

# Hőkezelt alkatrészek vizsgálata

# A hőkezelt darabok ellenőrzése

- **A gyártás közben és a hőkezelés utána darabok ellenőrzése történhet:**
  - ⇒ foncsolásos és**
  - ⇒ foncsolásmentes módszerekkel.**

# A hőkezelések csoportosítása

- **teljes keresztmetszetre kiterjedő és**
- **felületi hőkezeléseket.**

# Teljes keresztmetszetre kiterjedő hőkezelések

- **A kezelések lehetnek:**
  - ☞ **lággyító és egyneműsítő**
  - ☞ **keménységet fokozó**
  - ☞ **szívósságot fokozó**

**Az anyagokra vonatkozó anyagszabványok a legfontosabb hőkezelések adatait tartalmazzák.**

# Lágyító és egyneműsítő hőkezelések

- **Cél:** a lágy, homogén, finomszemcsés állapot biztosítása.
- **Felosztás:**
  - átkristályosodással nem járó hőkezelések  
 $T < A_{c1}$
  - teljes átkristályosodással járó kezelések  
 $T > A_{c3}$

# Átkristályosodással nem járó hőkezelések

## Lágyítás

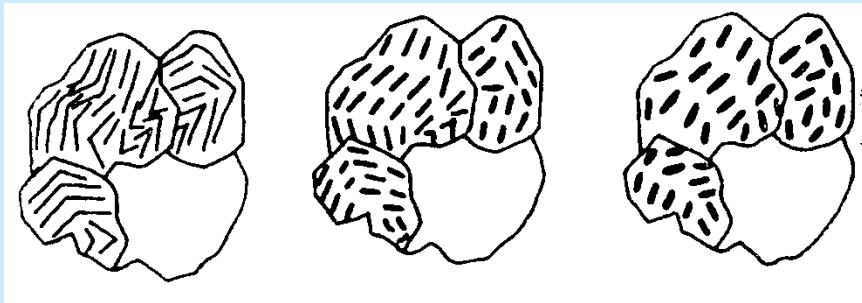
**Cél:** a 0,3 %-nál nagyobb C tartalmú ötvözetlen valamint ötvözött acélok **forgácsolhatóságának, alakíthatóságának biztosítása.**

az acélt  $A_{c1}$ -nél 10-20 C°-al kisebb hőmérsékletre (680-700 C°-ra) hevítjük, itt hőntartjuk, majd **kemencében hűtjük.**

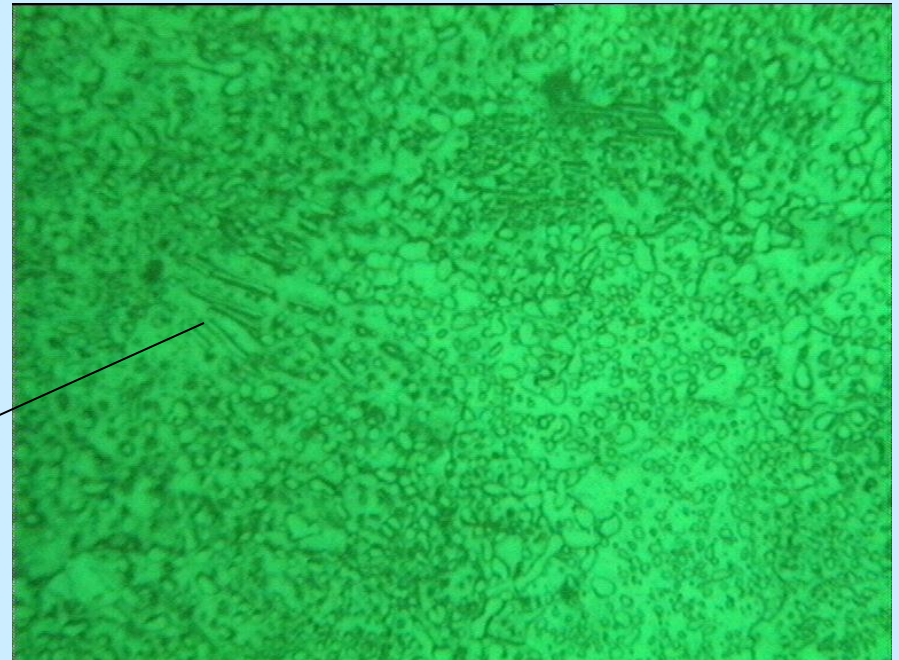
A hőntartás időtartama ötvözetlen acélok esetében 2-3 óra, ötvözötteknél 4-5 óra.

# Lágyítás

**Szövetszerkezet:  
szemcsés perlit**

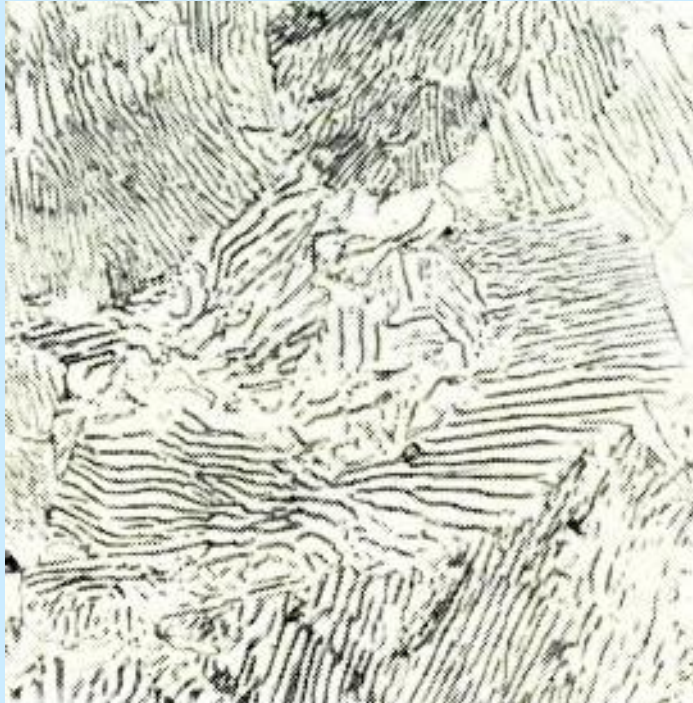


**A cementit lemezek  
felszakadása még  
nem történt meg**

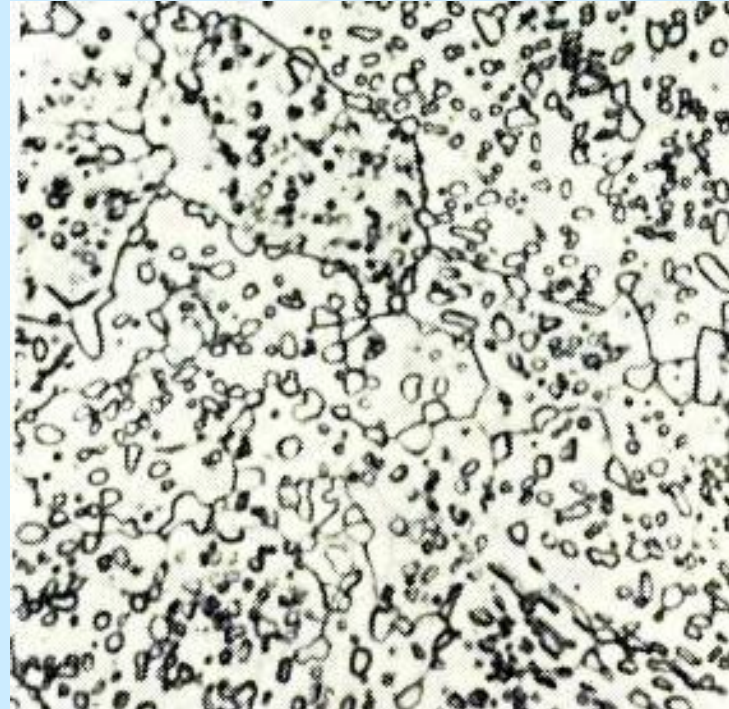


**0,45 % C ötvözetlen acél**

# Lágyítás



Lágyítás előtt



lágyított

Ötvözetlen szerszámacél C 0,8%



# A lágyítás ellenőrzése

- **Ellenőrizhető a szövetszerkezet**
- **A keménység Brinell keménységméréssel ellenőrizhető,**
- **a keménységértékeket tartalmazhatja:**
  - rajz
  - műszaki dokumentáció
  - anyagszabványok tartalmazzák.

# Normalizálás

- **Célja** a melegen alakított, hegesztett, öntött acélok túlhevített, durvaszemcsés, egyenlőtlen szemcseszerkezetének javítása
- A ausztenitesítés ( $A_{c3}+30-50\text{ C}^\circ$ ), 5-10 perces hőntartás után nyugodt levegőn való lehűtésből
- A keletkező szövetszerkezet a C tartalomtól függően ferrit, lemezes perlit vagy lemezes perlit és szekunder cementit.
- A normalizált acélok mechanikai jellemzői a szelvényátmérőtől függenek!

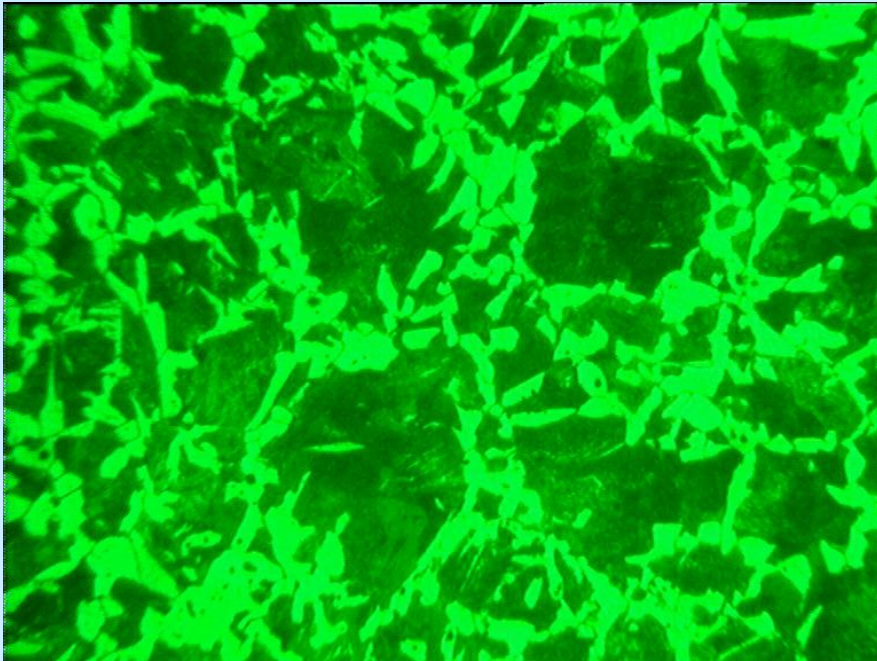
# A normalizálás ellenőrzése

**A keménység keménységméréssel (HB, de lehet HRB is) ellenőrizhető,**

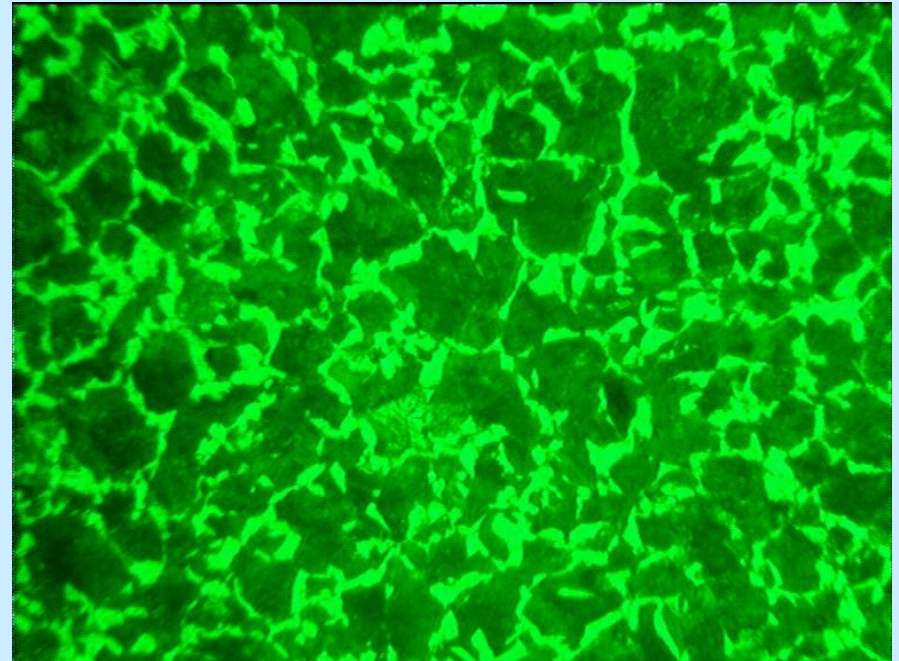
- **a keménységértékeket tartalmazhatja:**
  - rajz
  - műszaki dokumentáció
  - anyagszabványok tartalmazzák
- **a szövetszerkezet ellenőrzése**

# Normalizálás

**0,45 % C ötvözetlen acél**



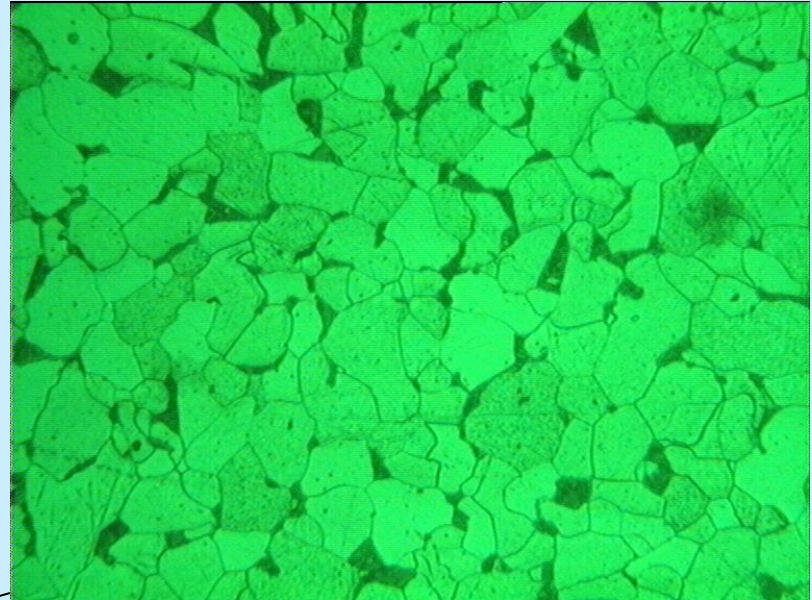
**Szállítási állapot**



**Normalizált**

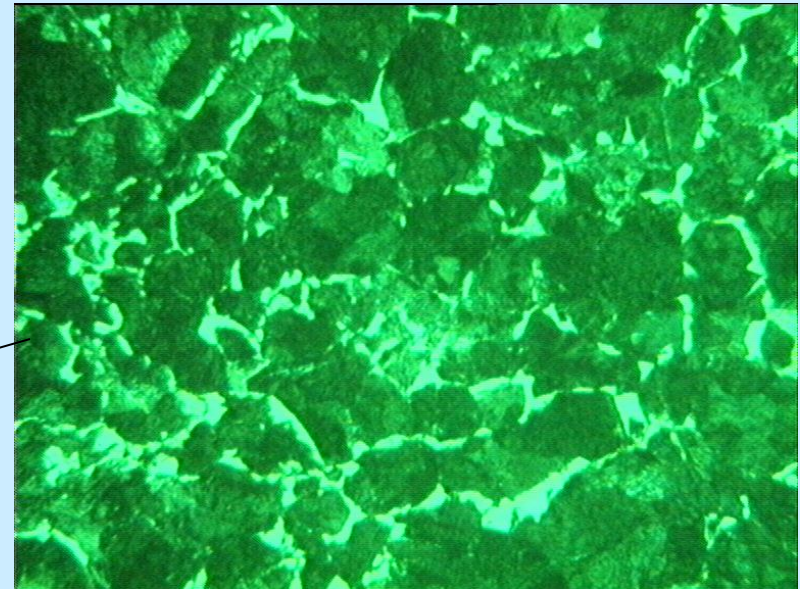
# Normalizálás

Szövetszerkezet  
ferrit + perlit (lemezes)



**Betétben edzhető  
ötvözetlen acél**

**Ötvözetlen nemesíthető acél**





# Keménységet fokozó hőkezelések

- **Cél:** az acél legnagyobb keménységének biztosítása.
- Az acél **martenzites állapotban a legkeményebb.** A martenzit úgy érhető el, hogy az acélt homogén ausztenites állapotból a felső kritikus lehűlési sebességnél gyorsabban hűtjük. Ezt a műveletet, mint hőkezelést **edzésnek** nevezzük.
  - **Az edzés célja a martenzites szövetszerkezet biztosítása!**

# Edzés

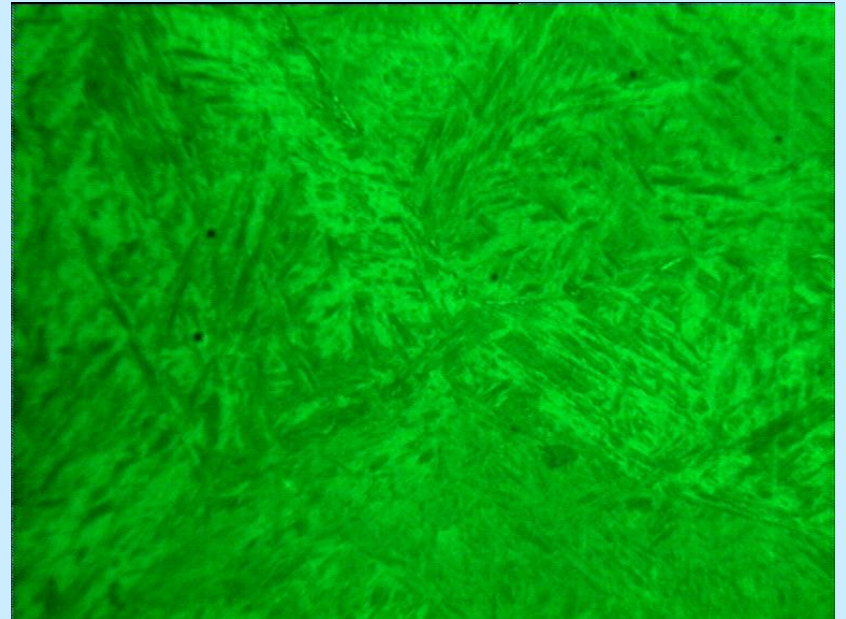
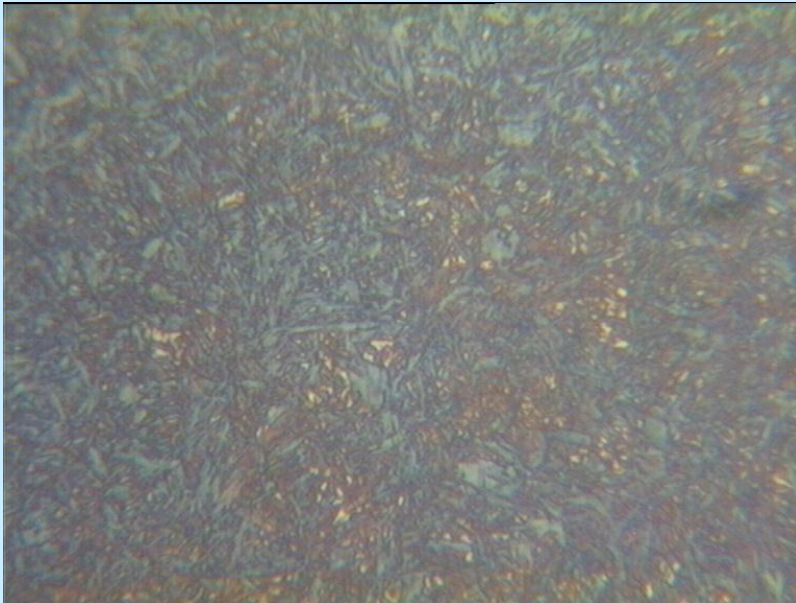
- **Célja a martenzites szövetszerkezet, ezzel a legnagyobb keménység biztosítása.**
- **Az edzés hőmérsékletének megválasztásakor az alábbiakat kell figyelembe venni:**
  - **Hipoeutektoidos acéloknál:  $A_{c3} + 30 - 50 \text{ C}^\circ$**
  - **Eutektoidos acéloknál:  $A_{c1} + 30 - 50 \text{ C}^\circ$**
  - **Hipereutektoidos acéloknál:  $A_{c1} + 30 - 50 \text{ C}^\circ$**
- **Az egyes acélfajták edzési hőmérsékletét a vonatkozó anyagszabványok tartalmazzák.**

# Az edzés ellenőrzése

- **Keménységméréssel (HRC vagy HV)**
- **a mérés helye előírt**
- **szövetszerkezet ellenőrzése (maradék ausztenit)**



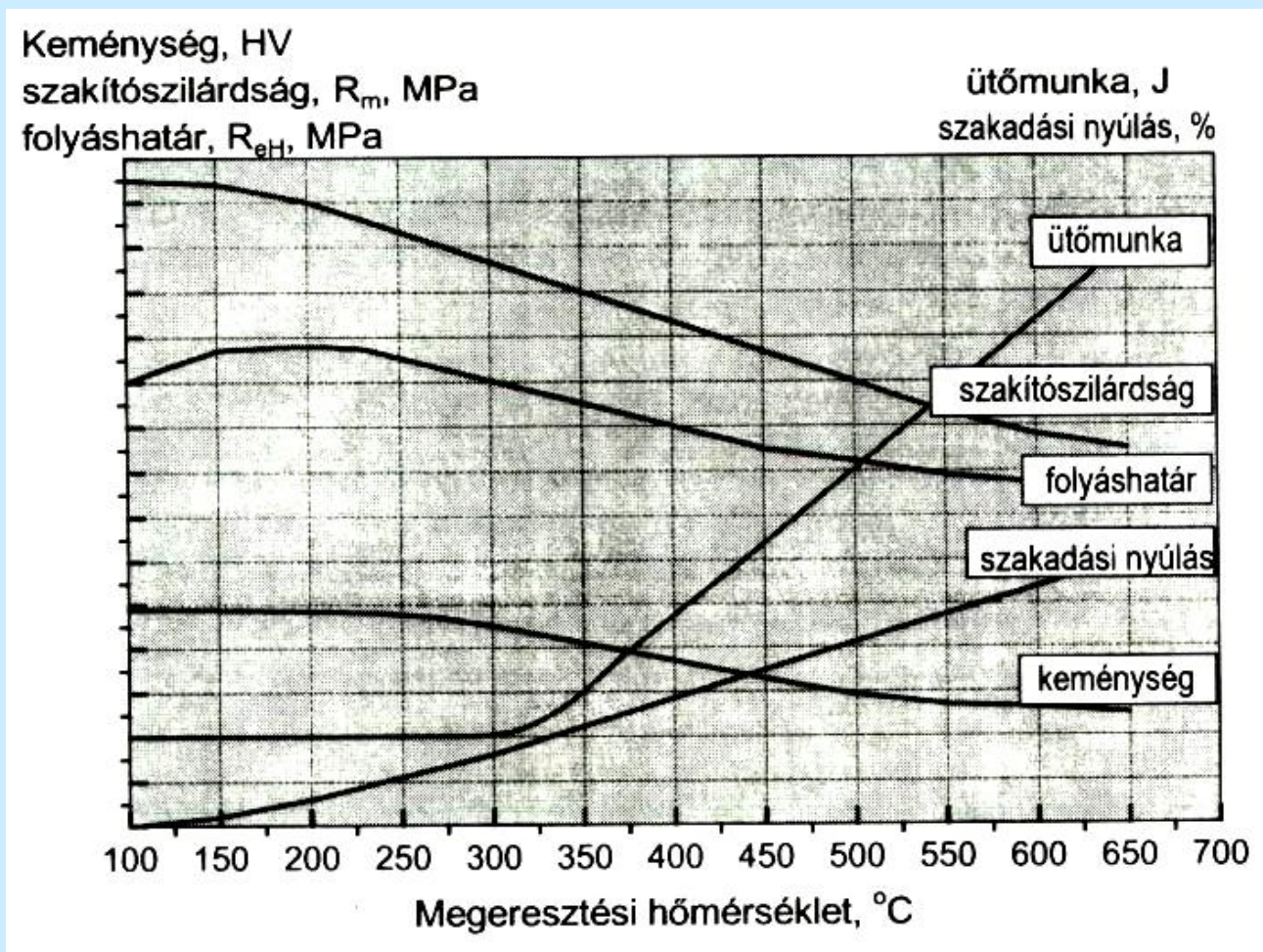
# Edzés



**Edzett, megeresztett szövet. Martenzit+ kevés  
maradék ausztenit**

# Szívósságot fokozó hőkezelések

## Nemesítés

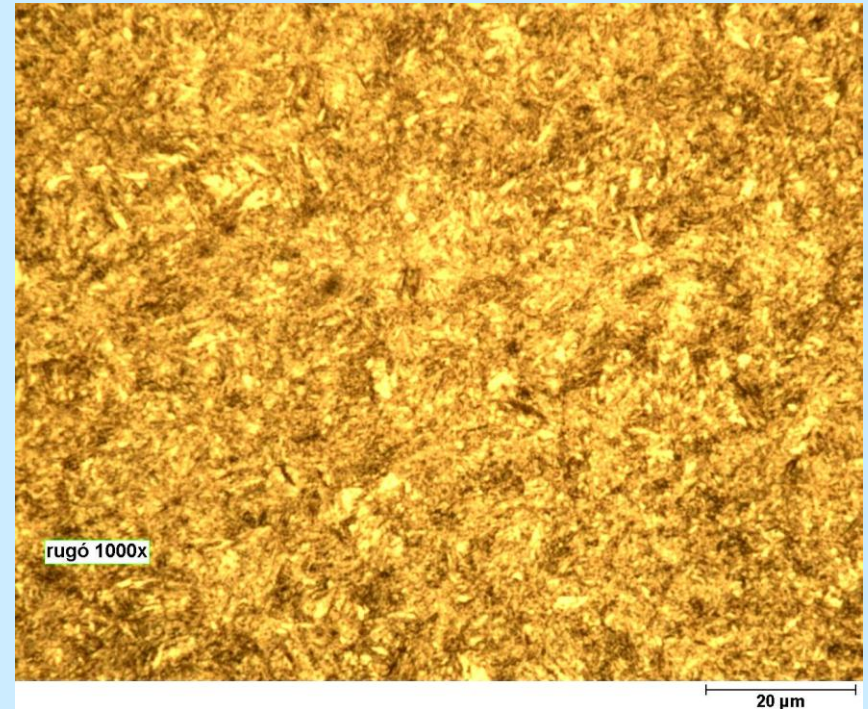


**Az anyagjellemzők változása ötvözetlen acél nemesítése során**



# A nemesítés ellenőrzése

- Keménységméréssel (HRC vagy HV)
- a keménység ellenőrzése a darabból készült metszeten (átedződés)
- szövetszerkezet ellenőrzése



# Felületi hőkezelések

Az elvárás a **kemény kopásálló felület**  
(kéreg) és **szívós mag**

Így megkülönböztetünk:

⇒ **összetételt nem változtató felületi edzéseket**

⇒ **összetételt változtató kérgesítő eljárásokat**

# A felületi hőkezelések áttekintése az edzhetőség feltételei alapján

**A felületi edzések alapelve az, hogy az edzéshez szükséges 3 feltétel közül mindhárom, csak a kéregben teljesül**

- ☞ 1. ausztenitesítés ( hevítés  $T > A_{c3}$  )**
- ☞ 2. hűtés  $v_{kf}$ -nél nagyobb sebességgel**
- ☞ 3.  $C > 0,2 \%$**

*Az acél összetételét nem változtató felületi  
hőkezelések,*

## **Felületi edzések**

- **A felületet meghatározott mélységig  $T > A_{c3}$  hőmérsékletre hevítik, és onnan a  $v_{kf}$ -nél gyorsabban hűtik.**
- **A kéregvastagságnak megfelelő mélységű hevítéshez rendkívül nagy hevítési sebességet (500-1000 C °/sec) kell elérni**
- **Ez csak nagy felületi teljesítménnyel lehetséges (1000-10000 W/ cm<sup>2</sup>).**
- **Eközben a mag hőmérséklete és szövetszerkezete nem változik.**

# Lángerzés

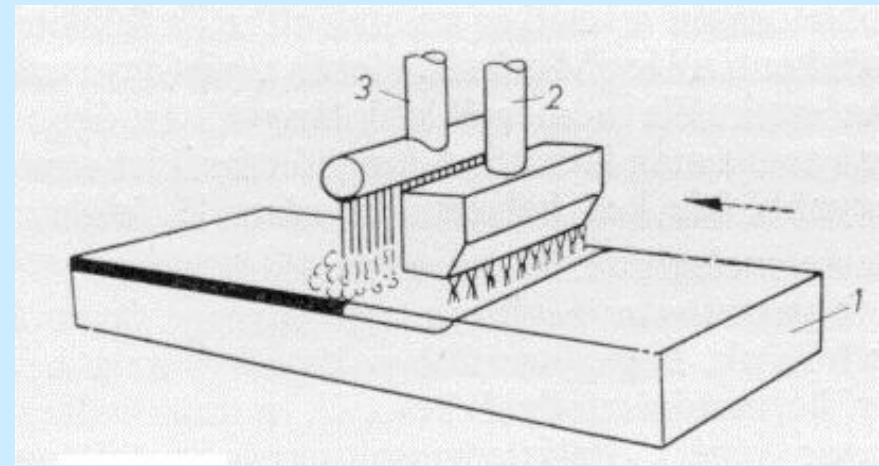
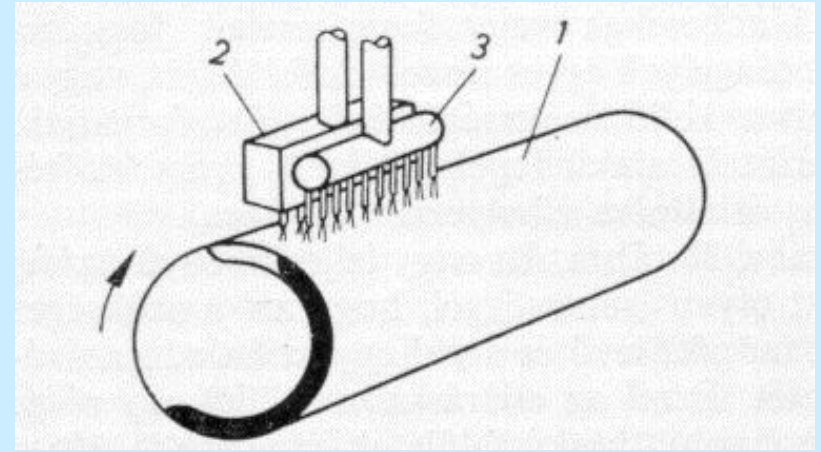
- A darab felületét nagyteljesítményű gázégőkkel hevítjük, majd vízzel hűtjük.

**A kéregvastagság 1,0 - 5 mm**

- A technológia lehet:

- szakaszos
- folyamatos

**A darabot meg kell eresztetni!**



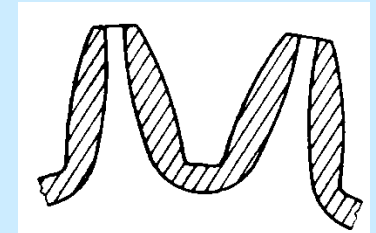
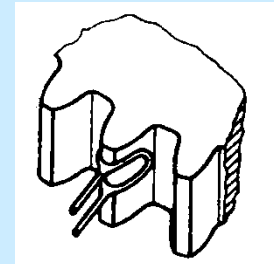
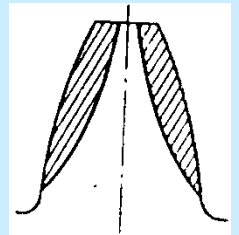
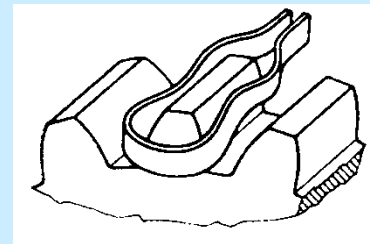
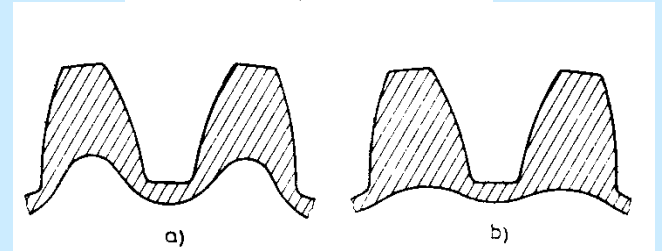
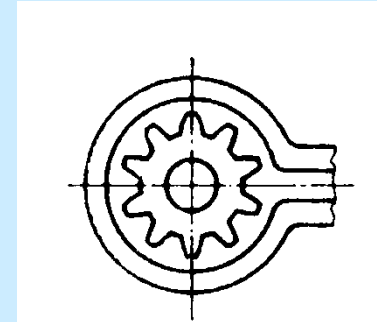
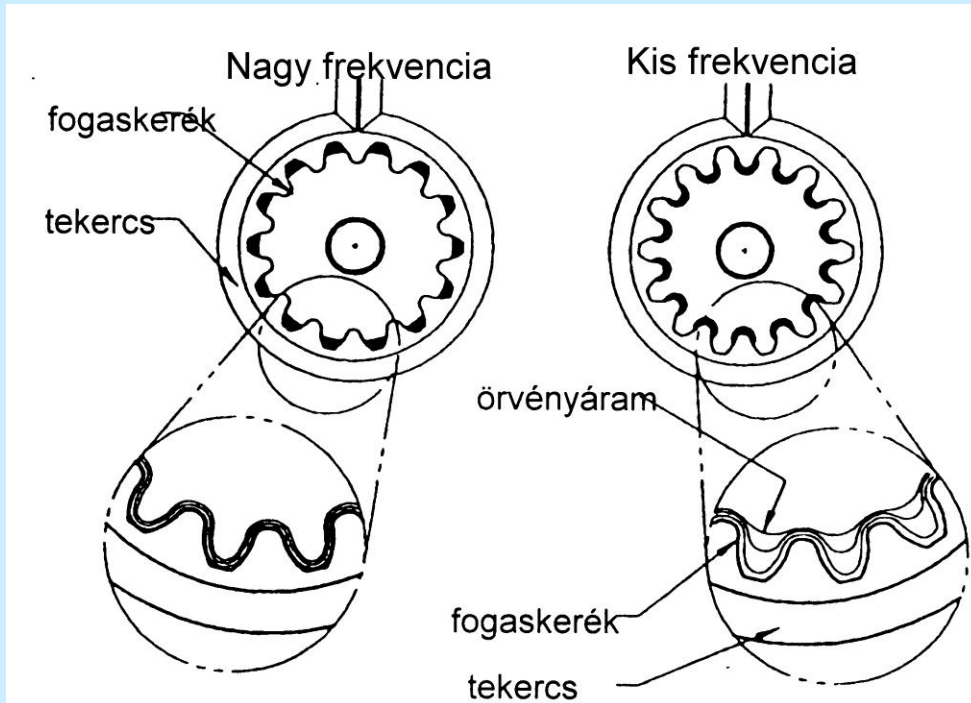
# Indukciós edzés

- Az indukciós hevítés elvi alapja az, hogy egy váltóárammal átjárt vezető erőterébe helyezett acél a benne fellépő **mágneses (hiszterézis) és villamos (örvényáram) veszteségek** miatt felmelegszik.
- A hűtés vízzel, vagy vizes oldattal történik.
- Használatos frekvenciák:
  - ⇒ középfrekvencia 2500 - 10000 Hz 1 - 3 mm-nél vastagabb kéreghez
  - ⇒ nagyfrekvencia 3 mm-nél vékonyabb kéreghez
- A darabokat az indukciós edzés után 150-180 C°-on **meg kell eresztetni.**

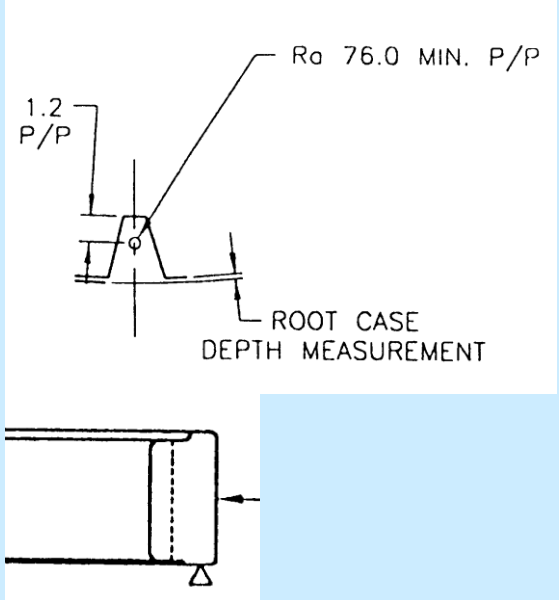


# Fogaskerekek indukciós edzése

## Frekvencia hatása



# Indukciósan edzett darabra vonatkozó előírások

Alkatrész megnevezése	Keménység ASTM E 18 HRA	Kéregvastagság mm
<p data-bbox="59 575 490 622">Internal gear reverse</p>  <p>The drawing shows a cross-section of a gear tooth. A callout line points to the tooth surface with the text 'Ra 76.0 MIN. P/P'. Another callout line points to the case depth with the text 'ROOT CASE DEPTH MEASUREMENT'. A dimension of '1.2 P/P' is indicated for a specific surface feature. Below the main drawing is a smaller cross-sectional view of a gear assembly with a triangle symbol at the bottom right.</p>	<p data-bbox="871 575 1427 679">Megeresztés után min 76 HRA 1,2 mm.</p>	<p data-bbox="1454 575 1889 679">Lábkörtől mérve 0,25-0,70</p>

# A felületen edzett darabok ellenőrzése 1

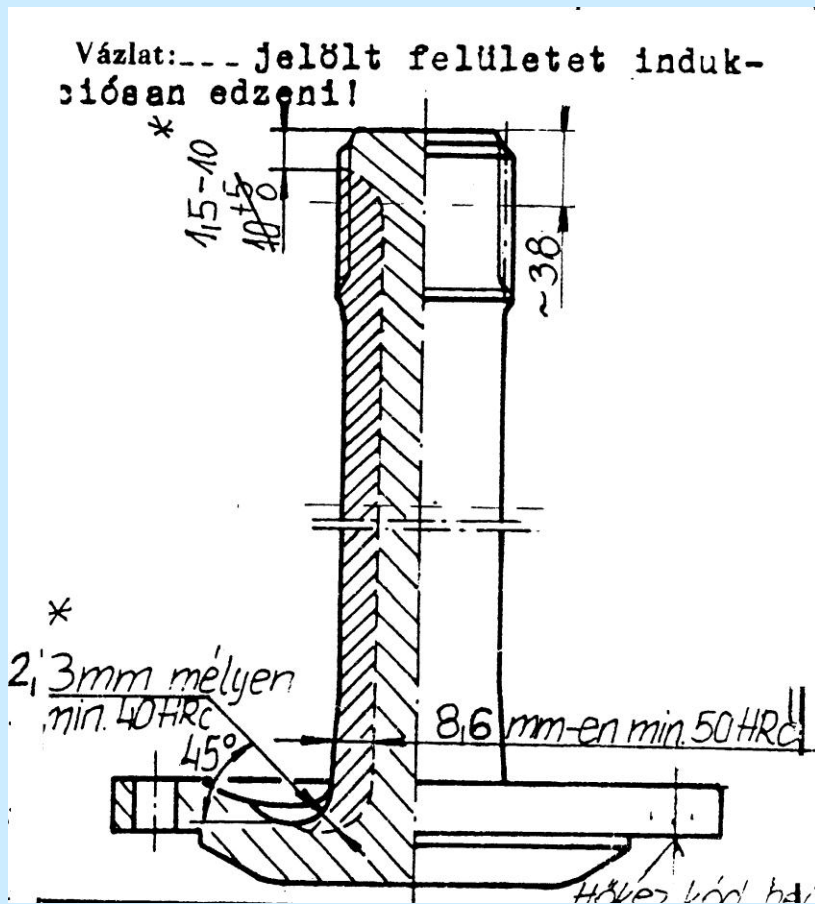
- Felületi keménység mérése HV vagy HRC
  - előírás általában **60-62 HRC**
- A magkeménység mérése
  - **a rajzon feltüntetett helyen kell mérni HRC vagy HV módszerrel. A méréseket a kéregvastagság meghatározására készített csiszolaton végezzük.**

# Felületen edzett darabok ellenőrzése 2

## A kéregvastagság meghatározása

- A kéregvastagság meghatározást szabvány írja elő:
- pl. SAE J 423 Dec83  
MSZ 2688 alapján
- A kéreghatár DS a felületre előírt keménység 80 %-a.

# Indukciósan edzett darab



# Indukciósan edzett darab



# **Összetételét változtató un. termokémiai kezelések**

# Termokémiai kezelések 1

- **Cél: a felületen meghatározott mélységig valamilyen fémes vagy nemfémes elem koncentrációját megnövelni és így a kéreg tulajdonságát a kívánt módon megváltoztatni.**
- **Az eljárások célja lehet mechanikai-, hő-és vegyi hatásokkal szembeni ellenállás növelése. A legtöbb esetben a cél a felület kopásállóságának és a munkadarab kifáradással szembeni ellenállásának növelése a kemény kéreg és szívós mag biztosításával.**



## Termokémiai kezelések 2

- A felület ötvözésére **különbéle termokémiai eljárások** terjedtek el, amelyekkel leggyakrabban **karbont és nitrogént, ritkábban bórt, krómot, alumíniumot, szilíciumot** juttatunk diffúzió útján az anyag felületébe.
- A **kéreg vastagsága** az eljárás jellegzetességétől, a darab méretétől függően betétedzés, nitrocementálás esetében kb. 0,1-2 mm, karbonitridálásnál kb. 20 $\mu$ m.

## Termokémiai kezelések 3

- **A felület ötvözéséhez szükséges elemet a darabot körülvevő közeg biztosítja.**
- **A közeg feladata, hogy a felülettel kölcsönhatásba lépve, azt valamilyen elemmel feldúsítsa.**

# Termokémiai kezelések 4

- A kölcsönhatás három részfolyamatra bontható:
  - Az ötvöző elemet **atomos állapotban** kell a felületre juttatni. Ez az atomos állapotú elem rendszerint **disszociáció** eredménye.
  - A közeg által atomos állapotban leadott elemnek **meg kell tapadni az acél felületén**. Ez a folyamat az adszorpció.
  - Az adszorbeált elemnek **a felületi rétegbe kell vándorolni**. Ez a **diffúzió** révén lehetséges.

# Betétedzés

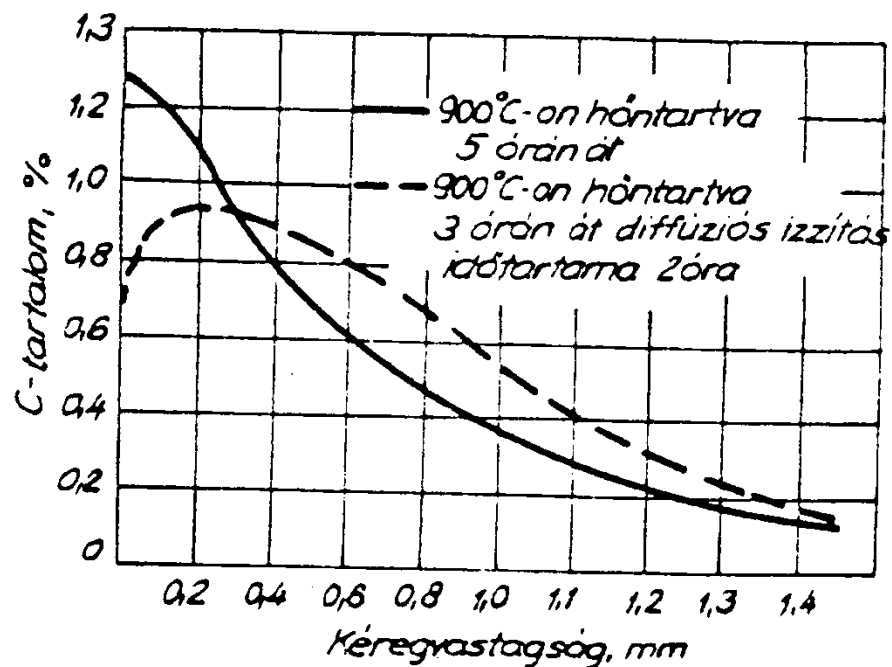
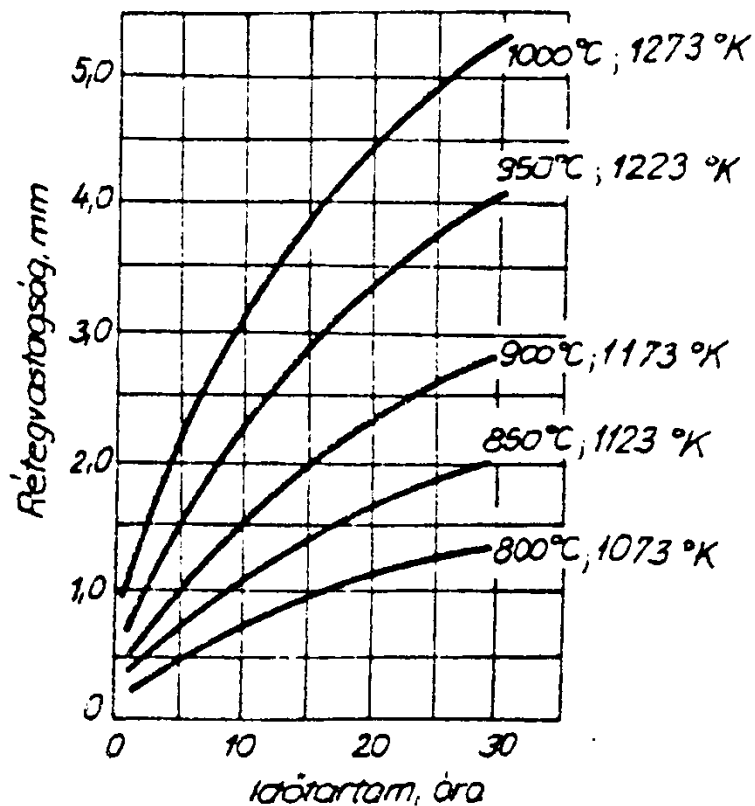
- **A betétedzés lényege, hogy a kis C tartalmú, nagyon szívós acélok felületi rétegét karbonnal dúsítják, majd az ily módon a kérgében edzhetővé vált darabot edzik.**

**A betétedzés = cementálás + edzés**

# Betétedzés, cementálás

- A cementálás során az alkatrészt **karbont leadó közegben 950-970 C°-on izzítjuk.**
- A cementáló közeg gáz, hatóanyaga **CO** vagy **szénhidrogén vegyület**, pl. metán, propán toluol, éter vagy hasonlók.
- A szobahőmérsékleten cseppfolyós szénhidrogéneket gőz alakban juttatják a cementáló térbe úgy, hogy valami alkalmas hordozógázt 15-25 % szénhidrogénnel telítenek. A hordozógáz lehet semleges hatású pl. nitrogén, lehet maga is karbonizáló pl. CO, de lehet dekarbonizáló is pl. hidrogén, vagy nitrogén-hidrogén-szénmonoxid gázkeverék.

# Betétedzés, cementálás



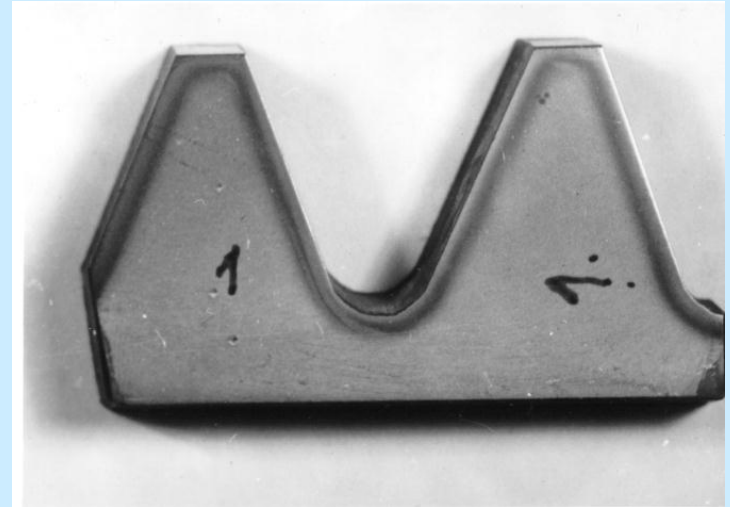
# A cementálást követő hőkezelések

- A cementált darabok **felületének C tartalma 0,8-0,9 %**, míg a mag **0,17-0,23 % C tartalmú**.
- A betétedzés céljaként megfogalmazott kemény, kopásálló, fárasztó igénybevételnek ellenálló kéreggel és szívós maggal rendelkező darabot csak akkor tudjuk teljesíteni, ha a darabot további hőkezeléseknek vetjük alá. Ezek az **edzés és a megeresztés**.

# Betétedzés (cementálás+edzés)



Betétedzett bolygókerék



Betétedzett tányérkerék



# **A hőkezelt darabokra vonatkozó előírások**

**A felületi hőkezelések esetében az előírások vonatkozhatnak:**

- ⇒a felületi keménységre**
- ⇒a magkeménységre**
- ⇒a kéreglefutásra**
- ⇒a kéregvastagságra**
- ⇒a kéreg és a mag szövetszerkezetére**

# Betétedzett darabok ellenőrzése 1

- Felületi keménység mérése HV vagy HRC
  - előírás általában **60-62 HRC**
- A magkeménység mérése
  - **a rajzon feltüntetett helyen kell mérni HRC vagy HV módszerrel. A méréseket a kéregvastagság meghatározására készített csiszolaton végezzük.**

# Betétedzett darabok ellenőrzése 1

## A kéregvastagság meghatározása

- A kéregvastagság meghatározást szabvány írja elő:
- pl. SAE J 423 Dec83  
MSZ 2656 alapján
- A szabvány megkülönböztet teljes és effektív kéregvastagságot.

# Betétedzett darabok ellenőrzése 2

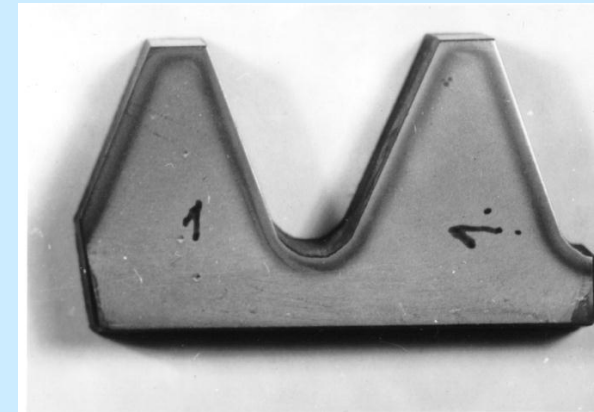
## A kéregvastagság meghatározása

- Az **effektív kéregvastagság** adott keménységhez tartozó **merőleges távolság**.
- A szabvány által **előírt keménység 50 HRC**,
- de lehet az effektív kéregvastagság az **52 HRC ( 500 HV)** keménységhez tartozó távolság.(függ a felületi keménységtől is)

# Betétedzett darabok ellenőrzése 3

## A kéregvastagság meghatározása

- A **teljes kéregvastagság** az a betétedzett darab felületétől mért merőleges távolság, ameddig a kéreg és a mag fizikai és kémiai tulajdonságai különbözőek. Azaz **addig a pontig** kell mérni ameddig a **kéreg és a mag szövetszerkezete eltérő.**



# Betétedzett darabok ellenőrzése 4

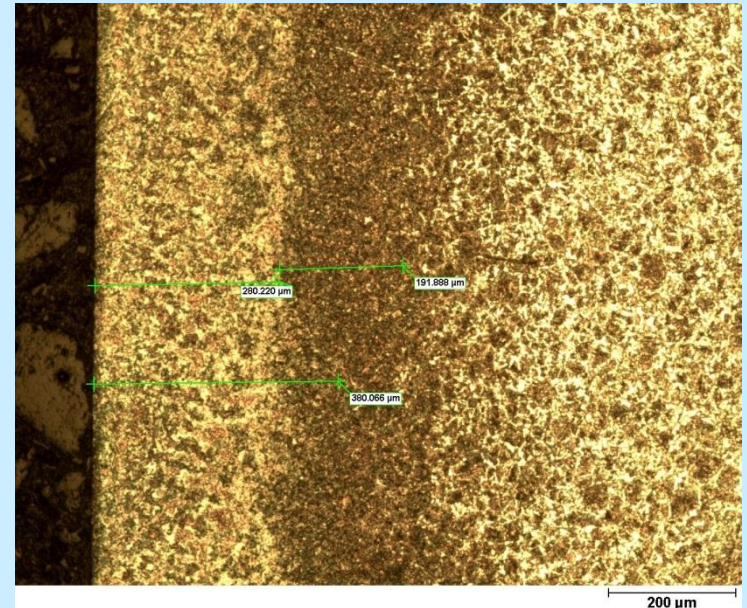
## A kéregvastagság meghatározása kémiai módszerrel

- **A darab felületéről rétegeket kell leválasztani**
- **A rétegek vastagsága 0,05-0,25 mm.**
- **Az így nyert réteg C tartalmát meghatározzuk .**
- **A teljes kéreghatár ott van ahol a meghatározott C tartalom nem tér el 0,04%-nál jobban az anyag C tartalmától.**

# Betétedzett darabok ellenőrzése 5

## Mikroszkópos módszer

- A cementált és edzett darabból készített maratott csiszolatot mikroszkópon vizsgáljuk és mérjük a kéregvastagságot.

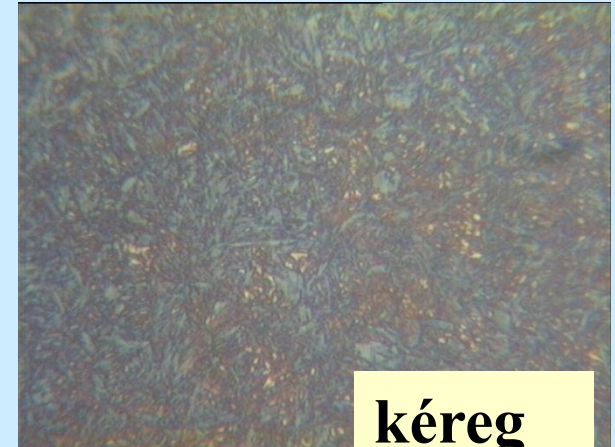




# Betétedzett darabok ellenőrzése 6

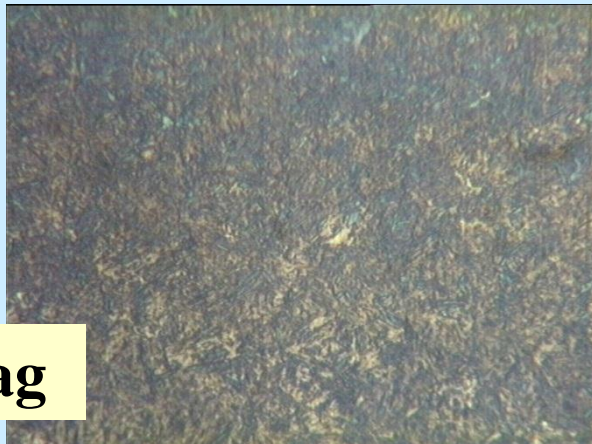
## A kéreg és a magszövet ellenőrzése

- A cementált és edzett darabból készített maratott csiszolatot mikroszkópon vizsgáljuk

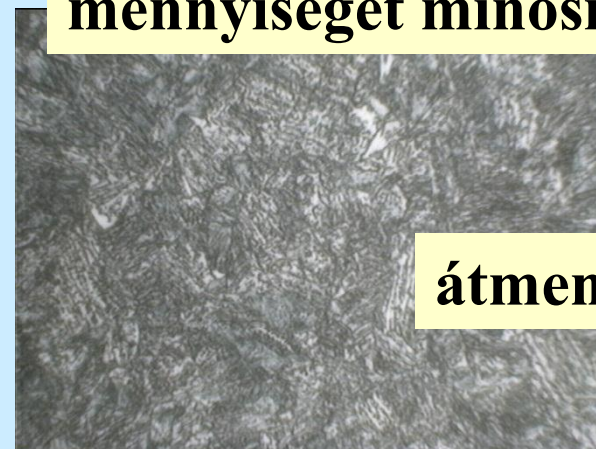


kéreg

A maradék ausztenit mennyiségét minősíteni kell!



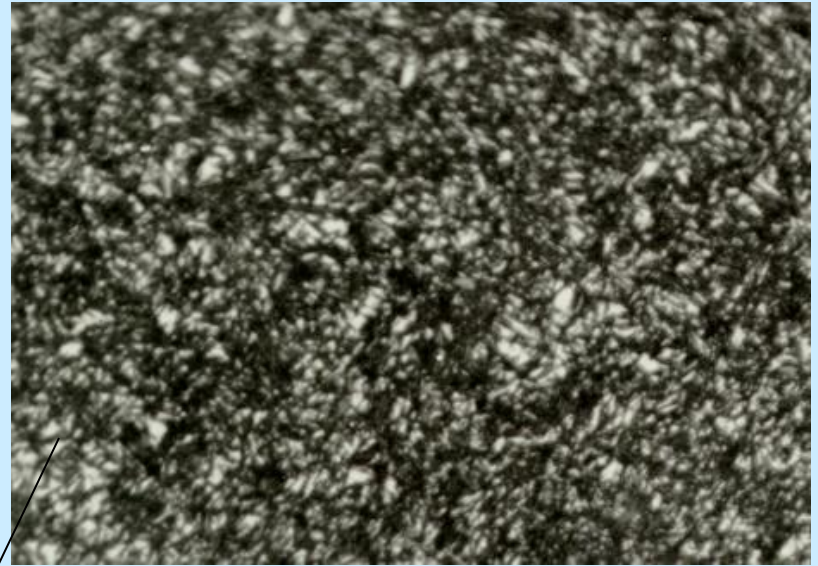
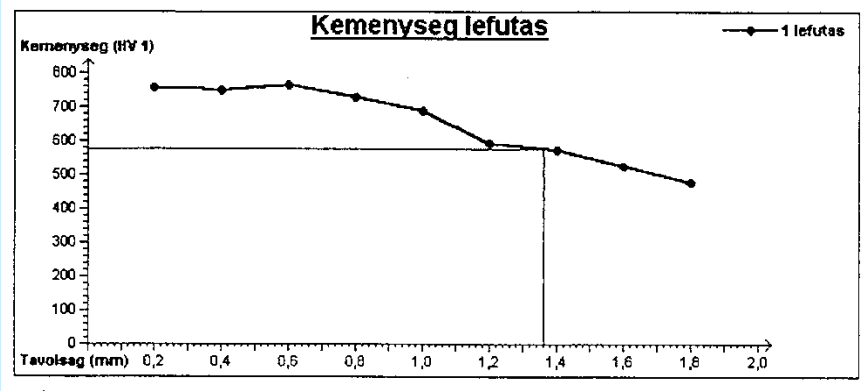
mag



átmenet

# Tányérkerék

(Cr, Ni, Mo ötvözésű)



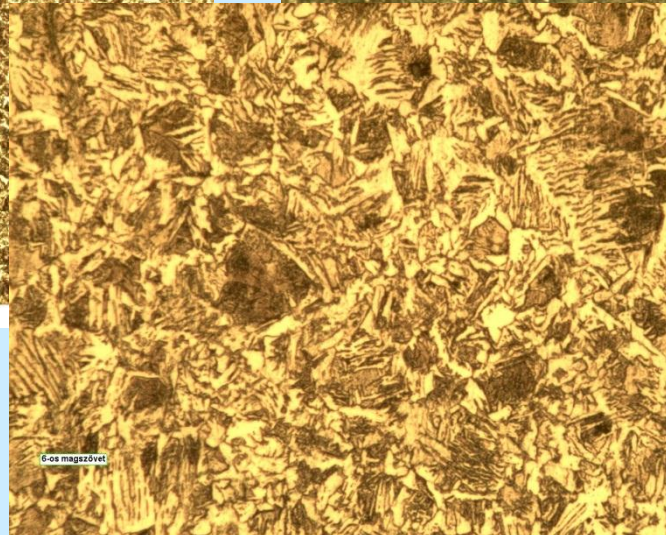
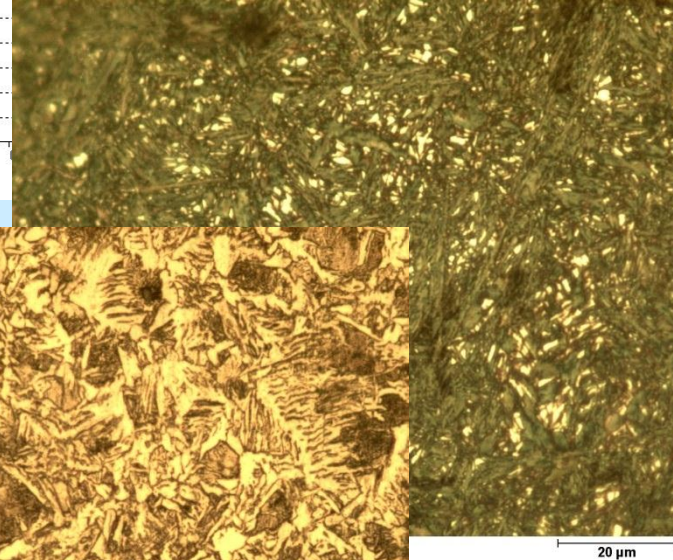
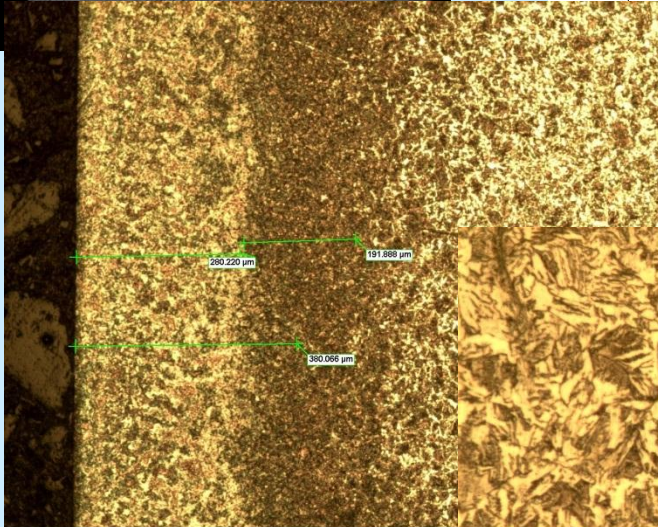
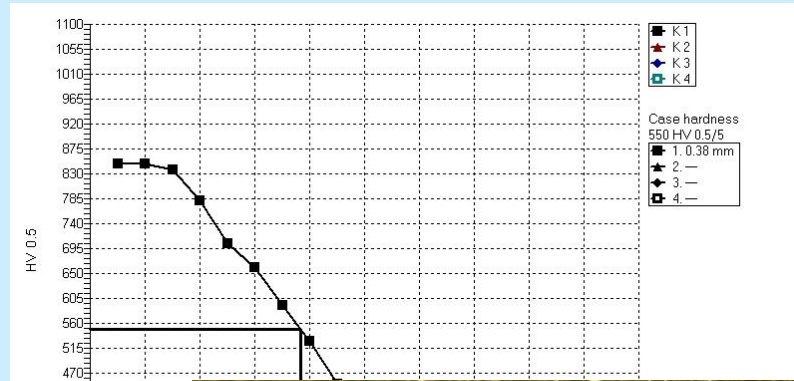
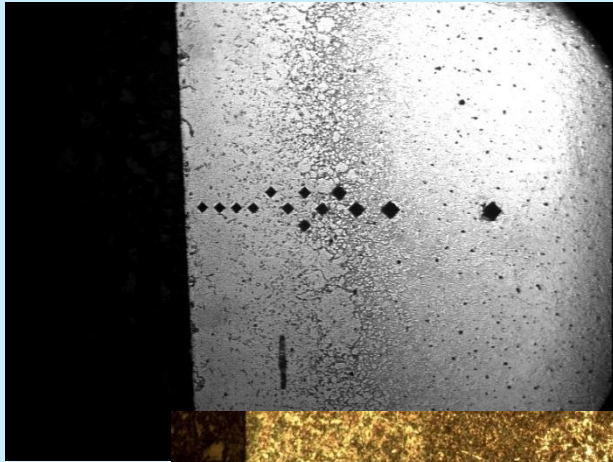
**Kéregszövet: Martenzit + maradék ausztenit**

**Magszövet: bainit**





# Ötvözetlen C 15 minőségéből készült alkatrész



# Felületi hőkezeléssel hőkezelt darabok vizsgálata

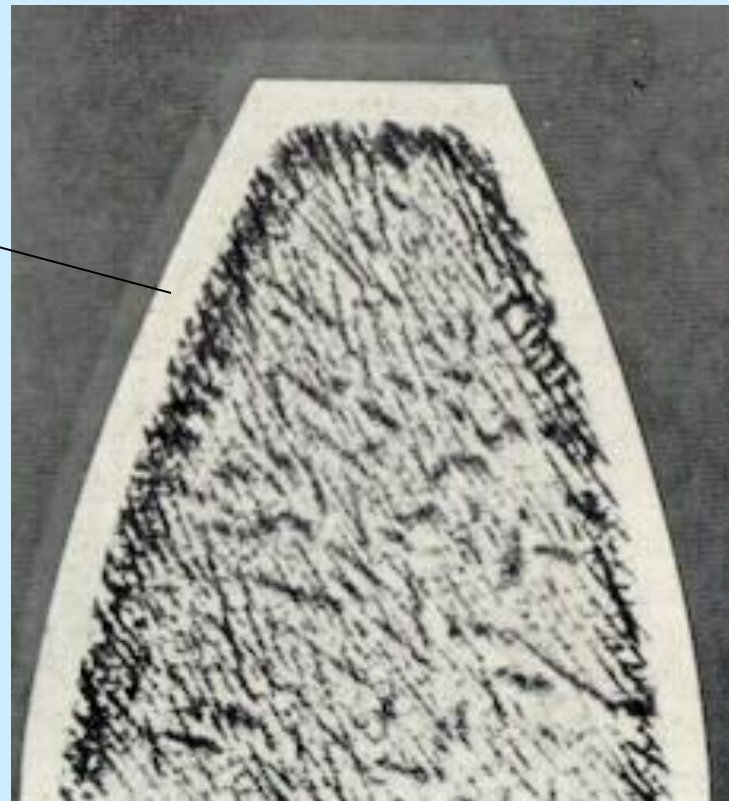
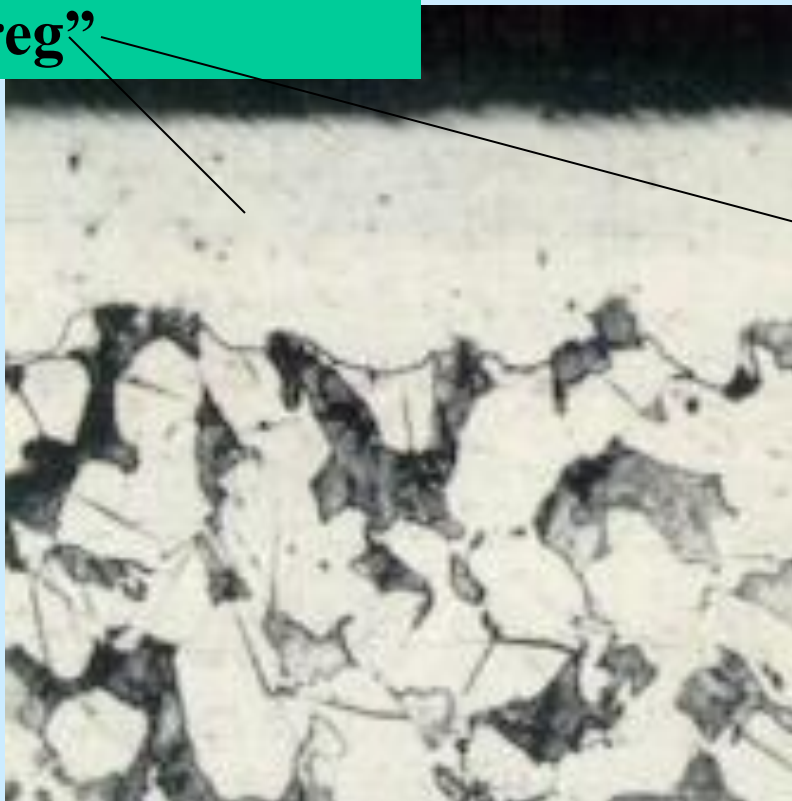
- **Roncsolásmentes vizsgálatok**
  - **mágnesporos vizsgálat**
  - **örvényáramos vizsgálat**

# Nitridálás, karbonitridálás

- A *nitridálás* célja az acél felületébe nitrogén bejuttatása, amely a felületen kemény kopásálló, korrózióálló, a kifáradással szemben ellenálló kérget hoz létre anélkül, hogy azt edzeni kellene. A darabot a kezelés megkezdése előtt a legtöbb esetben nemesítik, így a mag szívós lesz. A *karbonitridálás* esetében a nitrogénnel egyidejűleg karbon is diffundál a felületbe, aminek hatására a nitrideken kívül kemény karbonitridek is keletkeznek.

**Nitridekből álló  
vegyületi „fehér  
kéreg”**

# Nitridálás



**Nitridált kéreg ötvözetlen  
acélon**

**Nitridált fogaskerék  
Marószer: Oberhoffer**



# A nitridált alkatrészek ellenőrzése

- Felületi keménység mérése  
HV 10 vagy HV 30 (a mért értéket a kéreg vastagsága befolyásolja!)
- A kéregvastagság ellenőrzése mikroszkópos méréssel

