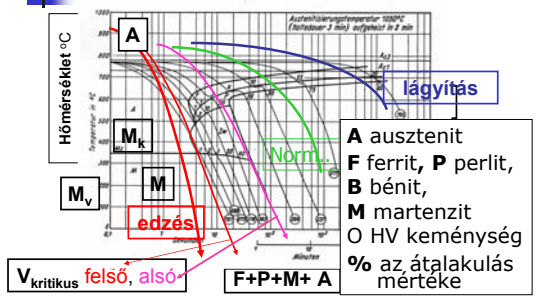
Folyamatos lehűtések, a hűtőközegek hűtőhatásai



Hőkezelési eljárások

15

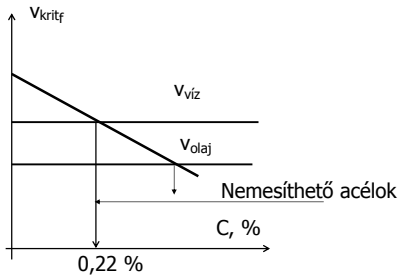
C 45 - jelű acél (C = 0,45 %) folyamatos átalakulása



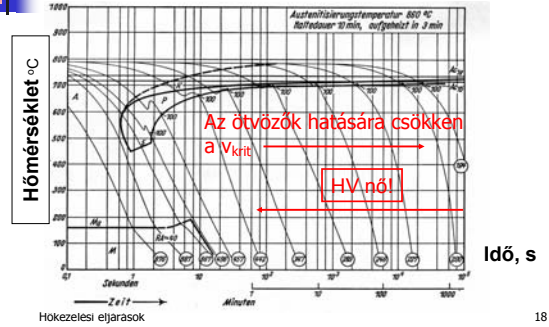
Hőkezelési eljárások

16

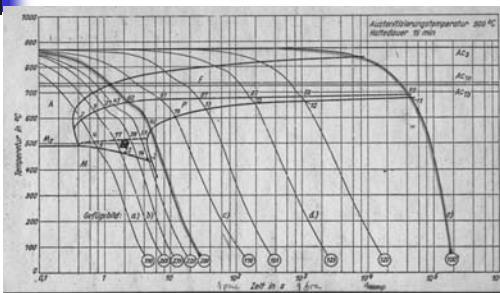
Az edzhetőség feltétele



C105 -jelű (hipereutektoidos acél C = 1 %) folyamatos átalakulása



C 15 - ös (C = 0,15 % acél hipoeutektoidos) acél folyamatos átalakulása



Átalakulási diagramok használata

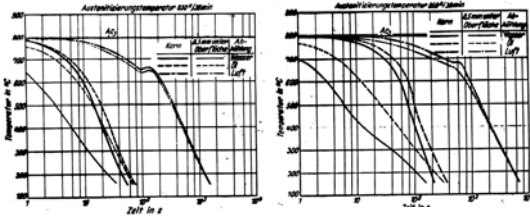
- Izotermikus diagram, homogén szövetszerkezet előállítása esetén
 - Patentírozás
- Folyamatos átalakulási diagramok
 - Lágytítás
 - Normalizálás
 - Edzés

⇒ Az átalakulási diagramra helyezük a lehűlési görbét

A hűtési sebesség a méretettől függ

D = 28 mm

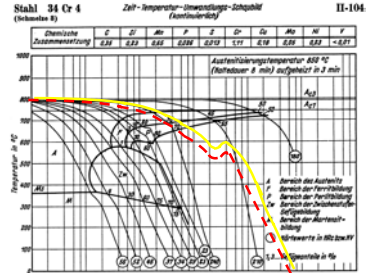
D = 95 mm



Hőkezelési eljárások

21

A CCT diagramon ellenőrizni tudjuk a kialakuló szövetszerkezetet



Levegő hűtés berajzolva, Ø28mm

Hőkezelési eljárások

22

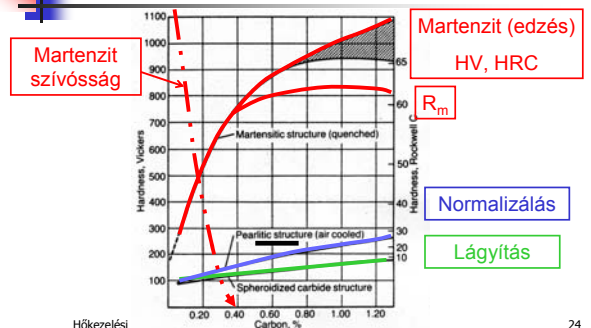
Hőkezelési eljárások

- Lágítás
- Normalizálás (hűtés levegőn)
- Edzés
- Megeresztés
- Nemesítés = edzés + megeresztés
- Patentírozás = izotermikus hőkezelés
- Feszültségcsökkentő hőkezelés
- Felületi hőkezelések

Hőkezelési eljárások

23

A karbontartalom hatása a keménységre és a szívósságra

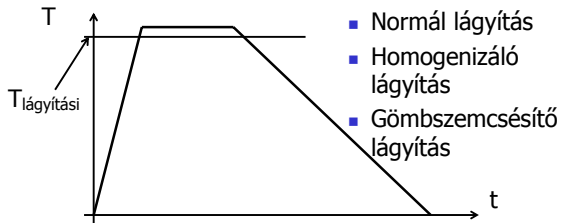


Hőkezelési

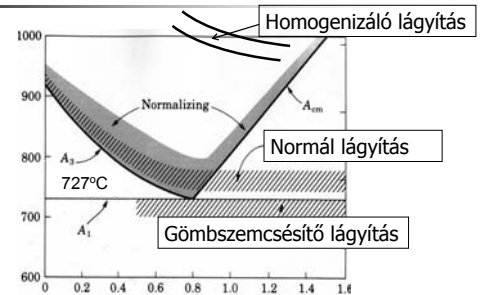
24

Lágyítás

Auszténites állapotból kemencével együtt lehűtés

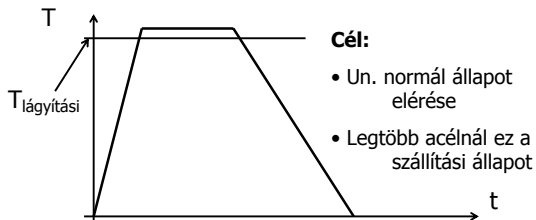


Lágyítási hőmérséklet tartományok



Normalizálás

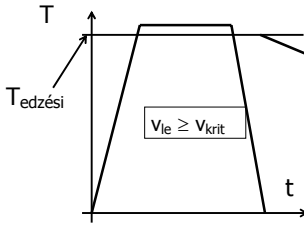
Auszténites állapotból hűtés: nyugvó, 20 °C - os levegőn



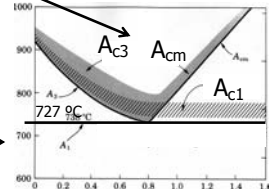
Edzés

- Edzés célja, martenzites, esetleg bénites szövetszerkezet létrehozása (általában a keménység-, szilárdság növelése céljából)
- A gyakorlatban a martenzit tulajdonságainak, valamint a kritikus lehűlési sebesség biztosítása miatt az edzhető ötvözetlen acélok karbon tartalma legalább 0,22 %
- A martenzit kemény, rideg szövetszerkezet - ezért megeresztéssel a martenzitet elbontjuk, gömbszemcsés perlit (szferoidit) keletkezik.
- A NEMESÍTÉS = Edzés + Megeresztés jó szilárdsági és szívóssági tulajdonságokat biztosít.

Az edzés változatai



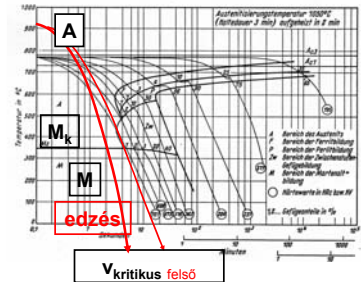
- Edzés
- Lépcsós edzés
- Mélyhütéses edzés



Hőkezelési eljárások

29

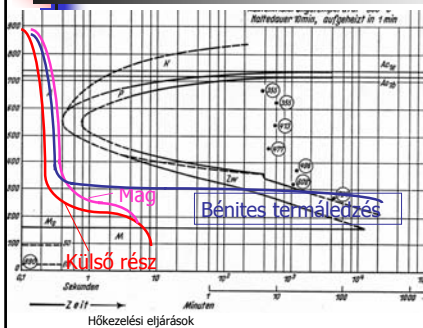
Edzés



Hőkezelési eljárások

30

Lépcsós edzés



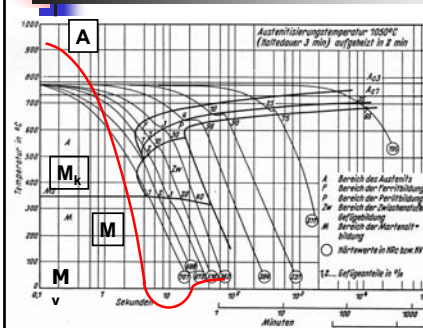
Célja:

- Az edzési feszültségek csökkentése ill. a homogén martenzit biztosítása teljes keresztmetszetben
- A mag és a felület hőmérséklet kiegyenlítése csak bénítés állapotban történik meg.

Hőkezelési eljárások

31

Mélyhütéses edzés

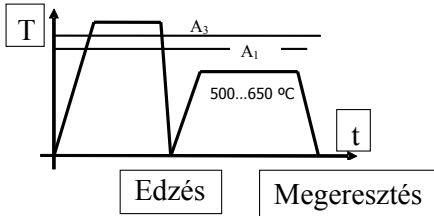


Célja:

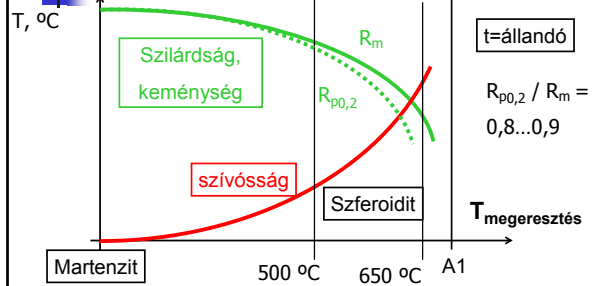
- A maradék ausztenit mennyiségének csökkentése, a db. méretviszonyának stabilizálására
- A hűtést a martenzit vége hőmérséklet alá kell egy kicsivel hűteni

32

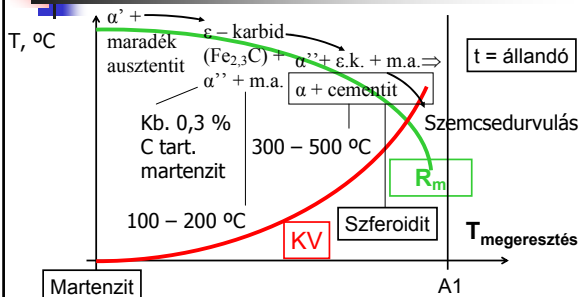
Nemesítés = Edzés + megeresztés



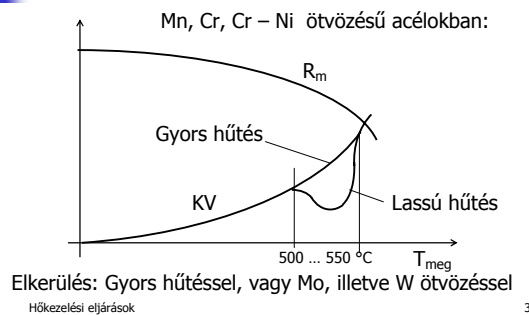
A megeresztés hatása



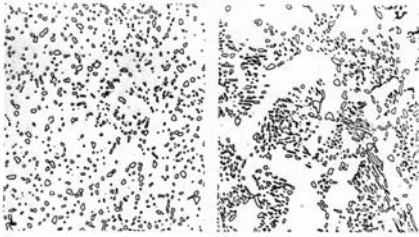
Megeresztésnél lejátszódó jelenségek



Megeresztési ridegedés



Szferoidit és a szemcsés perlit

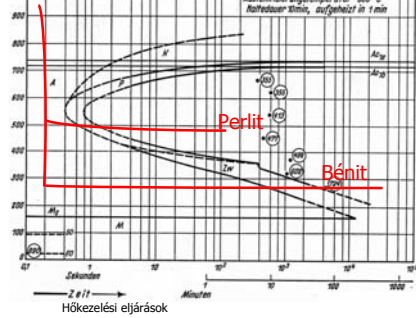


Martenzitből megeresztéssel
Hőkezelési eljárások

Lemezes perlitből szferoidizálással
Hőkezelési eljárások

37

Patentírozás

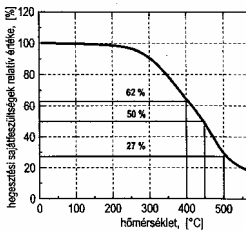


Cél:

Képlékeny alakításnál a homogén szövetszerkezet elérése, így azonos mértékben alakváltozik a darab.

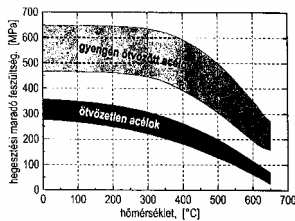
38

Feszültség csökkentő hőkezelés



Minimális hőmérséklet: 520 °C

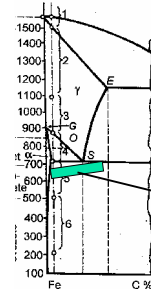
Hőkezelési eljárások



Ötvözött acéloknál magasabb hőmérsékletre van szükség

39

Feszültségcsökkentő hőkezelés



T < 720 °C

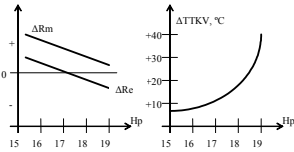
Hőkezelési eljárások

40

A Hollomon – paraméter

$$H_p = T (20 + \lg t) 10^{-3}$$

- A Hollomon paraméter értéke 14 – 21 ha a hőmérsékletet (T) K - ben, az időt (t) h - ban helyettesítjük. A falvastagság és ötvöző tartalom növelésével H_p nő.



Mn < 1 % esetén
A kisebb Hollomon – paraméter kedvezőbb a mechanikai tulajdonságok szempontjából.

A feszültségcsökkentés paraméterei

- Az idő korrekciót kell alkalmazni:

$$t_c = \frac{T}{2,3K(20 - \lg K)}$$

$$t_c = t + t_{c1} + t_{c2}$$

- Itt K a hevítési illetve lehülési sebesség K/h - ban. A t_{c1} a hevítési, t_{c2} a hűtési korrekció, t_c a korrigált hőtartási idő h - ban.

- A hevítési sebesség értéke: max. 220 °C/h (illetve 5600/s itt s-t, a falvastagságot mm-ben kell helyettesíteni). A kisebb értéket kell alkalmazni.

- A hűtési sebesség értéke max. 275 °C/h (illetve 7000/s itt s-t, a falvastagságot mm-ben kell helyettesíteni). A kisebb értéket kell alkalmazni.

Ellenőrzés hőkezelés repedés érzékenységre

$$P = Cr + Cu + 2Mo + 10V + 7Nb + 5Ti - 2$$

Az acél összetételére jellemző alkotókat % - ban kell helyettesíteni.

- Tipikus hőkezelési repedés:
- Az acél érzékeny a repedésre, ha $P > 0$ és $Cr < 1,5 \%$
- ($P < 0$ és $Cr \geq 1,5 \%$ esetén az acél nem érzékeny).



Felületi hőkezelések

- Cél:

- Kopásálló réteg
- Szívós mag létrehozása

- Felületi hőkezelések

- Felületi edzések
 - Lágyedzés
 - Nagyfrekvenciás edzés
 - Mártó edzés
- Termokémiai kezelés
 - Nitridálás
 - Boridálás
 - Cementálás
 - Fémbevonatok készítése

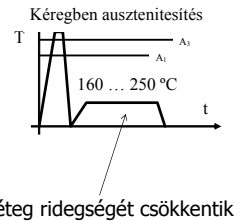


Fémbevonatok készítése

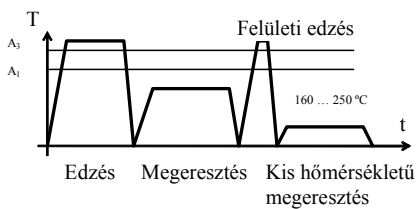
- Alitálás
 - Hőállóság növelése, 0,3 ... 0,8 mm nagy Al tartalmú kéreg (850 – 1100 °C ⇒ 6 - 8 h)
- Kromálás (keménykrómozás)
 - Hő- és korrózióálló, kopásálló ⇒ 0,1 ... 0,3 mm (1000 – 1050 °C ⇒ 10 ... 20 h)
- Szilikálás
 - Hő- és savállóság, 0,5 ... 1 mm kéreg (1100 – 1200 °C ⇒ 4 ... 10 h)
- Boridálás
 - Jelentős felületi keménység (HV > 1200)
 - Jó sav- és hőállóság is

Felületi edzések

- Az edzés feltétele
 - Ausztenítés
 - Kritikus lehítési sebességnél gyorsabb hűtés
- Megvalósítható
 - Csak kéregben ausztenítés és hűtés kritikus sebességnél gyorsabban (vízben)
 - Teljes keresztmetszetben ausztenítés kéregben hűtés a kritikusnál gyorsabban

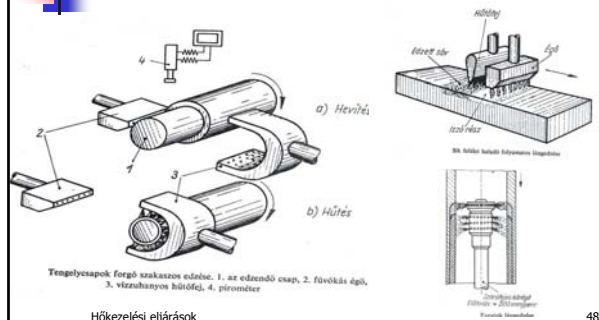


Teljes hőkezelési ciklus

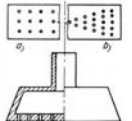


A nemesítés biztosítja a szívós magot, a felületi edzés biztosítja kopásállóságot a felületen

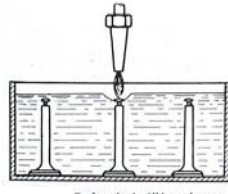
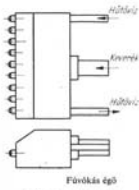
Lángedzés 1.



Lámgedés 2.



Forrástó égő síkfűtővel lámgédés. a) egyesítés, b) a szelék felé növekvő lámgédési mélység

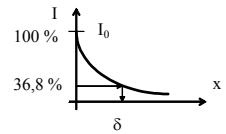


Szelepvégék álló szakaszos lámgédése gázhegesztőpióztollyal

Nagyfrekvenciás edzés elve

- A darabokat a mágneses hiszterézis veszteség és az örvényáram hevíti fel $\Rightarrow C \geq 0,45\%$ (O – pont konc.)
- Áramsűrűség a darabban x mélységben:

$$I_x = I_0 e^{-\frac{x}{\delta}}$$

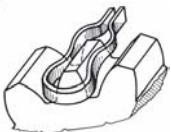


- Kéregvastagság:
 - $\delta = f(f, \text{erg. sűr.}, t, \dots)$
 - Frekvencia nő vékonyabb kéreg

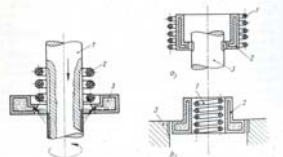
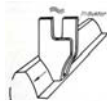
$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

ρ : Fajlagos ellenállás
 μ : Mágneses permeabilitás
 f : Frekvencia

Nagyfrekvenciás edzés



Nagy modelő fogaskerék évezési álló szakaszos edzés

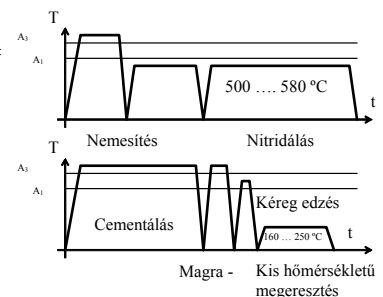


Nagyfrekvenciás körrel kővezetés: a) forgó, b) forgó edzés, 1. indukáló, 2. indukáló, 3. indukáló

Fogaskerék forgó szakaszos indukciós edzés: 1. hevítés, 2. hűtés szakasz

Termokémiai kezelések

- Nitridálás
 - $HV_{\text{nitrid}} > HV_{\text{martenzit}}$
 - Korrózióállóság nő
 - Kifáradási határ nő
 - Gázközegben
 - Folyadékban
 - Carbonitridálás
- Cementálás
 - Szilárd közegben
 - Folyadékban
 - Nitrocementálás
 - Gázközegben



Nitridálás

Nitridálás

- Gázközegben
- Folyékony közegben
- Ion - nitridálás

Gázközegben

- $\text{NH}_3 \Rightarrow 3\text{H} + \text{N}$
- Nitridképző ötvözőkkel keményebb kéreg hozható létre: Al, Ti, V, Mo, Cr, W Al adja a legkeményebb nitridet

• Nitridek magas hőmérsékletig (1200 °C – ig) stabilak

• Méretpontos alkatrészek készíthetők (nincs allotrop átalakulás)



Hőkezelési eljárások

53

A nitridálás további változatai

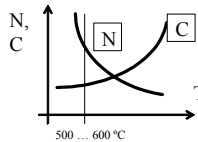
A gázközegű nitridálás hosszú ideig tart: 0,01 mm kéreg : 1 h

Folyékony közegű nitridálás (cianidálás)

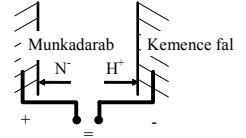
- Karbonitridálás (lágynitridálás) 0,1 mm 1 h

Ion nitridálás

- Gázközegben, igen gyors a nitridálás az elektromos áramnak köszönhetően



Hőkezelési eljárások

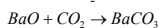
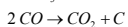
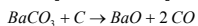
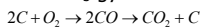


54

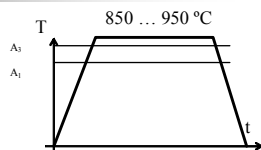
Kis C – tartalmú acéloknál: Cementálás

Szilárd közegben

- Faszén + csontszén + BaCO_3 gyorsító



- Atomos C létrehozása
- Atomos C a felületen megtapad
- Bediffundál a felületbe



Cementálás

0,1 mm kéreg \Rightarrow 1 h

Kb. 0,7 ... 0,8 % C a kéregben

$$x = \sqrt{2Dt} \quad D = D_0 e^{\frac{-Q}{RT}}$$

Hőkezelési eljárások

55

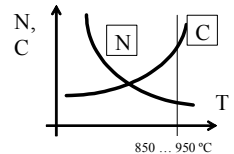
Folyékony közegű cementálás

- Sófürdőben (cian sókat tartalmaz a fürdő, pl. nátriumcianid NaCN)

- Nirogén is bediffundál a felületbe

- Nitrocementálás
- 850 ... 870 °C – on 30 min alatt 0,2 ... 0,25 mm

- 940 °C – on 30 min alatt 0,45 mm kéreg (itt azonban erős a só párolgása \Rightarrow mérgező a cian)



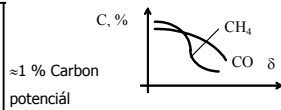
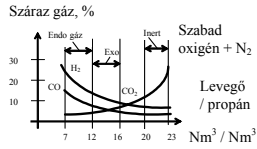
Hőkezelési eljárások

56

Gázközegű cementálás

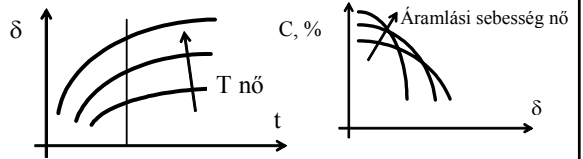
Tömeggyártásban

- Jól szabályozható, automatizálható
- Nagy a cementálás sebessége
- Endomat gáz + szenítő gáz \Rightarrow CH₄
+ Hordozó gáz
 \rightarrow C_{potenciál} = 0,6 %



Gázközegű cementálás jellemzői

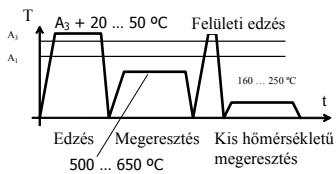
T = 930 ... 950 °C



Finomszemcsés anyagoknál:
1000 ... 1050 °C

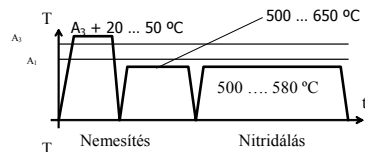
A gázközegű cementálásnak
legkisebb az idő szükséglete

Nemesíthető acélok hőkezelése



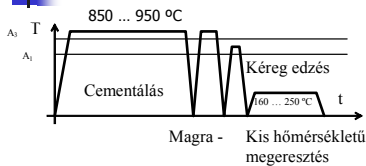
C22E, C22R, C25_, C30_, C35_, C40_, C45_, C50_, C55_, C60_,
28Mn 6, 38Cr 2, 38CrS 2, 46Cr 2, 46CrS 2, 34Cr 4, 34CrS 4, 37Cr 4, 37CrS 4,
41Cr 4, 41CrS 4, 25CrMo 4, 25CrMoS 4, 34CrMo 4, 34CrMS 4, 42CrMo 4, 42CrMoS4,
50CrMo 4, 36CrNiMo 4, 34CrNiMo 6, 30CrNiMo 8, 36NiCrMo 16, 51CrV 4

Nitridálható acélok hőkezelése



24CrMo 13-6, 31CrMo 12, 32CrAlMo 7-10, 31CrMoV 9, 32CrMoV 12-9,
34CrAlMo 7-10, 41CrAlMo 7-10, 40CrMoV 13-9, 34CrAlMo 5-10

Betétben edzhető acélok hőkezelése

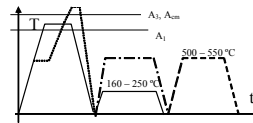


C10, C10E, C10R, C15_, C16_, 17Cr 3, 17CrS 3, 28Cr 4, 28CrS 4, 16MnCr 5, 16MnCrS 5, 16MnCrB 5, 20MnCr 5, 20MnCrS 5, 18CrMo 4, 18CrMoS 4, 22CrMoS 3-5, 20MoCr 4, 20MoCrS 4, 16NiCr 4, 16NiCrS 4, 10NiCr 5-4, 18NiCr 5-4, 17CrNi 6-6, 15NiCr 13, 20NiCrMo 2-2, 20NiCrMoS 2-2, 17NiCrMo 6-4, 17NiCrMoS 6-4, 20NiCrMoS 6-4, 18CrNiMo 7-6, 14NiCrMo 13-14

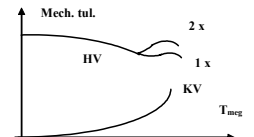
Szerszámacélok hőkezelése

C45, C45U, C70_, C80, C90, C105, C120
(Kis forgácsolási sebességű szerszámok pl. kéziszerszámok, készülnek ezekből az acélokból)

Hidegalakító szerszámacélok:
105V, 50WCrV8, 60WCrV8
102Cr6
21MnCr5, 70MnMoCr8, 90MnCrV8, 95MnWCr5
X100CrMoV5, X153 CrMoV12, X210Cr 12, X210CrW12
35CrMo7, 40CrMnNiMo 8 - 6 - 4, 45NiCrMo16
X40Cr14, X38CrMo16

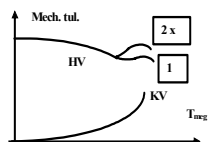
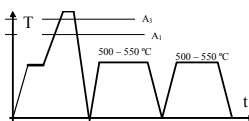


A hőkezelés hőmérséklete és a megeresztés hőmérséklete az ötvöztéstől függ.



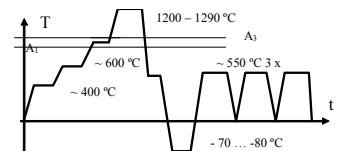
Melegalakító szerszámacélok

55NiCrMoV 7, 32CrMoV 12-28
X37CrMoV 5 - 1,
X38 CrMoV 5 - 3,
X40 CrMoV 5-1
50CrMoV 13 -15
X30 WCrV 9 - 3,
X35 CrWMoV 5
38CrCoWV 18 - 17 -17

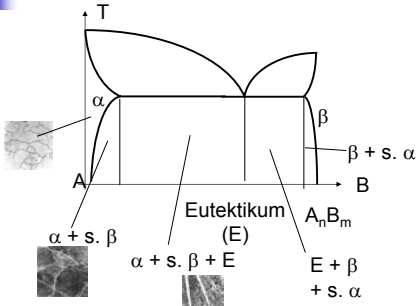


Gyorsacélok hőkezelése

- HS 0-4-1 (W-Mo-V-Co)
- HS 1-4-2
- HS 18-0-1, HS 2-9-2, HS 1-8-1, HS 3-3-2
- HS 6-5-2, HS 6-5-2C, HS 6-5-3, HS 6-6-2, HS 6-5-2-5, HS 6-5-3-8
- HS 6-5-4, HS 10-4-3-10
- HS 2-9-1-8



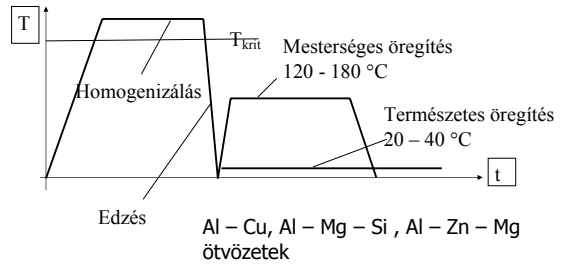
Kiválásosan keményíthető ötvözetek



Hőkezelési eljárások

65

Alumínium ötvözetek hőkezelése



Hőkezelési eljárások

66