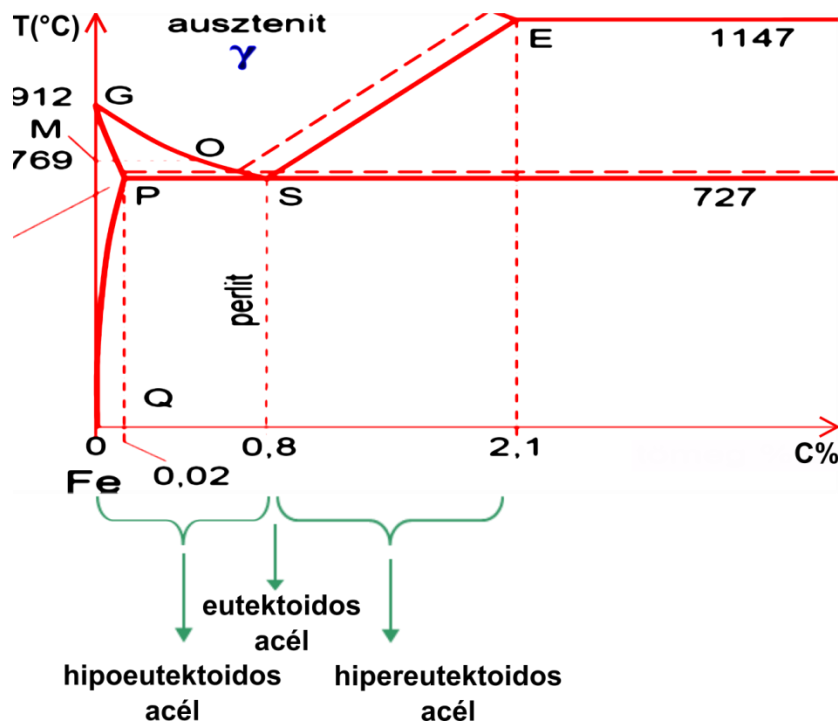


## ACÉLOK HŐKEZELÉSE

Az acél alapvetően Fe-C ötvözet, melyet tulajdonságainak javítására további anyagokkal ötvözhetnek. (Az ötvözetlen acélok maximális széntartalma 2,1 %, de néhány erősen ötvözött szerszámacél esetében ez nagyobb mennyiség is lehet – 1. ábra).



1. ábra. Fe-C állapotábra acélokra vonatkozó része

Az acélok ma is a gépészeti anyagok legfontosabb csoportját képezik. A világ acéltermelése az elmúlt évben elérte az 1,7 milliárd tonnát, ez azt jelenti, minden személyre évente 200 kg-nyi acéltermelés jut. A nagymértékű felhasználás lehetővé válik, mert:

- gazdaságosan előállítható, nagyüzemi előállítása jó hatásfokú, újra feldolgozhatósága igen előnyös,
- technológiai eljárásokkal (alakítással, ötvözéssel, hőkezeléssel és ezek kombinációival) széles tartományban befolyásolhatók különböző tulajdonságai (pl. mechanikai jellemzők, korróziós viselkedés, stb.).

Hőkezelés hatására az acélok tulajdonságai széles határok között változtathatók, így szívóssági és szilárdsági értékeik a felhasználás követelményeinek megfelelően beállíthatók. A hőkezelés szó egy eljárásrend gyűjtőneve, melynek segítségével a fémek és ötvözetek szövetszerkezetét igényeinknek megfelelően termikus aktiválás révén változtatni tudjuk, a kezelt tárgy alakjának és kémiai összetételének megváltoztatása nélkül.

A hőkezelés programozott hevítésből, hőtartásból és lehűtésből álló művelet, amely változtatott paraméterek mellett akár többször is megismételhető, és melynek célja a munkadarab szövetszerkezetének illetve feszültségállapotának megváltoztatása az előírt tulajdonságok (szilárdság, szívósság, kopásállóság, megmunkálhatóság stb.) elérése érdekében.

Minden fémes anyag hőkezeltető, azonban az acélok ( $C < 2,1 \%$ ) különösen alkalmasak arra, hogy tulajdonságaikat hőkezeléssel befolyásoljuk, mert:

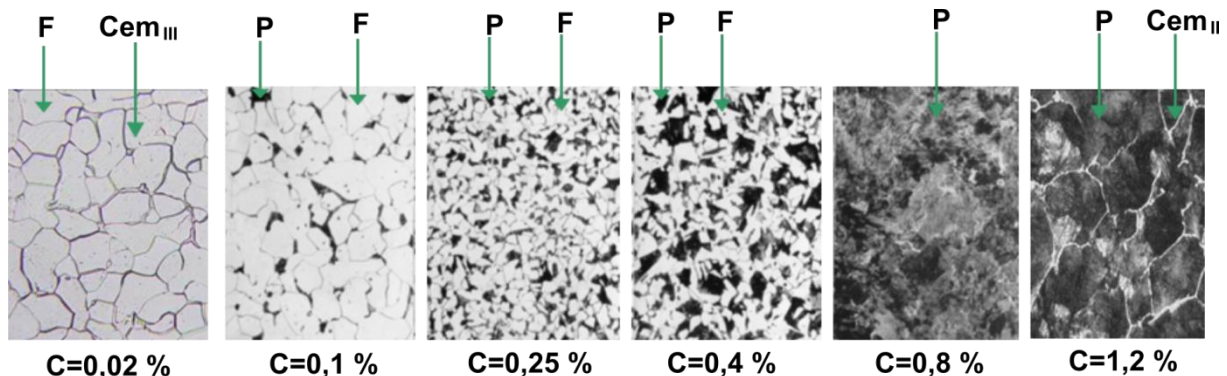
- olyan allotróp módosulatai vannak, amelyekhez ugrásszerű szénoldóképeség tartozik -  $\gamma$  ( $C = 0,8\%$ ) fkk  $\rightarrow$   $\alpha$  ( $C_{\max} = 0,02\%$ ) tkk térrács,
- ES, PQ vonal mentén a karbonra nézve korlátolt oldás van.

Az acélokat az általunk tárgyalt leggyakoribb hőkezelési műveletek előtt ausztenitesítjük. Az ausztenites szövetszerkezetet valóságos körülmények között *izotermikus* hevítéssel vagy *folyamatos* hevítéssel lehet létrehozni.

### Az acélok szövetszerkezete

Az acélok szövetszerkezete lehet közelítőleg *egyensúlyi* (ahol a szövetelemeket alkotó fázisok koncentrációjának kiegyenlítéséhez szükséges diffúzióhoz elegendő idő áll rendelkezésre) és az egyensúlytól lényegesen eltérő, *nem egyensúlyi*. Az acélok egyensúlyi szövetszerkezete elméletileg végtelen kis sebességű hűtés, vagy hevítés során – a diffúziós folyamatok végbemenetelét segítő hosszú idő alatt – keletkezik. Ideálisan lassú hűtéskor az acélok egyensúlyi szövetlemeinek összetétele az Fe-C állapotábra szövetlemeinek összetételével egyezik meg.

A 2. ábra a hipoeutektoidos ( $C < 0,8 \%$ ), az eutektoidos ( $C = 0,8 \%$ ) és a hiper-eutektoidos acél ( $0,8 \% < C < 2,1 \%$ ) egyensúlyi körülmények mellett lejátszódó átalakulásokor keletkező szövetszerkezeteket szemlélteti. Megállapítható, hogy a  $0,8 \%$  széntartalmú (eutektoidos összetételű) ausztenit az S pontban a perlites vonalon ( $A_1$  hőmérsékleten) alakul át perlites szövetszerkezetté. Ezt az átalakulást a hipoeutektoidos acélnál a GOS vonal alatt ferrit, a hipereutektoidos acélnál az ES vonal mentén, a szekunder cementit kiválása előzi meg. A perlit egy kétfázisú, rétegesen ferritből és cementitből álló szövetszerkezet.



2. ábra. Különböző széntartalmú acélok egyensúlyi körülmények közt kialakult szövetszerkezete  
F- ferrit ( $\alpha$  fázis), P- perlit ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ), Cem -  $\text{Fe}_3\text{C}$  - cementit

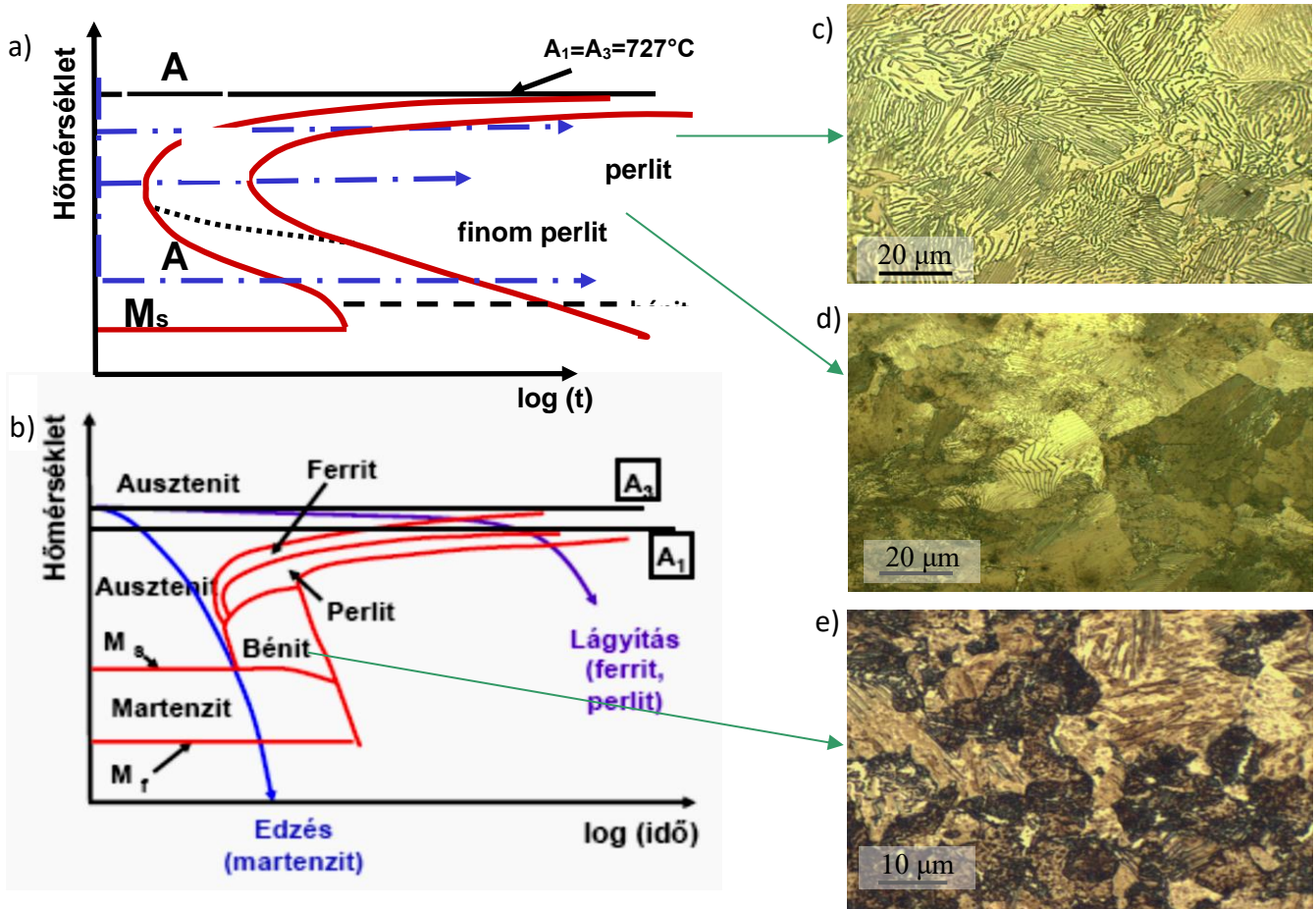
A **perlites átalakulás** az ausztenit krisztallit határain kiváló vaskarbid csírákkal veszi kezdetét. A C atomok az ausztenitből a csíra felé vándorolnak, így a csíra hosszirányban gyorsan növekedve cementit lemezzé növekszik, míg a környezete szénben elszegényedik és átalakul ferritté. Az így keletkező szövetelem a lemezes szerkezetű perlit. A jelenség az ausztenit krisztallit határain körben következik be, a perlitsomók nagyjából azonos sebességgel növekszenek a szemcse belseje felé mindaddig, míg összeérve, összenöve be nem fejeződik az ausztenit átalakulása.

### Az acélok nem egyensúlyi szövetszerkezetei

A valóságban a lehülési sebesség nem "végtelen lassú", hanem gyorsabb. A lehülés sebességének vagy a túlhűtés mértékének nagyságától függően változik a közel egyensúlyi állapotú ausztenit átalakulásának módja. Az ausztenit az  $A_1$  hőmérséklet és kb.  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  között perlitesen alakul át.

Az átalakulási hőmérséklet csökkenésével a C atomok diffúziója is lelassul, azaz a C atomok kisebb út megtételére képesek, ennek eredményeként egyrészt a perlitben elhelyezkedő cementitlemezek vastagsága csökken, másrészt a ferritben maradó C atom koncentrációja növekszik. Az ilyen vékony lemezes szerkezet a finom perlit. Hasonlóképpen a lehűlés sebességének növelésekor csökken a keletkező perlit szövetszerkezetében a ferrit és a cementit részecskék mérete is.

A finom lemezes perlit szilárdsága és keménysége nagyobb lesz, mert a ferritben (túltelített szilárdoldat formájában) az ötvöző-tartalom növekedése szilárdságnövekedést okoz, míg a cementit lemezek vékonyabb és sűrűbb megjelenése az alakváltozásra képes ferrittartományok szűkítésével növeli a szilárdságot.



3. ábra. Ausztenit átalakulása

- a) ötvöztelen, eutektoidos ( $C=0,8\%$ ) acél izotermikus átalakulási diagramja  
 b) hipoeutektoidos acél folyamatos lehűlési diagramja  
 c) durvalemezes perlit d) finomlemezes perlit e) bénit

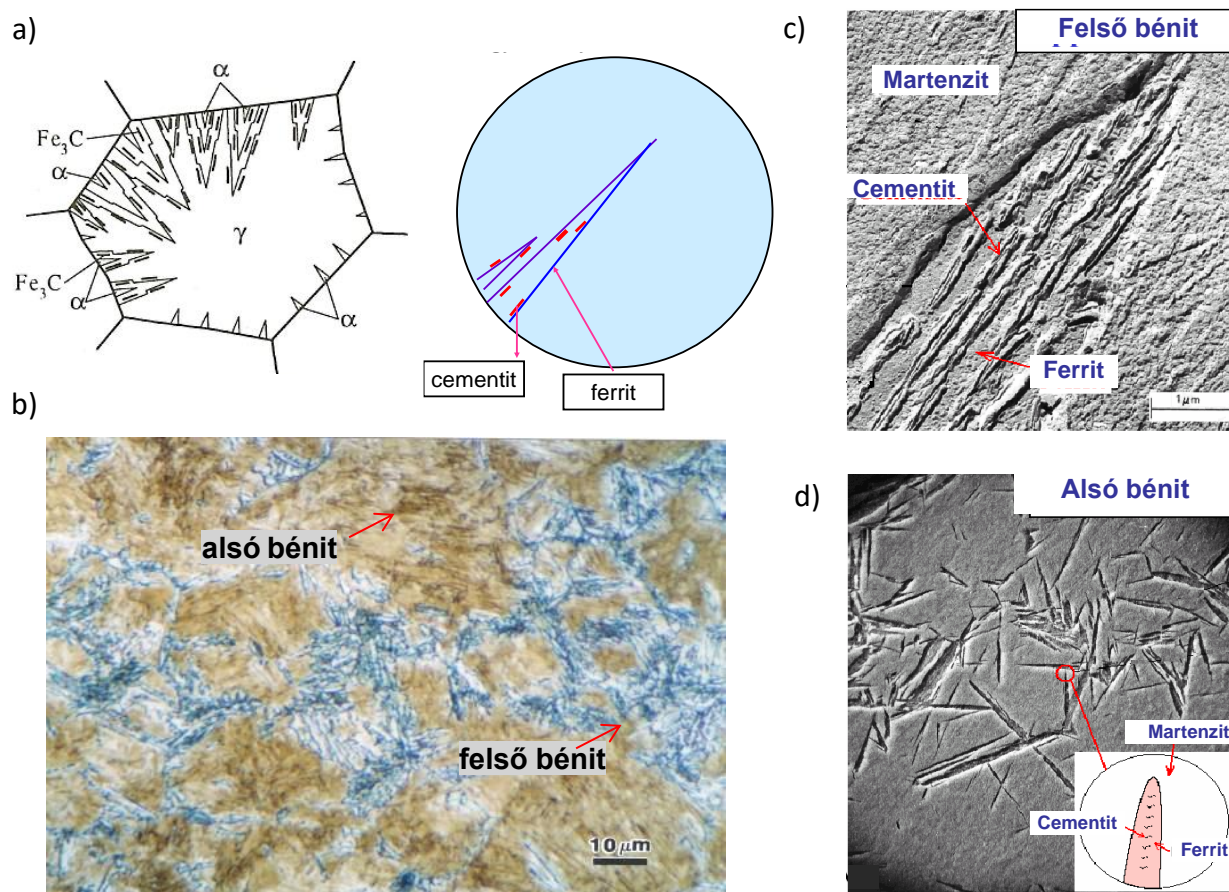
Megfelelően gyors hűtés esetén, a perlites átalakuláson kívül bénites és martenzites átalakulás is létrejöhet. Minél gyorsabb a lehűlés (minél kevesebb a diffúziós folyamat rendelkezésére álló idő), annál közelebb van az összetétel az allotróp átalakulás után is az ausztenit összetételéhez. A lehűlések során keletkező szövetszerkezetek a 3. ábrán láthatók.

### Bénites átalakulás

Ha az ausztenitet  $550^{\circ}\text{C}$  és  $250^{\circ}\text{C}$  közé hűtjük, az átalakulás már más mechanizmussal megy végbe. Izotermikus átalakulásnál a perlites átalakulásnál nagyobb mértékű túlhűtés esetén már korlátozott a diffúzió sebessége. Ebben az esetben a  $\gamma \Rightarrow \alpha$  átalakulás van "kedvezőbb helyzetben", a ferrit növekedése gyorsabb a szén diffúziójánál, az ausztenit

kristályhatáron tehát megjelennek a tű alakú ferrit csírák. A ferrittűk belsejében a túltelt ferritben – a C atomok kismértékű diffúziója révén – apró cementit szigetecskék (korongok) válnak ki. A ferrit növekedési sebessége lényegesen nagyobb, mint a diffúzió biztosított cementit képződés, ezért a cementit korongokat a ferrit "benövi", és kialakul a ferrit alapba ágyazott cementit korongocskákból álló szövetszerkezet, a bénit. Természetesen a bénit képződést befolyásolja a túlhűtés mértéke is. Ha a túlhűtés kisebb (a hőmérséklet 500°C körül), az ún. felső bénitot kapjuk. 250–350°C között azonban olyan nagy a  $\gamma \Rightarrow \alpha$  átalakulás hajtóereje, hogy az ausztenit kristályhatáron szénnel erősen túltelt ferrit tűk jelennek meg, és a kis mértékű diffúzió nem teszi lehetővé, hogy a C atomok jelentős mennyisége kidiffundáljon  $\text{Fe}_3\text{C}$  korongokat képezve.

Az így kialakult alsó bénitben az  $\text{Fe}_3\text{C}$  már csak elektronmikroszkópi képeken fedezhető fel (4. ábra).



4. ábra. Bénit kialakulása az ausztenitből

a) A bénit képződési mechanizmusa

b) Fénymikroszkópos felvétel bénites szövetszerkezetről színes maratás után

c) 350-550 °C között kialakuló felső bénit (ferrittűk és hosszú cementit részecskék elegye)

d) 200-350 °C között kialakuló alsó bénit (vékony ferrit lemezek és nyújtott cementit részecskék elegye)

A bénites szövetszerkezetű acélok szilárdsági tulajdonságai (elsősorban a ferritben túltelt szilárdoldat formában jelen lévő C atomok szilárdságnövelő hatása miatt) jobbak, mint a perlites szövetszerkezetűeké. A bénites acélok szívóssági tulajdonságai (kontrakciója, nyúlása) sem kisebbek, mint a perliteseké, mert a cementit lemezek által okozott ridegítő hatás már nincs jelen.

A bénites átalakulás jellemzői:

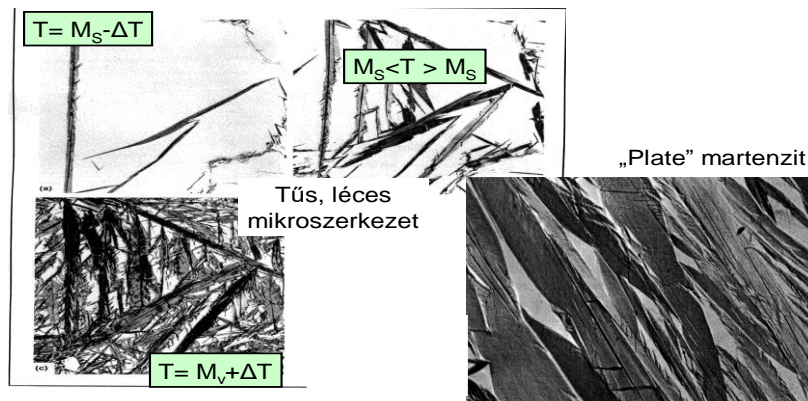
- diffúziós átalakulás,
- csíráképződéssel jár, a kezdő csíra a ferrit,
- bomlási folyamat:  $\gamma \Leftrightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ,
- megfordítható, reverzibilis folyamat,

- izotermikus és folyamatos hűtéssel is létre hozható, de 100%-ban csak izotermikusan.

A jó alakváltozó képességű és szilárdságú bénites szövetszerkezetet rugóknál, dróthúzásnál, stb. használják ki, de más területeken is terjed (hazánkban a huzalgyártásnál „patentírozás”, az USA-ban „izotermikus edzés” elnevezésű az eljárás). Csak bénitből álló szövetszerkezetet kizárólag izotermikus hőkezeléssel lehet létrehozni.

### Martenzites átalakulás

Ha az ausztenitet a kritikus lehítési sebességnél gyorsabban, kb. 250 C°-ra le tudjuk hűteni úgy, hogy diffúziós átalakulás ne jöhessen létre, az átalakulás egy új mechanizmussal, martenzites átalakulással megy végbe. Ilyenkor csak a  $\gamma \rightarrow \alpha'$  allotróp átalakulás következik be, azaz az ausztenit átalakulása a térrács szerkezetének megváltozásával, gyakorlatilag diffúzió nélkül megy végbe. Az így keletkező szövetszerkezet az 5. ábrán látható.

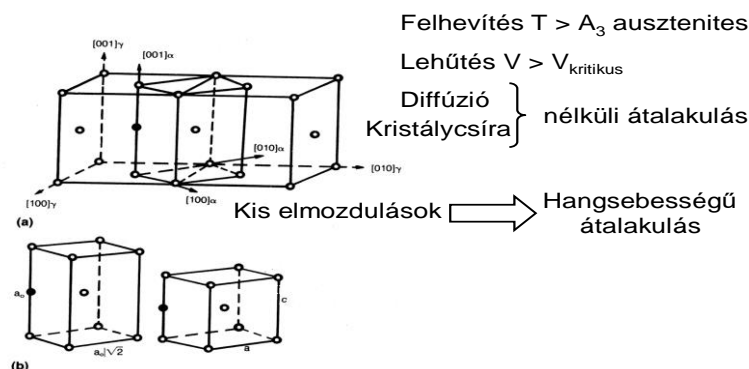


5. ábra. A martenzit különböző megjelenési formái

Fontos megjegyezni, hogy.

- **a kritikus alsó hűtési sebesség**, az a sebesség, amelynél nagyobb hűtési sebesség esetén már keletkezik martenzit.
- **a kritikus felső hűtési sebesség**, az a sebesség, amelynél nagyobb hűtési sebesség esetén már csak martenzit keletkezik.

Martenzites átalakuláskor az ausztenit fkk térrácsa tkk térráccsá alakul, miközben a szén nem tud kiválni, így tetragonálissá torzítja azt. A martenzites átalakulást egyszerű módon magyarázza a Bain-modell, ahogy azt a 6. ábrán láthatjuk.



6. ábra. A martenzites átalakulás Bain modellje

### Ausztenitesítési diagramok

Az acélok hőkezelése során a programozott hevítés gyakran az ausztenites zónába történik, ahol hőntartás, majd hűtés következik.

Az ausztenit az acélokban valóságos körülmények között létrehozható izotermikus illetve folyamatos hevítéssel. Az ausztenitesedés folyamatát az ausztenitesedési diagramok mutatják (7. ábra).

Az **izotermikus** viszonyok közötti ausztenitesítéshez a hevítésnek olyan gyorsnak kell lennie, hogy annak időszükséglete az ausztenitesedés szempontjából elhanyagolható legyen, így konstans hőmérsékleten – izotermán – értékelhető az ausztenitesedés folyamata, azaz az ausztenit képződés kezdetéhez és befejeződéséhez szükséges időtartam.

Az izotermikus diagramok használhatósága korlátozott, mivel a gyakorlatban a nagyobb alkatrészek esetén nehéz, vagy nem is lehet az izotermikus hevítés feltételeit megvalósítani.

A **folyamatos hevítésre** felvett T-lg(t) diagramban egy felhevítési sebesség vonalat kiválasztva az ausztenitesedés kezdetét az Ac<sub>1</sub>, befejeződését az Ac<sub>3</sub> görbével való metszéspont fejezi ki. Az Ac<sub>1</sub> és az Ac<sub>3</sub> görbék asszimptotái az A<sub>1</sub> és A<sub>3</sub> egyensúlyi átalakulási hőmérsékletek, melyek elvben a végtelen lassú hevítéshez tartoznak.

Az ausztenitté alakulás Ac<sub>3</sub> hőmérsékleten ugyan befejeződik, de ekkor az ausztenit még inhomogén, vagyis az előzőleg perlites helyeken több, míg a korábban ferrites helyeken kevesebb szennet tartalmaz. Az ausztenitesítés hőmérsékletét és időtartamát úgy kell megválasztani, hogy elfogadható homogenitású, de még finomszemcsés ausztenit jöjjön létre az ebből az állapotból induló hőkezelés(ek)hez. A folyamatos hevítés sebessége az átalakulást a nagyobb hőmérséklet és a kisebb idő irányába tolja el. Az ausztenitesítési diagramokról leolvasható, hogy adott hevítési viszonyok mellett mennyi idő múlva kezdődik az átalakulás, és mennyi idő múlva ér véget.

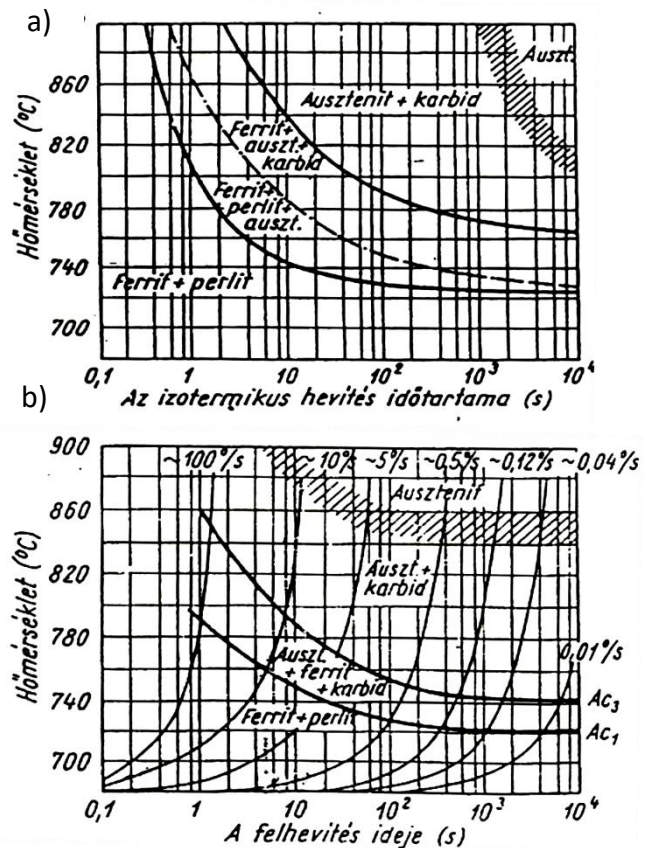
A folyamatos hevítésre érvényes diagramokat szabályozható sebességgel hevített darabok dilatációs görbéi alapján veszik fel.

### A hevítéssel keletkezett ausztenit tulajdonságai

A hevítéskor keletkezett ausztenit tulajdonságai az összetételétől, annak egyenletességétől és nem utolsósorban a kiinduló szemcsenagyságtól függenek. A hevítéskor kialakuló ausztenit szemcsenagysága a hevítés hőmérsékletétől, a hőtartási időtől, az ausztenit összetételétől függ.

A szemcsenagyság szerepe elsősorban a lehülés közben bekövetkező átalakulásoknál jelentős, hiszen a szemcsehatár a legreakcióképebb.

A hevítéssel keletkező ausztenit legfontosabb tulajdonsága az, hogy szemcsenagysága nem állandó, hanem mindaddig, amíg az acél ausztenites állapotban van a szemcsenagyság állandóan nő, és hűtéskor a lehülési sebességtől függetlenül megtartja a hevítésnél



7. ábra. Hipoeutektoidos acél ausztenitesítésekor lejátszódó folyamatok  
a) izotermikus hevítésekör  
b) folyamatos hevítésekör

kialakult szemcseszerkezetet. Ezt a viselkedést *irreverzibilis szemcsedurvulásnak* nevezük.

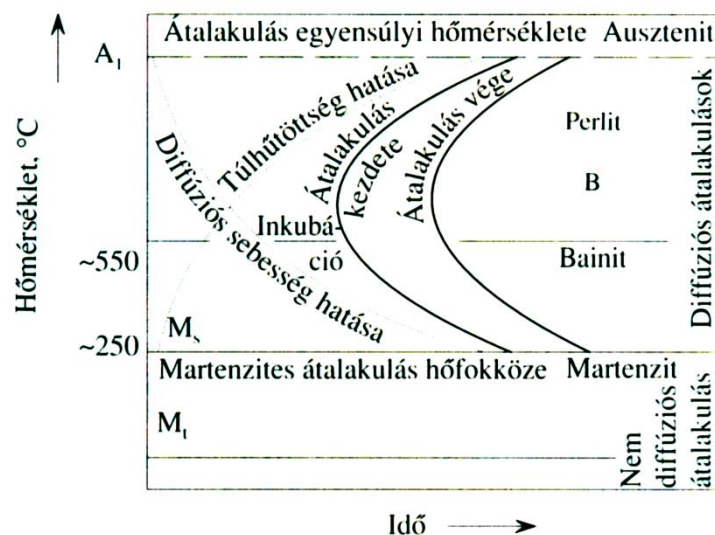
Az hevítés hőmérsékletének növelésével az ausztenit szemnagysága nő. A hőntartási idő növelése is szemcsedurvuláshoz vezet, bár ennek hatása kisebb, mint a túlhevítésé.

## Lehűtés

Az ausztenitesítést követő hűtés során lejátszódó, diffúziós és diffúziómentes átalakulásokat az ausztenit átalakulási diagramok szemléltetik.

## Ausztenit átalakulási diagramok

Az átalakulási folyamatot két ellentétes hatás befolyásolja: a  $\Delta T$  túlhűtéssel az átalakulási kényszer nő (az átalakulásra képes kritikus csíraméret egyre kisebb lesz), viszont az így kialakult kis(ebb) hőmérsékleten a diffúzió sebessége csökken. E két hatás együttesen eredményezi, hogy az ausztenit átalakulásainak  $T$  hőmérséklettől függő  $t$  időszükségletét  $T-\lg(t)$  koordináta-rendszerben, *C-alakú görbék* jellemzik (8. ábra). A C-görbék fontos segédletei a leggyakrabban alkalmazott hőkezelési technológiáknak.



8. ábra. Az ausztenit átalakulásának időszükséglete (C görbe)

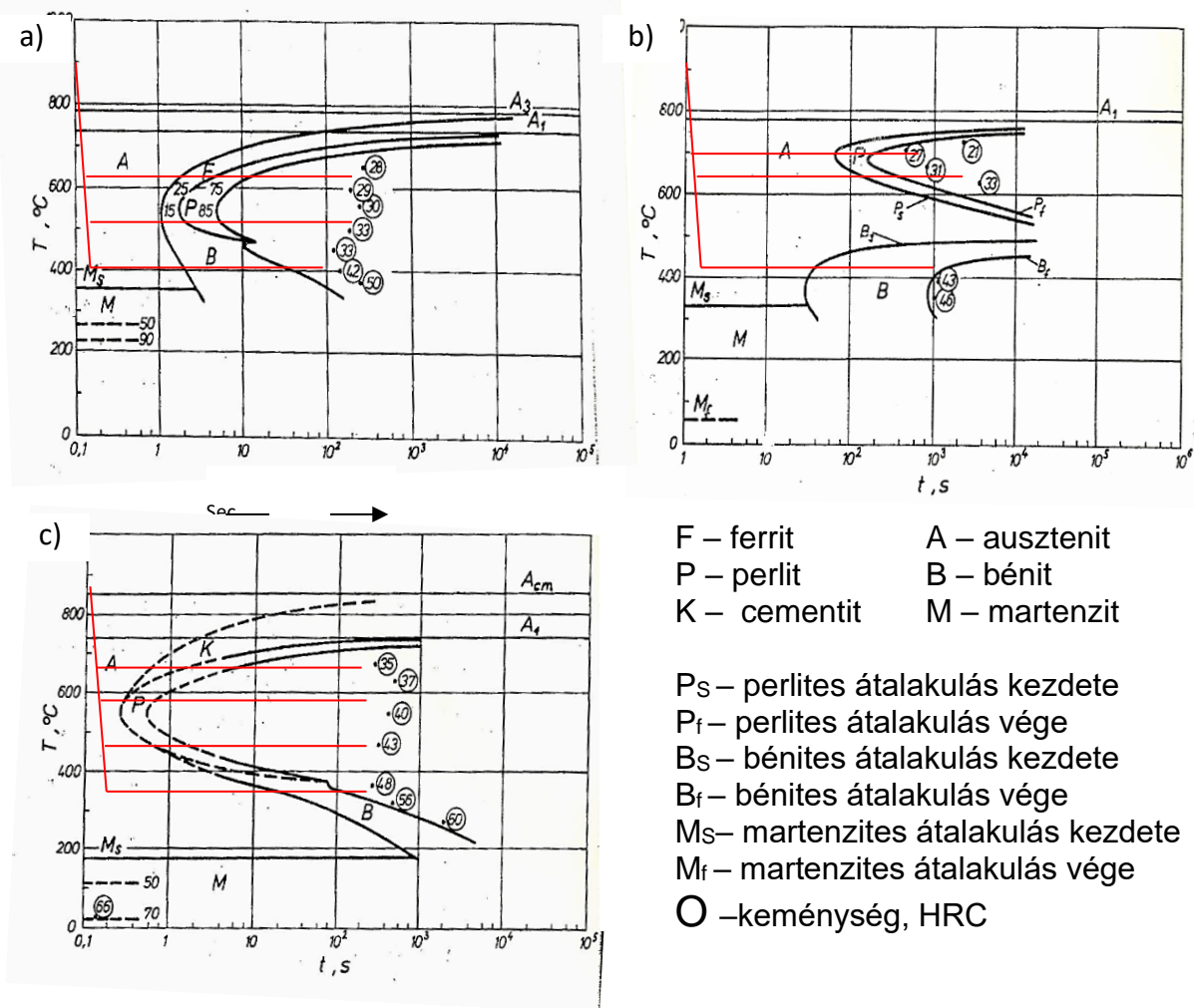
A nem egyensúlyi átalakulások nemcsak az átalakulási hőmérsékleteket, hanem a hevítéskor és a hűtéskor keletkező szövetelemek mennyiségi és minőségi viszonyait is megváltoztatják. A nem egyensúlyi átalakulásokat izotermikus (közel állandó hőmérsékleten), illetve folyamatos lehűlésnél vizsgálhatjuk.

A nem egyensúlyi átalakulási görbék az ausztenit átalakulásának kezdetét és végét valamint a belőle kialakuló szövetszerkezeteket mutatják.

Az izotermikus átalakulási diagramok konstans hőmérsékleten (izotermán) diffúziós átalakulásokra mutatja az átalakulás kezdetéhez és befejeződéséhez szükséges időtartamokat (9. ábra), továbbá a kialakuló szövetszerkezet összetevőit, keménységét

Az izotermikus átalakulás csak kisméretű próbatesteken, az ausztenit gyors hűtésével (pl.: só vagy fémfürdőben), majd hőntartással valósítható meg. A gyakorlatban az izotermikus átalakulást patentírozás műveleténél használják ki, ahol többnyire bénites szövetszerkezet létrehozása a cél.

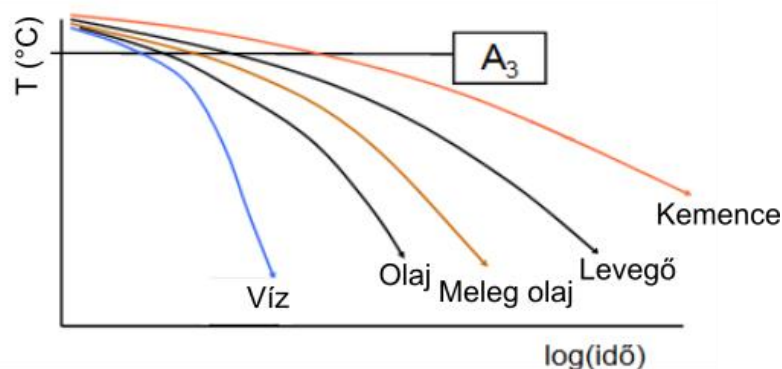
A gyakorlatban a hűtés ritkán izotermikus, leggyakrabban folyamatos, azaz a lehűtés az hevítési hőmérsékletről szobahőmérsékletre szabályozottan történik. A lehűtés sebességét az elérni kívánt szövetszerkezeti változás határozza meg.



9. ábra. Különböző acélok izotermikus lehülési görbéi

- a) Ötvöztelen hipoeutektoidos acél (C=0,44 %, Mn=0,66 %, Si=0,22 %, P=0,022 %, S=0,029 %)  $T_{\text{ausztenitesítés}} = 880^{\circ}\text{C}$
- b) Közel eutektoidos, gyengén ötvözött acél (C=0,43 %, Mn=0,04 %, Si=0,14 %, Cr=3,52 %, P=0,015 %, S=0,012 %)  $T_{\text{ausztenitesítés}} = 1050^{\circ}\text{C}$
- c) Ötvöztelen hipereutektoidos acél (C=1,03 %, Mn=0,22 %, Si=0,17 %, P=0,014 %, S=0,012 %)  $T_{\text{ausztenitesítés}} = 860^{\circ}\text{C}$

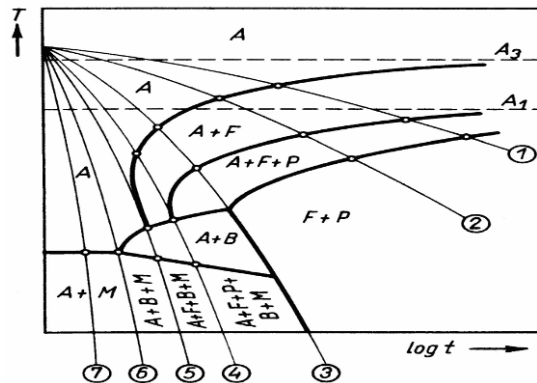
A folyamatos hűtésre vonatkozó ausztenit átalakulási diagramok, T-lg(t) koordináta-rendszerben, egy bizonyos hűtőközeg által meghatározott hűtés (lehülési görbe) mentén mutatják az átalakulások kezdő és véghőmérsékletét, a hozzájuk tartozó időtartamokat, valamint a várható szövetelemeket, ill. keménységértékeket is. A hűtési sebesség lehet gyors (edző, rögzítő hatású), normál (rendszerint levegőn) és lassú (lágyító hatású) (10. ábra).



10. ábra. Hűtőközegek hatásai folyamatos lehülések során



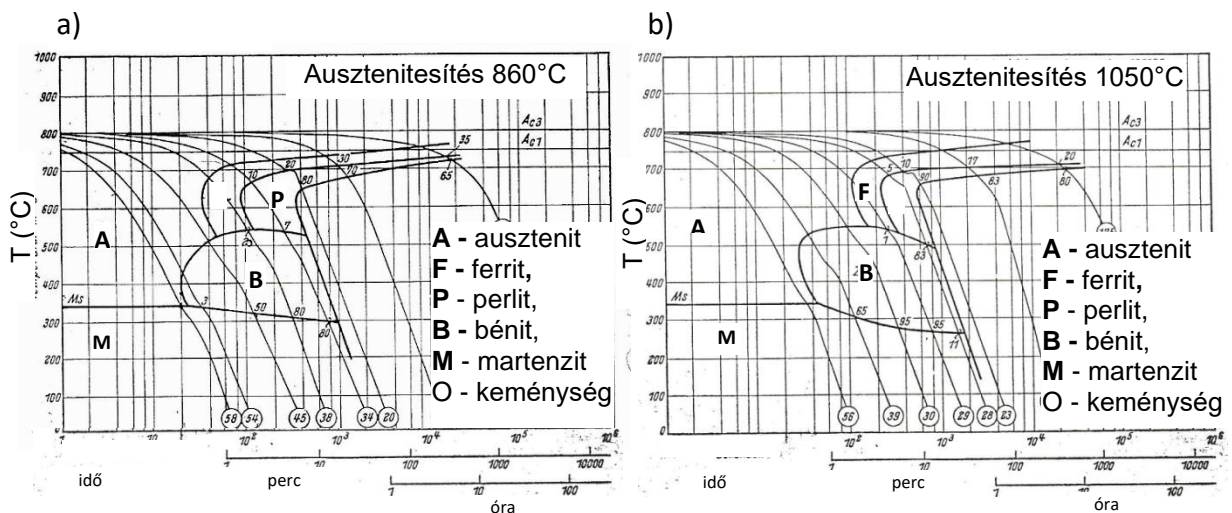
A folyamatos lehülési görbe kezelése hasonló az izotermikushoz. Természetesen, míg izotermikusnál az ausztenit átalakulásának kezdetét és végét az izotermákon, úgy a folyamatos átalakulásnál a lehülési görbéken adjuk meg. Az egyes átalakulások végét jelző vonalaknál az átalakult szövetelemek %-os mennyisége, a lehülési görbék végén a keletkezett szövetszerkezet keménysége van feltüntetve (11. ábra).



11. ábra. Egy hipoeutektoidos acél elvi folyamatos átalakulási diagramja

A folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramokon (T-lg(t) diagramok), az ausztenitesítés hőmérsékletét, valamint a kritikus átalakulási hőmérsékleteket ( $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$ ,  $A_{cem}$ ) mindig fel kell tüntetni.

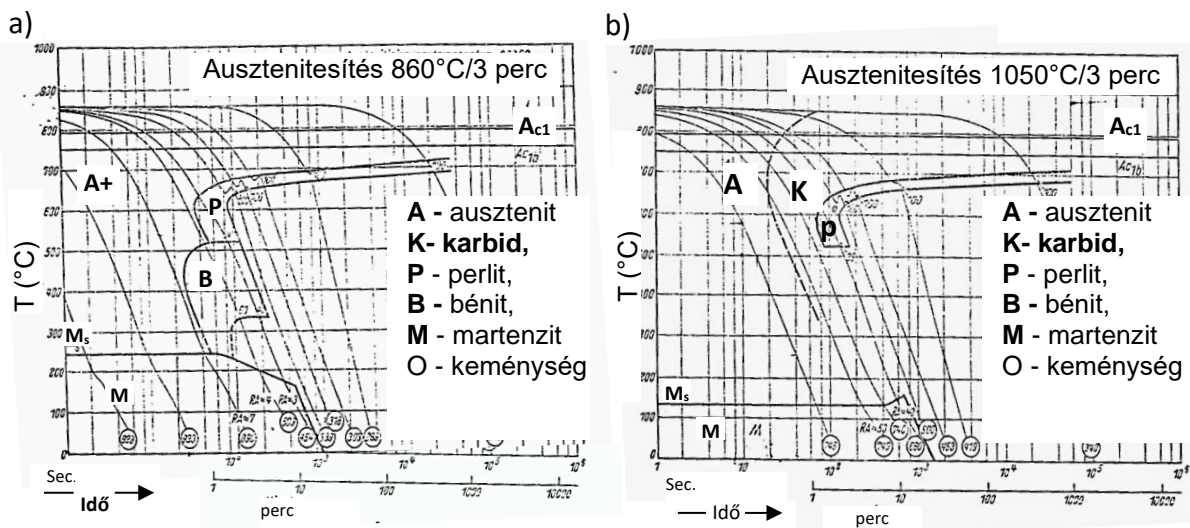
Az átalakulások mindig csak a különböző hűtési sebességekre vonatkozó lehülési görbék mentén elemezhetők. A diagramon nem szereplő hűlés görbe berajzolható, figyelembe véve, hogy a hűlés görbék egymást nem keresztezhetik.



12. ábra. Különböző hőmérsékleteken ausztenitesített 36Cr6 összetételű hipoeutektoidos acél ( $C=0,36\%$ ,  $Mn=0,49\%$ ,  $Si=0,35\%$ ,  $Cr=1,54\%$ ,  $P=0,021\%$ ,  $S=0,020\%$ ) folyamatos lehülési diagramjai

a)  $T_{\text{ausztenit}}=860^{\circ}\text{C}$

b)  $T_{\text{ausztenit}}=1050^{\circ}\text{C}$



13. ábra. 100Cr6 összetételű (C=1,04 %, Mn=0,33 %, Si=0,26 %, P=0,023 %, S=0,008 %) hipereutektoidos acél különböző ausztenítési hőmérsékletekről végzett folyamatos lehülési diagramjai

a)  $T_{\text{ausztenítés}} = A1 + 50^\circ\text{C}$ ;

b)  $T_{\text{ausztenítés}} = A_{\text{cem}} + 50^\circ\text{C}$

A lehülés során az egyensúlyi és a nem egyensúlyi fázisok, szövetelemek csak ausztenitből keletkezhetnek, a kialakult szövetszerkezet tovább már nem alakul. A keletkezett átalakulási, bomlási termék izotermás átalakulásnál csak az átalakulási hőmérséklet, míg folyamatos hűtésnél a hűtési sebesség függvénye.

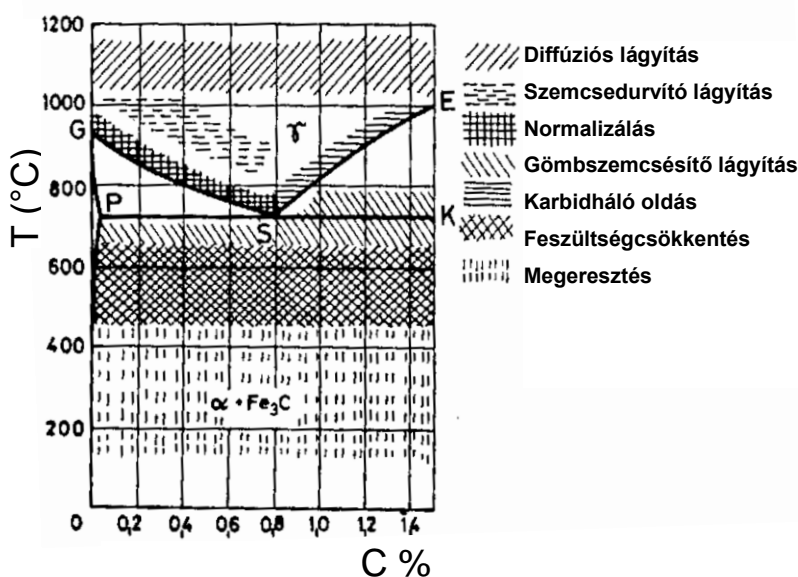
Egy ausztenit átalakulási diagram csak adott kémiai összetételre és kiinduló ausztenites állapotra (homogenitás, szemcseméret) vonatkozik. Különböző hőmérsékleteken végzett ausztenítés után, azonos hűtési feltételekkel végzett hőkezeléssel a létrejövő szövetelemek mennyiségi aránya, ezáltal a darab keménysége különböző.

Az átalakulások folyamatos hűtésnél kisebb hőmérsékleten hosszabb lappangási idő után játszódnak le, mint az izotermikus átalakulásoknál. Az átalakulási görbék a folyamatos hűtés esetén az izotermikus átalakulási diagramokhoz viszonyítva lefelé és jobbra tolódnak el. A 12-13. ábrán különböző összetételű acélok lehülési görbéi láthatók.

### Hőkezelési eljárások

A hőkezelési eljárások alaptípusai: a lágyítás, a feszültségcsökkentő hőkezelés, a normalizálás (lehűtés levegőn), az edzés, a megeresztés, valamint a patentírozás.

Az ausztenítési hőmérsékletek betartása nagyon fontos, mert a szükségtelenül nagy hőmérséklet a szemcse eldurvulását, fokozott elhúzódadást, bizonyos esetekben repedések kialakulását eredményezi. A nagyon kis hőmérséklet szintén káros, mert nem kapjuk meg a kívánt szövetszerkezetet pl. túl kicsi edzési hőmérséklet esetén a ferrit nem tud átalakulni,



14. ábra. A hőkezelési műveletek hőmérséklettartománya a vas-szén ötvözetek egyensúlyi diagramjában

a martenzit mellett nagyon lágy ferrit lesz. A vas-szén állapotábrán található különböző hőkezelési tartományok a 14. ábrán láthatók.

### **Lágyítás**

A lágyítás célja: az egyensúlyi állapothoz közeli állapot beállítása. A nagyobb ( $C > 0,4\%$ ) C tartalmú acélok csak lágyított állapotban forgácsolhatók könnyen.

Megvalósításának módja: az ausztenit mezőből ( $A_3 + 20-50^\circ\text{C}$ ) való igen lassú – kemencében történő – hűtés. Erősen ötvözött anyagoknál az ötvözők (pl. karbidképzők) oldatba vitele céljából alkalmazzák a nagy hőmérsékletű, úgynevezett diffúziós lágyítást

A lágyítás speciális módja a lemezes cementit gömbszerűvé alakítása (szferoidizálás), mely anyagok hidegen kiválóan alakíthatók. A hasonló, gömbszemcsés cementitet létrehozó lágyításnál a hevítési hőmérsékletek:

- hipoeutektoidos acélnál PS alatt,
- hipereutektoidos acélnál ingázás az SK vonal körül vannak.

### **Feszültségcsökkentő hőkezelés**

A feszültségcsökkentő hőkezelés célja: a gyors hűtési folyamatok által okozott belső feszültségek csökkentése, edzés, hegesztés vagy alakítás közbeni elhúzóadásra vagy repedésre érzékeny darabok esetén.

Megvalósításának módja szobahőmérsékletéről  $550-670^\circ\text{C}$  hőmérsékletre hevítés utáni 2-4 óra hőntartás, majd lassú hűtés.

### **Normalizálás**

A normalizálás célja: a szövetszerkezetre ható változtatások hatásának visszaállítása teljes vagy részleges újrakristályosítással, illetve az előzőleg durvaszemcsés acél szilárdsági tulajdonságainak javítása. Kis széntartalmú anyagoknál a lágyított állapothoz viszonyítva jobb a normalizált anyag forgácsolhatósága is. Gyakran ebben az állapotban adják meg az anyag mechanikai tulajdonságait.

Megvalósításának módja az ausztenitesítés hőmérsékletéről nyugvó levegőn történő lehűtés. A hőntartási idő hosszabb, mint 30 perc.

A normalizálás előtti hevítés hőmérsékletei:

- hipoeutektoidos acélok esetén  $30...50^\circ\text{C}$  a GS vonal felett,
- hipereutektoidos célok esetén  $30...50^\circ\text{C}$  az SK vonal felett, vagy (ritkán) a szemcsedurvulás miatt)  $30...50^\circ\text{C}$  az SE vonal felett vannak.

### **Edzés**

Az edzés célja: a martenzites vagy bénites szövetszerkezet létrehozása.

Megvalósításának módja a teljes- vagy részleges ausztenitesítés után az ausztenitesítés hőmérsékletéről ( $A_3 + 30-50^\circ\text{C}$ ) az acélra jellemző felső kritikus sebességnél nagyobb hűtési sebességgel történő hűtés.

Az acél összetételétől függően a felső kritikus sebességet biztosító hűtőközeg különböző (víz, olaj vagy akár levegő) lehet.

A gyakorlatban a martenzit tulajdonságainak, valamint a kritikus hűtési sebesség biztosítása miatt, az edzhető ötvözetlen acélok széntartalma nagyobb, mint  $0,2\%$ .

Ötvözetlen acélok estében csak a vízűtés biztosítja a kritikus hűtési sebességnél nagyobb sebességet.

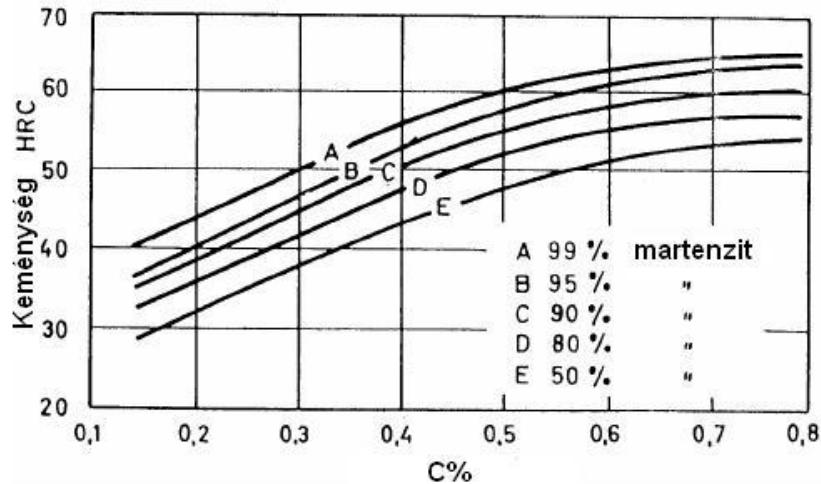
Hipoeutektoidos acélok edzésénél a teljes austenitesítés hőmérséklete  $30-50^\circ\text{C}$ -al a GS vonal felett van. Edzés után a martenzit mellett maradék ausztenit is keletkezik, ha a C-tartalom  $0,5-0,8\%$  között van.

Hipereutektoidos acélok edzésénél a részleges ausztenitesítés hőmérséklete 30-50°C fokkal az SK vonal felett helyezkedik el. Az eredmény: finomszemcsés martenzit és kevesebb maradék ausztenit, mint az SE vonal feletti hevítésnél. Az edzés után a szövetszerkezet martenzitet, vaskarbidot és maradék ausztenitet tartalmaz.

Az acél gyakorlati edzhetőségi feltételei:

- szénttartalom nagyobb, mint 0,2 %,
- a hevítés az ausztenites mezőbe történik,
- a kritikusknál gyorsabb a hűtési sebesség.

A kialakuló keménység az acél szénttartalmától és a létrejött martenzit mennyiségétől függ (15. ábra).



15. ábra. A keménységváltozása a szénttartalom és a martenzit arány függvényében

### **Megeresztés**

A megeresztés célja az edzett, rideg martenzites szövetszerkezet módosítása, hogy a dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállás és a szívósság növekedjen.

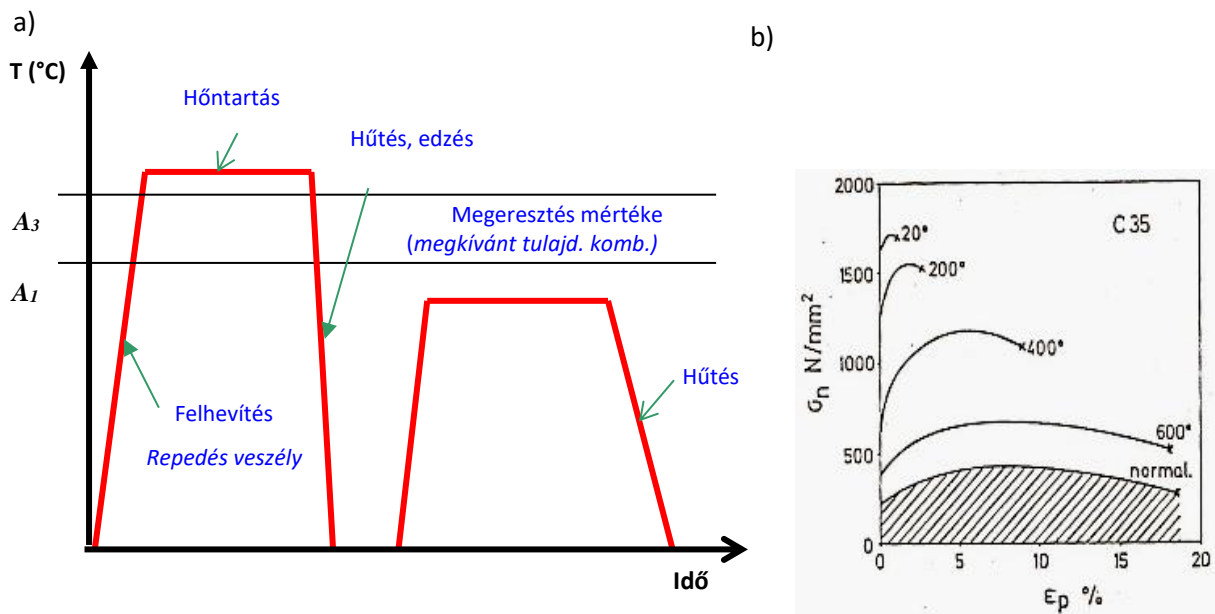
Megvalósításának módja az, hogy az edzést követően a célnak megfelelő hőmérsékletre hevítjük az alkatrészt, majd megfelelő ideig hőn tartjuk és azt követően lehűtjük (16a) ábra). Az anyagjellemzők a hőmérséklet és a hőntartási idő függvényében változnak (16b) ábra).

A kis hőmérsékleten (100-300°C) végrehajtott megeresztés során a martenzites állapottal járó ridegség csökkenthető, miközben a keménység nem, vagy csak alig változik. A nagy hőmérsékleten (500-680°C) végrehajtott megeresztés során a martenzit megbontásával, finom karbid-eloszlás és jelentős szívósság növekedés érhető el. A lejátszódó folyamatokat a 17. ábra szemlélteti.

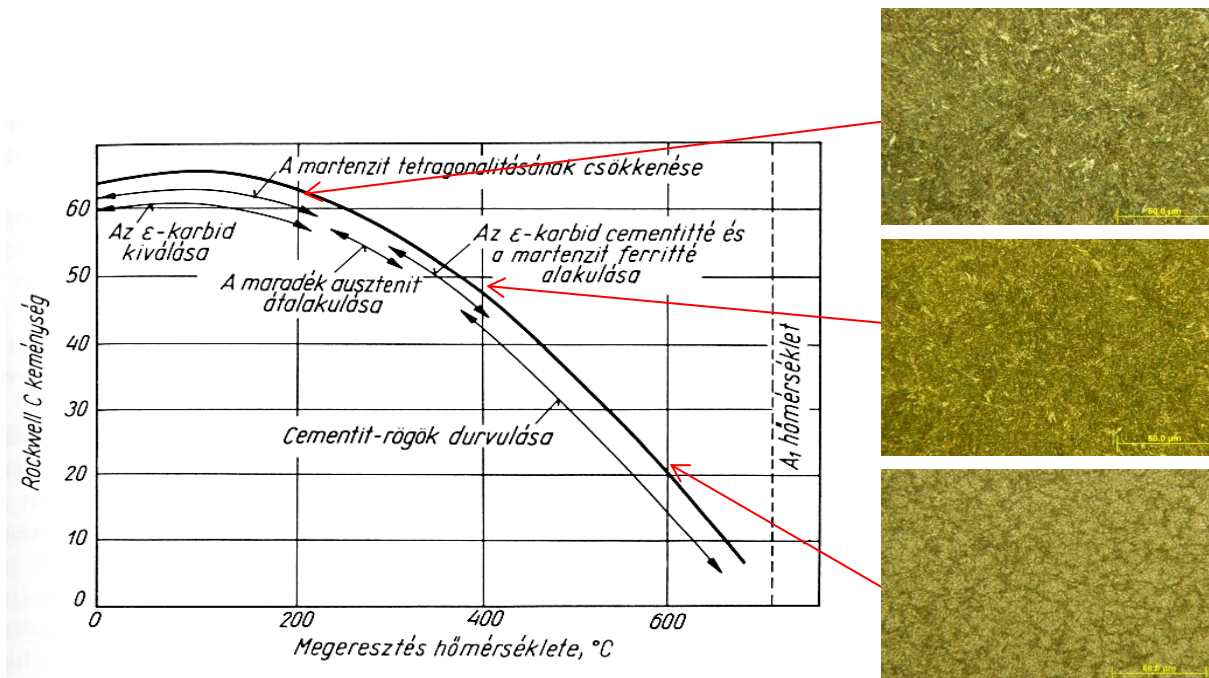
A kisebb hőmérsékleteknél és rövidebb idő alatt a keménységcsökkenés kicsi, ugyanakkor a képlékenység- illetve szívósság kevésbé növekszik.

A megeresztés hőmérsékletére a rideg (edzett állapotú) darabokat óvatosan kell felhevíteni, mert a hőfeszültségekre nagyon érzékenyek.

Adott idejű megeresztéseknél, a megeresztési hőmérséklet növelésénél, a keménység és a szilárdság változása kezdetben nem jelentős. A hőmérséklet jelentős növelésével a keménységcsökkenés (és az alakíthatóság ill. szívósságnövekedés) mértéke jelentős lesz.



16. ábra. a) Edzés+ megeresztés folyamata, b) C35 acél szakítógörbéinek változása a megeresztési hőmérséklet függvényében

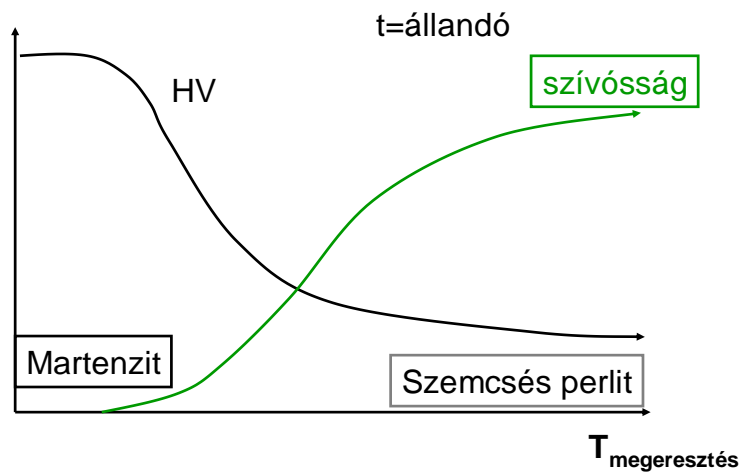


17. ábra - A megeresztési hatására létrejövő változások edzett eutektoidos acélban

### Nemesítés

Az edzést és a nagy hőmérsékletű megeresztést (550-650°C) nemesítésnek nevezzük. Célja a dinamikus igénybevételnek kitett gépalkatrészek (tengelyek, hajtóműalkatrészek) anyagát olyan ferrites-cementites szövetszerkezetűvé tenni, hogy az anyag a nagy folyáshatár és a jelentős kifáradási határ ellenére is szívós maradjon. A nemesítés után nyert szövetszerkezet szferoidit vagy szemcsés perlit.

Erősen ötvözött acélok esetén a nagy hőmérsékletű megeresztés kiváló keménységet hozhat létre. A megeresztés okozta tulajdonságváltozások a 18. ábrán láthatók.



18. ábra. A megeresztés hőmérsékletének hatása a szívósságra és a keménységre

### Felkészülést segítő kérdések:

- Fogalmazza meg a hőkezelés fogalmát!
- Ötvöztelen szénacéloknál milyen szövetszerkezeti elemeket különböztetünk meg egyensúlyi körülmények között történt lehűlés után (szobahőmérsékleten)?
- Ötvöztelen szénacéloknál milyen szövetszerkezeti elemek alakulnak ki az ausztenitből egyensúlyitól eltérő körülmények között történő lehűlés során?
- Hogyan képződik a *durva perlit*?
- Hogyan jön létre a *finom perlit*?
- Milyen szövetszerkezeti elem a *bénit*?
- Milyen szövetszerkezeti elem a *martenzit*?
- Melyek az alapvető hőkezelési eljárások?
- Milyen hőkezelés a *lággyítás*?
- Milyen hőkezelés a *feszültségcsökkentő hőkezelés*?
- Milyen hőkezelés a *normalizálás*?
- Milyen hőkezelés az *edzés*?
- Mik az edzhetőség feltételei?
- Milyen hőkezelés a *megeresztés*?
- Milyen hőkezelés a *nemesítés*?
- Hogyan változik adott ötvöztelen szénacél keménysége a megeresztési hőmérséklet függvényében?
- Hogyan változik adott ötvöztelen szénacél szívóssága a megeresztési idő függvényében?

### Felhasznált és ajánlott irodalom:

- Szombatfaly Árpád: A hőkezelés technológiája. Franklin nyomda, Budapest, 1985.
- Dr. Gillemot László: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó, 1972.
- Artinger-Kator-Romvári: Fémek Technológiája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.