

## 12. ACÉLOK SZÍVÓSSÁGÁT FOKOZÓ HŐKEZELÉSI ELJÁRÁSOK

### 12.1. Egy lépésben végzett szívósságfokozó hőkezelés

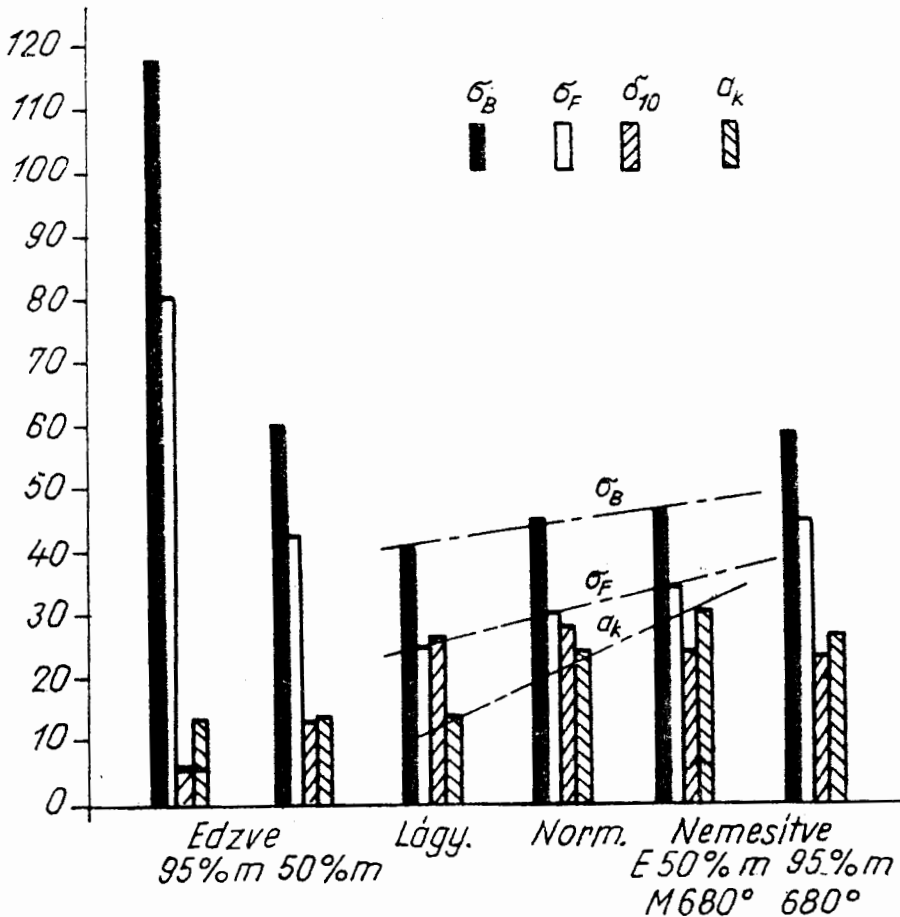
Az acél annál szívósabb, minél több munkát kell végezni a töréséig. A szívósságot tehát a törési munka méri. Legegyszerűbben a fajlagos ütőmunkával jellemezhetjük, amelyet szabványos méretű próbatest ütve hajlító törésével határoznak meg. Mérőszáma a fajlagos ütőmunka:  $a_k$ , mkp/cm<sup>2</sup>. Az acél szívóssága szorosan összefügg szövetszerkezetével: szívóssága annál nagyobb, minél finomabb a szemcséje és minél homogénebb a szövete. Mivel az acél szemcsemérete az átalakuló austenitjének méretétől függ, azért a szívósságát fokozó hőkezelések mind  $\gamma$ — $\alpha$  átkristályosodás olyan szabályozott hűtésű változatai, amelyeknél a kiindulási fázis a legfinomabb szemű, lehetőleg homogén  $\gamma$ -vas. Ennek az ötvözetlen acéloknál gyakorlatilag kb. az  $A_{c3} + 30$  °C hőmérsékletű egynemű  $\gamma$ -vas, a szabad (primer) karbidokat tartalmazó ötvözött acéloknál a helyes edzési hőmérsékletű  $\gamma + k$  ( $a + k$ ) felel meg.

14. táblázat

A 0,2% C-tartalmú ötvözetlen acél szilárdsági tulajdonságai különböző hőkezelési állapotban

Hőkezelés	Szilárdsági jellemzők	$\sigma_B$	$\sigma_F$	$\frac{\sigma_F}{\sigma_B}$	$\delta_{10}$ %	$a_k$ mkp/cm <sup>2</sup>
		kp/mm <sup>2</sup>				
Edzve 95% martensitesre		118	80	67,5	5	13,6
Edzve 50% martensitesre		60	42	70	13	13,6
Lágyítva 700 °C-on		40	25	62,5	27	13,5
Normalizálva 870 °C-on		44,5	30	67	28	23
Nemesítve: 50% mart. + meger. 680 °C		45	33	73,5	23	30
Nemesítve: 95% mart. + meger. 680 °C		58	44	76	22	26

A hűtési sebesség a 0,4%-nál kisebb C-tartalmú acélok egy lépésben való szívósságfokozó hőkezelésénél a legáltalánosabban a léghűtés hűtési sebessége. Az ilyen hőkezelés a *normalizálás*, amely a leegyszerűbb szívósságfokozó hőkezelés. A 0,2% C-tartalmú acél normalizálásának szívósságfokozó hatását a 1. táblázat és 215. ábra adatai tükrözik. A szerkezeti acélok felhasználásánál a méretezés szempontjából a folyási határ, a dinamikus igénybevételekkel szemben való ellenállás



215. ábra. A 0,2% C-tartalmú acél (C20) szilárdsági tulajdonságai különböző hőkezelési állapotban

szempontjából a fajlagos ütőmunka ( $a_k, A_k$ ) a legfontosabb jellemző. A 0,2% C-tartalmú acélnál a normalizálás a lágyított állapothoz képest a folyási határt 20%-kal, a fajlagos ütőmunkát 70%-kal növeli.

Ötvözött acéloknál a normalizálás szívósságfokozó hatását úgy használjuk ki, hogy a folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramból olyan hűlési sebességet választunk, amelynél az austenit finomlemezes perlit mellett túlnyomórészt bainitre bomlik. A 350—450 °C hőmérsékleten átalakuló bainit fajlagos nyúlása kb. azonos, folyási határa 100%-kal nagyobb, mint a 650—700 °C között bomló perlité. Példaként a 120. ábrán látható Cr 135 acél folyamatos hűtésre érvényes diagramja alapján egy 28 mm-es rúd egyszerű normalizálásának eredményét a következő módon

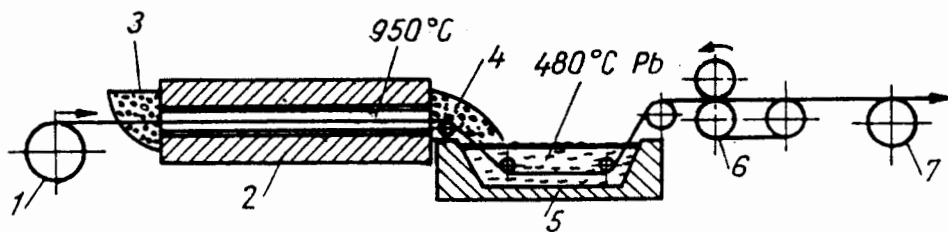
állapítjuk meg: A 196. ábrából a levegőhűtésre  $i_{500}$  kb. 350 s. Ezt felrakva a Cr 135 diagramjába, a rajta áthaladó lehülési görbe az alsó kritikusnál valamivel nagyobb hűtési sebességnek felel meg és 10% ferritet, 7% perlitet és 80% bainitot tartalmazó 34 HRC keménységű szívós-kemény szövetet eredményez.

Az Cr 135 acélt egy lépésben lágy-szívósra hőkezelhetjük, ha az acél-munkadarabot  $A_{c3} + 30 = 830^\circ\text{C}$ -ról kb  $600^\circ\text{C}$ -ig kemencében hűtjük. Ekkor a 120. ábra szerint  $\frac{1}{2}$ —1 órás kemencében való hűlés 30% ferritet, 70% perlitet tartalmazó kb.  $HV = 220 \text{ kp/mm}^2$  keménységű szövetet ad. Ezt az eljárást kemence-normalizálásnak nevezik.

A kissé ötvözött és az ötvözetlen szerkezeti acéloknál az ellenkező eset szokott bekövetkezni akkor, ha az egy lépésben végzett szívósságfokozó hőkezelés tervezésénél az ideális szövetszerkezetet biztosító lehülési sebességet a folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramjukból kikeressük. Itt a normalizálás nyugodt levegőn való hűtéséhez képest gyorsítani kell a hűtést. Ez úgy történhet, hogy ventilátorral vagy kompresszorral fúvatjuk a levegőt, vagy, ha szükséges, porlasztott vizet is hozzákeverünk. Ezzel fokozatosan finomodó lemezes perlit és bainit fog keletkezni.

## 12.2. Izotermás, bainites nemesítés: patentozás

Az izotermás átalakulási diagram, a C-görbe alapján lehet olyan szívósságfokozó hőkezelést megtervezni, amely tisztán bainitessé teszi az acélt. Ez a hőkezelés tulajdonképpen azonos elvek szerint történik, mint az izotermás lágyítás, csak a hűtésre alkalmazott meleg fürdő hőmérsékletét úgy választjuk, hogy a túlhűtött austenit a hátsó görbeág bainites, lejtő szakaszát messe és a kiválasztott keménységű bainit keletkezzék. Ezt a hőkezelést úgy végzik, hogy az  $A_{c3}$ -nál nagyobb hőmérsékletű acélt a C-görbe orrponthoz képest kisebb hőmérsékletű fém- vagy sófürdőben

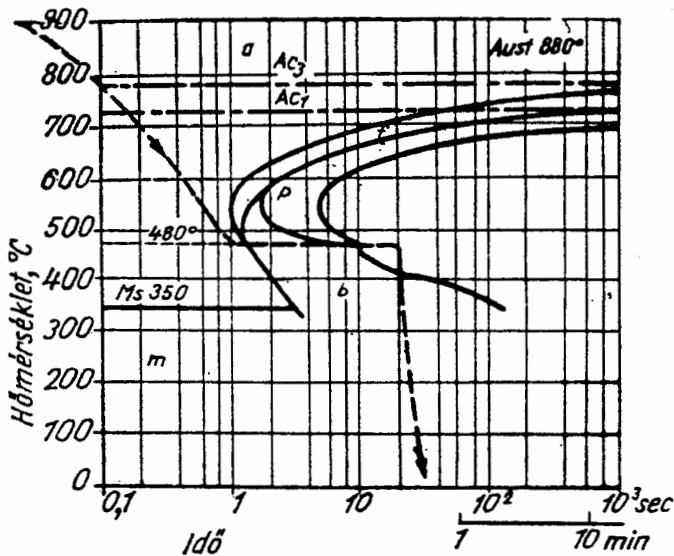


216. ábra. Huzalpatentozó berendezés. 1. nyershuzal tároló dob, 2. csökemence, 3–4. faszénderával töltött nyílászáró. 5. ólomfürdős kád, 6. húzóhengerpár, 7–8. készárú tároló dobok

hűtik le és itt addig tartják, míg a bainitké váló bomlás teljesen befejeződött. Az ezt követő hűtés tetszőleges.

Az acélhuzalgyártás technológiájánál már a C-görbék ismerete előtt alkalmazták ezt a hőkezelő eljárást a 0,35%-nál nagyobb C-tartalmú acélhuzalok húzási fokozatai közé iktatott lágyítására. Ezt az eljárást „patentozás” (patentírozás)

néven ismerték és úgy végezték, és végzik ma is, hogy az acélhuzalt a 216. ábrán feltüntetett áthúzókemencés patentozó berendezéssel olyan sebességgel húzzák át, hogy a csőkemencében a 8—10 egymás mellett haladó huzal 900—920 °C-ra, tehát az  $A_{c3}$ -nál 100—120 °C-szal nagyobb hőmérsékletre hevüljön és azt követően a 480 °C hőmérsékletű ólomfürdőn áthaladva proeutektoidos ferritmentes finomlemezes perlitre, illetve bainitre bomol-  
 jék.



217. ábra. A C 45 acél patentozásának tervezése

A nagyobb hőmérséklet azért szükséges, hogy a gyors hevítés közben a homogén austenit megbízhatóan képződjék. Ez a 900 °C-nál nagyobb hőmérséklet szemcsedurvulást nem okoz, mert a huzalok csak a csőkemence végén érik el és így a tartózkodási idő igen rövid.

A 0,45% C-tartalmú („C 45”) acél patentozásának művelettervét a 217. ábra alapján készítik. Az ólomfürdő hőmérsékletét úgy határozzák meg, hogy a ferrit-

mező alsó szintje alatt legyen. A fürdőben való tartózkodási időt az izotermának a hátsó görbeággal való metszése adja meg. A C 45 acél patentozásának műveletei:

Gyors hevítés 900 °C-ra.

Hőntartás nélkül lehűtés 480 °C ólomfürdőben.

Fürdőben való áthaladás ideje 15—20 s.

Véglehűtés szabad levegőn.

A patentozásnak nevezett izotermás szívósságfokozó hőkezelésnek van egy másik módszere is, amelyet *bemártó patentozásnak* nevezhetünk. Ennél a 900 °C-ra hevített huzalköteget, tekercset hőátvétel után az acélfajta szerint 450—500 °C hőmérsékletű ólom- vagy sófürdőbe merítik és mozgatják, hogy a tekercs belsejében levő szálakban is annyira fokozzák a lehűlés sebességét, hogy proeutektoidos ferrit ne tudjon kiválni. Ez azonban a bemártó eljárásnál nem sikerül teljes biztonsággal.

Az acélhuzaloknak akkor kell ferritmentes szövetűnek lennie, ha üzem közben ismételt, ún. fárasztó igénybevételeknek vannak kitéve. Ilyen igénybevételűek a drótkötélpályák és bányafelvonók drótkötelei. Ezek gyártása meleg hengerlés után gyűrűs üregeken való hideg áthúzással történik. A hidegen megkeményedett huzalok lágyítása csak az első húzás után történhet bemártó patentozással. Az utolsó húzási fokozatok közt a lágyítás és a végső szívósságfokozó izotermás hőkezelés a ferritmentes tiszta bainites szövetszerkezet biztos elérésére mindig áthúzó paten-

tozással történik. A patentozás az acélhuzal közbenső lágyítás nélküli nyújthatóságát az újrakristályosító lágyításhoz viszonyítva 80%-kal is növelheti. Az acélhuzal szilárdsága a tiszta bainites szerkezetnek jó tulajdonságai alapján tiszta eutektoidos acélnál a lágyított 95 kp/mm<sup>2</sup>-rel szemben 200—250 kp/mm<sup>2</sup>-re növelhető és közben a huzal szívósságát jellemző csavarási és hajtogatási száma sem csökken, sőt néha nő.

### 12.3. Nemesítés

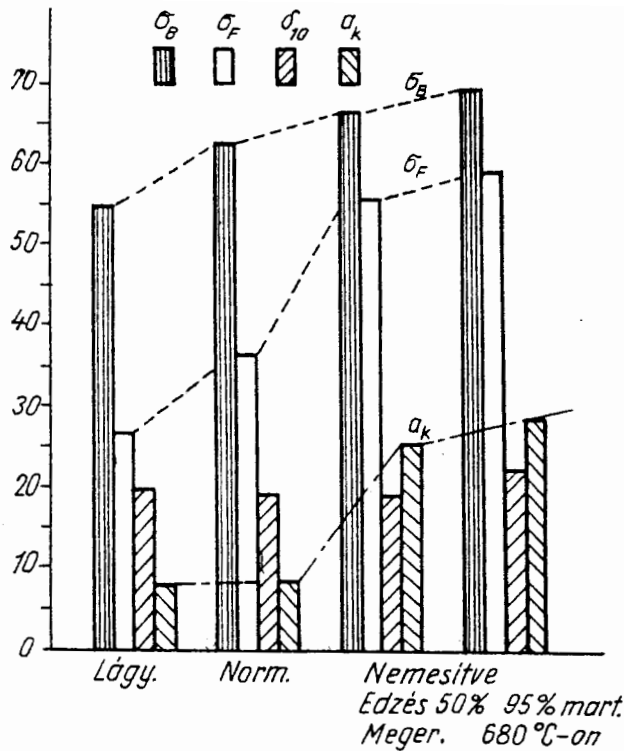
A 0,4%-nál kisebb C-tartalmú, tehát nem edzhető acélok szívósságfokozó eljárása a normalizálás. A 0,35%-nál nagyobb C-tartalmú ötvözetlen és a 0,25%-nál nagyobb C-tartalmú ötvözött acéloké az izotermás szívósságfokozó hőkezelés (patentozás) és a *nemesítés*. Előbbit majdnem kizárólag huzalok hőkezelésére, utóbbit darabáru hőkezelésére használják.

A nemesítés két lépésben végzett szívósságfokozó hőkezelés, melynek első lépésű az edzés, második lépése az  $A_{c1}$  alatt célszerűen választott nagy hőmérséklete megeresztés.

Az edzés célja az acél szövetszerkezetének legnagyobb mérvű finomítása és ezzel a későbbi bomlási folyamat részére a diffúziós utak legnagyobb mérvű rövidítése. A megeresztés célja az edzett acél labilis egyensúlyi állapotban levő fél-martensites szövetének a stabilitás irányában való módosítása. A nemesítés megeresztési hőmérsékletei 400—700 °C hőmérséklet határok között az edzett acél megeresztésének (5.10. pont) negyedik fokozatában lejátszódó bomlási és átalakulási folyamatait idézik elő. Ezek során a martensit ferrit-karbid kétfázisú szövetre bomlik még pedig úgy, hogy a karbid apró kis korongok alakjában válik ki és helyezkedik be a ferritbe. A karbid-korongok a megeresztés nagyobb hőmérsékletein fokozatosan vastagodnak, gömbösödnek. Ezt a heterogén bomlási szövetet nevezzük *szferoidit*nek.

A szferoidit, amelynek a legnagyobb, 700 °C megeresztési hőmérsékleten kialakuló gömbös, szemcsés karbidos végső alakját szemcsés perlitnek is hívják, a legszívósabb szövetszerkezet. Igazolják ezt a 14. táblázat és a 215. ábra adatai, amelyek azt mutatják, hogy még a 0,2% C-tartalmú acélnál is, amelynél a nemesítést nem alkalmazzák, ez az eljárás a normalizált állapothoz képest a folyási határt 10%-kal, a fajlagos ütőmunkát 30%-kal növeli.

A nemesítés a 0,35%-nál nagyobb C-tartalmú, tehát edződésre hajlamos acélok szívósságfokozásának igazi területe. A 0,35% C-tartalmú acélt azért nevezik edzhetőnek, mert a félmartensitesre való edzéssel keménysége a 199. ábra szerint HRC = 40, illetve HV = 400 kp/mm<sup>2</sup>-re nő és így már csak nehezen munkálható meg. A 0,35%-nál nagyobb C-tartalmú acél az edzési hőmérsékletről levegőn hűlve, tehát normalizálva olyan ferrit, perlit, bainit és martensit szövetelemek keverékévé bomlik, amelynek szívóssága lényegesen kisebb, mint a homogén szferoidité.



218. ábra. A 0,5% C-tartalmú acél (C 50) szilárdsági tulajdonságai különböző hőkezelési állapotban

Igazolják ezt a 15. táblázat és annak a szívósság szempontjából kedvező hőkezelő eljárásokkal elérhető szilárdsági tulajdonságait összehasonlító 218. ábra.

A 0,2% C-tartalmú acéllal ellentétben a 0,5% C-tartalmú C 50-es acél szívósságát a normalizálás a lágyításához képest alig javítja. Ezzel szemben a félmartensites edzéssel végzett nemesítés a folyási határt a lágyításához képest 100%-kal, a normalizáláshoz képest 40%-kal, a fajlagos ütőmunkát a lágyításához képest kb. 350%-kal, a normalizáláshoz képest 300%-kal növeli. Ez a magyarázata annak, hogy

a 0,35%-nál kisebb C-tartalmú acél helyes szívósságfokozó hőkezelése a normalizálás, a 0,35%-nál nagyobb C-tartalmúé pedig a nemesítés.

A nemesítés célja az acél szövetének erőteljes finomítása, mégpedig nemcsak a szemcsenagyság, hanem a karbideloszlás finomsága és egyenletessége tekintetében is. Három fő alkalmazási területe van: legszélesebb területe a szerkezeti acélok

15. táblázat

A 0,5% C-tartalmú ötvözetlen acél (C 50) szilárdsági tulajdonságai különböző hőkezelési állapotban

Hőkezelés	Szilárdsági jellemzők	$\sigma_B$	$\sigma_F$	$\frac{\sigma_F}{\sigma_B}$	$\delta_{10}$ %	$\alpha_k$ mkgp/cm <sup>2</sup>
		kp/mm <sup>2</sup>				
Edzve 95% mart. (14 Ø)	820 °C 30 min, víz 200 °C 30 min,	190	170	90	—	0,60
Lágyítva 690 °C-on 4 h		55	27	49	20	7,5
Normalizálva 820 °C 30 min, levegő		63	38	60	19	8,5
Nemesítve: 50% mart. + meger. 680 °C		67	55	82	18,5	25,5
Nemesítve: 95% mart. + meger. 680 °C		70	60	86	22	28,5

végso hőkezelése, használják előkészítő hőkezelésként a diffúziós utak csökkentésére a kéregedzés előtt, és használják a melegsajtoló szerszámok hőkezelésére is.

A nemesítés az edzéstől csak a megeresztés nagyobb hőmérsékletében különbözik.

Műveletei:

Hevítés az  $A_{c3} + 30$  °C-ra.

Hőntartás hőkiegyenlítődésig (vastagság mm-enként fél perc attól az időponttól kezdve, hogy a felület elérte a kívánt hőmérsékletet).

Lehűtés az acélfajta kritikus hűtési sebességével (vízben, olajban vagy fűjt levegőn).

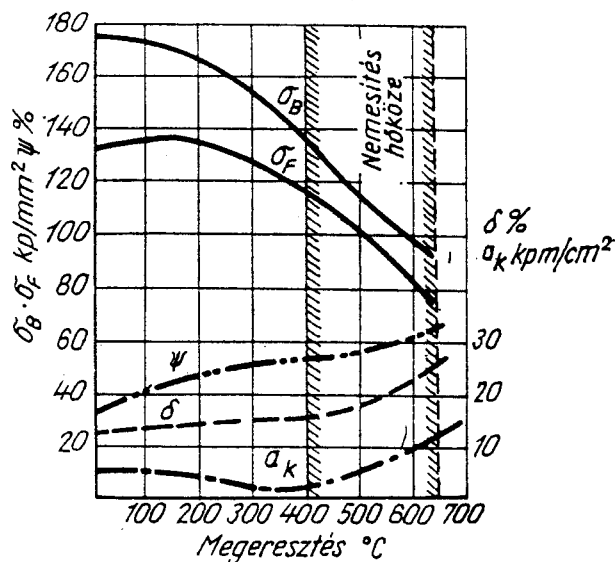
Hevítés a megeresztés hőmérsékletére, kb. 450—650 °C-ra.

Hőntartás: 450 °C-on legalább 120 min, 650 °C-on legalább 30 min.

Lehűtés általában lassan kemencében; de Cr-Ni- és Cr-Mn-acéloknál a 12.4 pont szerint gyorsan (vízben, olajban vagy fűjt levegőn). Utóbbiaknál feszültségcsökkentés 300—400 °C-on egy órás hevítéssel.

A nemesítés megeresztési hőmérsékletének pontos meghatározására az ún. *nemesítési diagramot* (219. ábra) használják, amelyet az acélmű készít el gyártmányairól. Megeresztés közben a folyási határ, a szakítószilárdság, a keménység csökken, a nyúlás, képlékenység és szívósság általában növekszik. A  $\frac{\sigma_F}{\sigma_B}$  viszonyszám növekedése a nemesíthetőség kritériuma, nagysága a nemesítés sikerének mértéke. A  $\frac{\sigma_F}{\sigma_B}$  viszonyszám a 14. és 15. táblázat adatai szerint a lágyított állapothoz képest a C 20-as acélnál 17%-kal, a C 50-esnél 49%-kal nőtt a nemesítés hatására. Ez is igazolja a C 50-es acél lényegesen jobb nemesíthetőségét.

Éppúgy, mint az edzésnél az átedzhetőség, felmerül a nagyobb szelvényeknél az *át nemesíthetőség* kérdése. *Át nemesíthető az acél, ha a nemesítés után a magrész a kéreghez közeli szilárdsági tulajdonságokat mutat.* Ez a követelmény azt jelenti, hogy az át nemesíthető acélnek nem kell egyúttal átedzhetőnek is lennie annak ellenére, hogy a nemesítés kettős hőkezelésének első lépése az edzés. Az át nemesíthetőség szempontjából elégséges, ha a magrész az edzés folyamatos hűtésű szakaszában olyan finomlemezes perlit és bainit keverékére bomlik, amely szövetszerkezet a megeresztés után a kéreg



219. ábra. Nemesíthető CrNiMo acél nemesítési diagramja. Acélösszetétel: C = 0,3%, Cr = 1,25%, Ni = 3,95%, Mo = 0,25%. Szelvény 30 mm Ø. Edzés: 820 °C-ról levegőn