

# 10. ACÉLOK LÁGYÍTÓ ÉS EGYNEMŰSÍTŐ HŐKEZELÉSE

## 10.1. Feszültségcsökkentés

A feszültségcsökkentő hőkezelés célja az öntést, a kovácsolást, hengerlést és hegesztést követő gyors lehűlés, valamint a hidegalakítások, hideghajlítás, hideg-egyengetés, nagyoló forgácsolás után a munkadarabokban visszamaradó feszültségek célszerű nagyságra való csökkentése. E hőkezelés fizikai alapja az a megfigyelés, hogy az acél szakítószilárdsága és folyási határa a hőmérséklet növelésekor 300 °C-on felül rohamosan csökken. A munkadarab anyaga a saját feszültségek hatására, ott ahol azok hatnak, helyi folyásnak indul, mihelyt a növekvő hőmérséklettel csökkenő folyási határa a feszültség nagysága alá esik.

A feszültségcsökkentés hatása annál nagyobb, minél nagyobb a hevítés hőmérséklete. Felső hőmérséklet-határa az  $A_{c1}$  hőmérséklet. Az ilyen nagy hőmérsékletű izzítást már lágyításnak nevezik. Alsó hőmérséklet-határa 400 °C, mert a legtöbb acél folyási határa ezen a hőmérsékleten még nem nagyon különbözik a 20 °C-os értékétől. A felső határ nagyságát gyakran a revésedés korlátozza. A hőntartás időtartama az  $A_{c1}$  közelében ötvöztelen acélnál 1—2 h, ötvözött acéloknál 3—5 h, ötvözött acélöntvényeknél 8—10 h is lehet. Lassú lehűtés, rendszeren kemencében, esetleg szárazmeleg hamu vagy kovaföld alatt.

Szerszámokat, főleg nagyméretű kivágólapokat, vagy más, alakos szerszámokat edzés közben való vetemedésük elkerülésére előnagyolás után feszültségcsökkentés céljából mindig izzítani kell. Ezeket a C-csökkenés és revésedés megakadályozására izzítódobozokban faszénderában vagy védőgázban izzítják 1 órán át 600 °C-on.

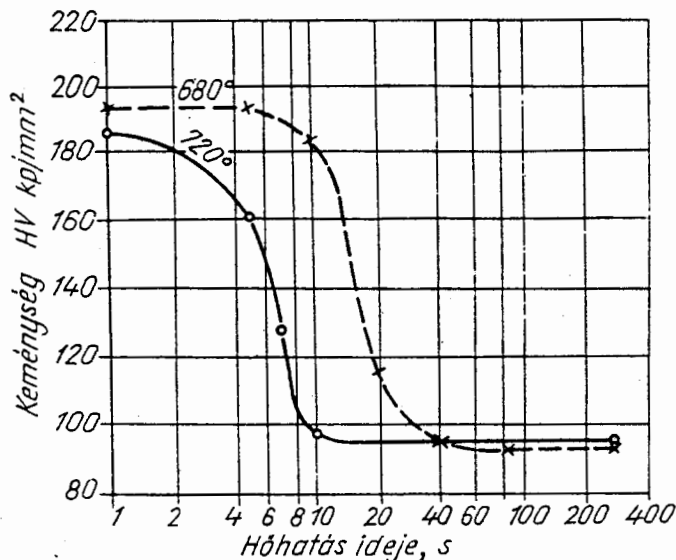
Acélszerkezetek hegesztett kötéseiben a hegesztési zsugorodás okozta feszültséget néha helyi felmelegítéssel kell csökkenteni. Ilyenkor a hevítést gázlángsorról, villamos ellenállás-fűtésű sugárzó lapokkal, vagy középfrekvenciás indukciós fűtéssel végzik. A hőmérsékletet tapintó pirométerrel vagy termokrómkrétával ellenőrzik. A lehűlés azbesztlemezekkel letakart állapotban nyugodt levegőn megy végbe.

## 10.2. Újrakristályosítás (rekrisztallizáció)

Acélok hideg alakítása (hideghengerlés, hideghúzás, mélyhúzás) közben az acél ferrit-krisztallitjai igen nagymérvű maradó alakváltozáson mennek át. Ennek következménye az acélok alakítási keményedése (2.7), azaz keménységének, folyási határának nagymérvű növekedése, alakíthatóságának erős csökkenése. Az újrakristályosítás feladata: az acél alakítási keményedésének megszüntetése, az acél kilággyítása és az acél megnyújtott és feldarabolt szemcséinek olyan helyreállítása, hogy azok az eredetihez hasonló alakjukat visszanyerjék.

Az újrakristályosítás fémfizikai alapjait részletesen tárgyalja a 2.10. pont. Alkalmazási területe főleg a túlnyomórészt ferrites szövétű lágycél huzalok, hidegen hengerelt vékony (1 mm-nél kisebb vastagságú) szalagok húzási, illetve hengerlési, valamint acéllemez mélyhúzási fokozatai közben szükséges lággyítása.

Az újrakristályosodás hőmérsékletköze  $500\text{ }^{\circ}\text{C} - A_{c1}$ , bár  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatt is végbe megy, de nagyon hosszú ideig tart. A felső határa is túlér az  $A_{c1}$ -en. Az újrakristályosító hőkezelésnél a hőmérséklet helyes megválasztását az újrakristályosodás



171. ábra. A hőmérséklet hatása az újrakristályosodás időtartamára. Acélösszetétel: C = 0,08, Si = 0,05, Mn = 0,41, S = 0,051, P = 0,019, Cu = 0,13%, nyújtás: 70%, 0,6 mm vastag lemez, sófürdős hőkezelés [13]

acél huzaloknak tekercsoszlopokban való hőkezelése. A revésedés meggátlására a lemezkötegeket lezárt öntöttvas- vagy acéldobozokban, a huzalkötegeket hordókban helyezik el védő atmoszférát fejlesztő anyagokkal együtt (saját forgács, öntöttvas forgács, faszénpor). Korszerűbb a védőgáz atmoszféra bevezetése a dobozokba. Az ilyen kötegben való hőkezelésnél a hevítés időszükséglete a köteg közepének átizzásáig a nagy hőszigetelés miatt 16–24 óra, miközben a teljes

lefolyásához szükséges időtartam irányítja. A hőmérséklet nagyságának hatását a kilággyulás időszükségletére mutatja a 171. ábra [13]. Ebből levonható tanulságok: a mélyhúzó finomlemez 70%-os hideg alakítás utáni kilággyulásához közvetlen az  $A_{c1}$  alatt,  $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 10 másodperc elegendő. A hőmérséklet  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al való csökkentése a kilággyulás időszükségletét a négyszeresére növeli. Ezt a kutatási eredményt hasznosítják a legkorszerűbb, áthúzó kemencerendszerben végzett gyors újrakristályosításoknál.

Az újrakristályosítás klasszikus eljárása a hidegen hengerelt lemezeknek kötegekben, a lágycél

újrakristályosodás végbemegy. A lehűlés, ha külön hűtésről nem gondoskodnak, még tovább, kétszer annyi ideig tart.

Mélyhúzható finomlemez tömeges lágyításának gyorsítását a 172. ábrán vázolt berendezéssel érik el. Az 500—600 mm átmérőjű hőálló acélcsőre tekercselt finomlemez hengert (8—25 Mp) a 2 alaplappal együtt daruval emelik a kemence 4 alapzatára. Ráhelyezik a 25% Cr-, 20% Ni-tartalmú hőálló acélból készült 3 burát, melynek belső terét az 5 homokzár szigeteli a külső légtértől. A hevítést a daruval ráemelt 6 sugárzó csöves izzítóharang végzi. A hőmérséklet egyenlőséget a védőgázzal töltött 3 bura belsejében a 7 ventilátor biztosítja.

A hűtés gyorsítására a hevítési szakasz befejezése után az izzítóharangot kicserélik egy erős ventilátorral működő hűtőharanggal. Ilyen tekercsben való lágyítás hőmérséklet—idő diagramját adja a nagyüzemben alkalmazott technológia szerint a 173. ábra. Eszerint az újrakristályosítás menete:

Gyors felhevítés 700 °C-ra	— 5 óra.
Hőntartás	— 10 óra.

Gyorsított hűtés két lépcsőben:

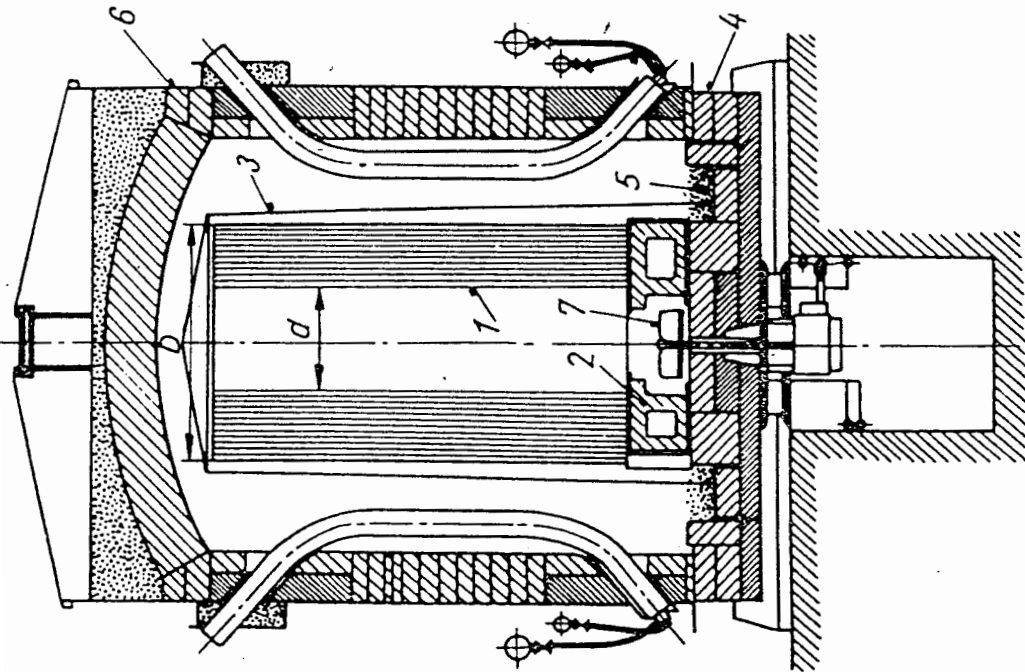
700—250 °C-ig fűjt levegővel	— 10 óra;
250-től vízhűtéssel	— 5 óra.

A régi kötegben és az újabb tekercsben való újrakristályosításnál egy-egy adag Mp-os, sőt 10 Mp-os nagyságrendű. A köteg, illetve tekercs külső és belső rétegeinek minősége nem mindig azonos.

Azonos minőséget csak az ún.  *folyamatos újrakristályosítás*  ad [13]. Ennél a finomlemezt hegesztéssel végtelenítve 1 m/s—3 m/s sebességgel húzzák át a berendezésen. A teljesen automatikus berendezés hőkezelő részlegének vázlatát a 174. ábra szemlélteti.

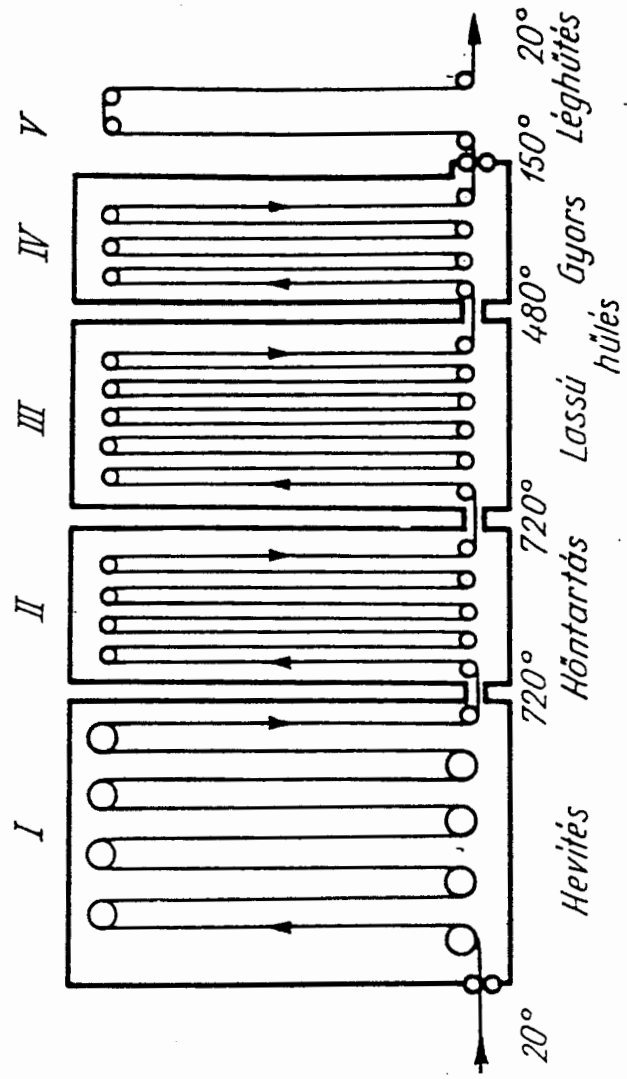
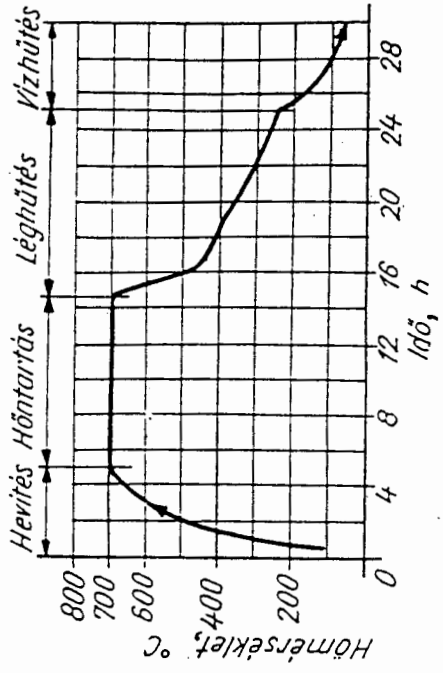
Az *I.* kamra a hevítőtér, amelyben a nagy sebességgel átszaladó, 0,15—1,25 mm vastag, 600—700 mm széles szalag felületét gázfűtésű sugárzócsövek fűtik fel 20 másodperc alatt 720 °C-ra. A *II.* a hőntartó kamra, amelyben villamos fűtésű sugárzólapok pótolják az elvesztett meleget. A *III.* kamrában hűtött csövek vonják el lassan a meleget és 25 másodperc alatt 720 °C-ról kb. 480—500 °C-ra csökkentik a szalag hőmérsékletét. A *IV.* kamra a gyors hűtés helye, amelyben a hűtőn átvezetett védőgázt fúvók fújják a szalag felületére és 150 °C-ra csökkentik a szalag hőmérsékletét. Az *V.* szakaszban már a kemencén kívül fűjt levegővel hűtik le a szalagot a környezet hőmérsékletére.

Az ilyen korszerű, nagyteljesítményű újrakristályosítás hőmérséklet—idő diagramját a 175. ábra mutatja. Jellegzetessége, hogy a teljes körfolyamat időszükséglete mindössze 1,5 perc. Előnye, hogy a szalag minősége minden részén egyenletes, hátránya, hogy az így hőkezelt szalagacél folyási határa nagyobb, fajlagos nyúlása kisebb, mint a kötegben való lágyításnál. Ezért több lépcsőben való mélyhúzásra



172. ábra. Tekercselt finomlemez újrakristályosítása leemelhető izzító harangban.  $d = 600$  mm,  $D \approx 1400$  mm, 1. lemeztekerces, 2. alaplapp, 3. védőbúrá (hőálló acéllemez), 4. kemencealap, 5. homokzár, 6. sugárcsőves fűtésű izzítóharang, 7. ventillátor

173. ábra. Finomlemez tekercsben végzett újrakristályosításának hőmérséklet-idő diagramja

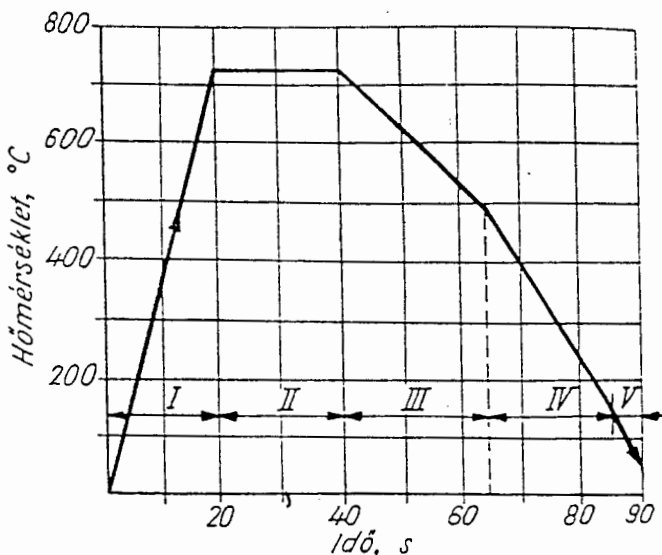


174. ábra. Hidegen hengerelt finom szalagacél folyamatos újrakristályosító berendezésének hőkezelő részlege

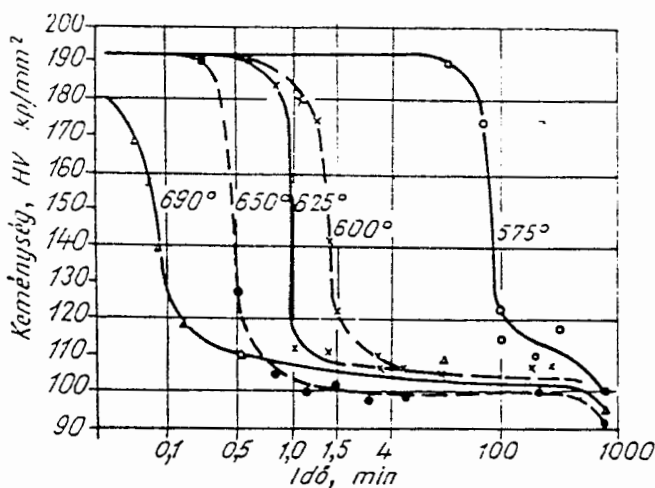
az így lágyított anyag kevésbé alkalmas. Fő felhasználási területe a konzervdobozok lemezanyagának újrakristályosítása.

A hidegen alakított lágycél keménységének változását a hőmérséklet és az idő függvényében a 176. ábra jellemzi. Azonos (56%) hidegalakítás után annál kisebb inkubációs idő szükséges a lágulás megindulásához, minél nagyobb hőmérsékleten végzik a hőkezelést. Míg 690 °C-on már 6 sec után, addig 575 °C-on csak 1,5–2 h után esik rohamosan a keménység és vele együtt a folyási határ és szakítószilárdság. A képlékenységet jellemző fajlagos nyúlás és keresztmetszetsökkenés (kontrakció) ugyanezen időpontokban ugrásszerű növekedést mutat.

Az újrakristályosításnál keletkező szemcsék mérete függ az alakítás mérvétől, a hőmérséklettől és a hőtartás idejétől. Ha ezt az utolsó tényezőt állandó értéken tartjuk (pl. 2 óra), a lágycélnál kapott szemcseméreteket a 177. ábra tünteti fel. Ebből a térbeli perspektív ábrából jól látható, hogy



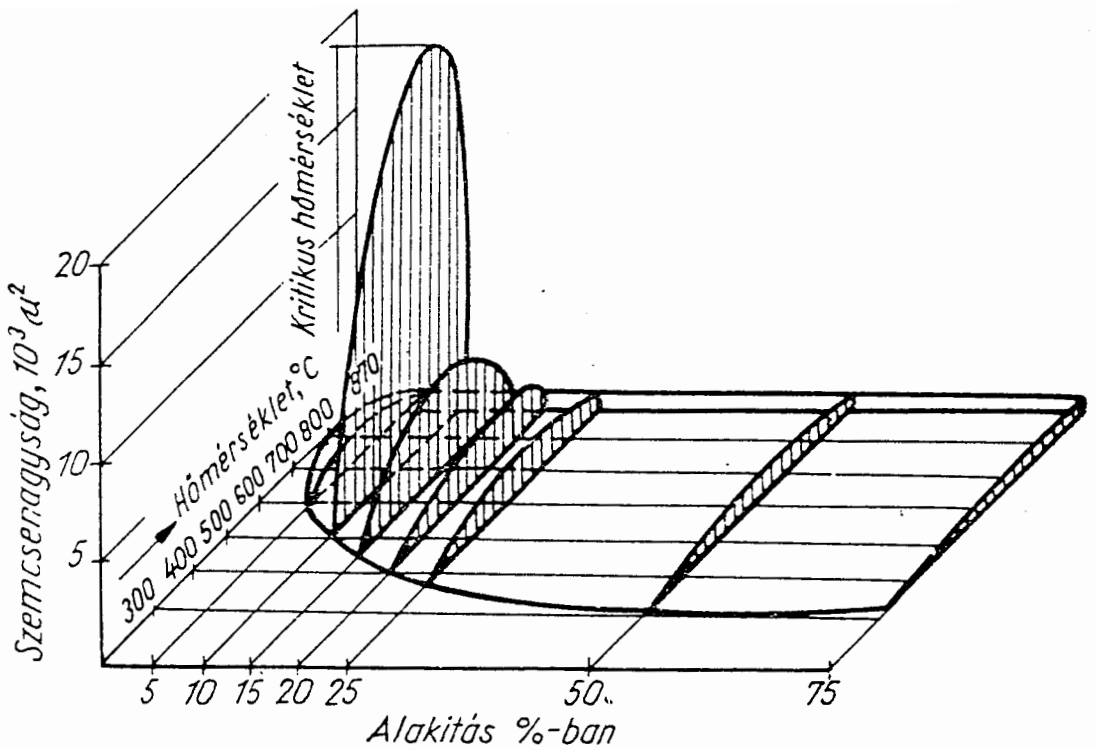
175. ábra. A folyamatos újrakristályosítás hőmérséklet – idő diagramja.



176. ábra. Hidegen alakított lágycél keménységének változása különböző hőmérsékleten az idő függvényében.

a lágycélnak van egy kritikus alakítási fokból és kritikus hőmérsékletből álló összetartozó értékpárja, amelyek mellett szemcséi az újrakristályosításkor eldurvulnak. Ez az értékpár: 8–10% alakítás és 700–800 °C. Ez az ún. újrakristályosodási, vagy rekrisztallizációs szemcsedurvulás, mely az acél szilárdságát nem érinti, de szívósságát, vastag anyagoknál mérhető fajlagos ütőmunkáját erősen rontja.

A mélyhúzással alakított lemezben az eldurvult szemcsék határai a további húzásnál az alakítással szemben nagyobb ellenállást fejtenek ki, mint a szemcsék belseje



177. ábra. Lágyacél újrakristályosodási (rekrisztallizációs) diagramja

és így a mélyhúzott alkatrész felülete jóvátehetetlenül rücskössé válik. Ezért a kritikus értékpárt az újrakristályosításnál mindig kerülni kell. A legegyszerűbben úgy kerülhetik el, ha minél nagyobb alakítást végeznek hőkezelés előtt: lehetőleg legalább 50%-ot. Ha ezt az óvintézkedést nem tudják betartani, újrakristályosítás helyett néha normalizálást alkalmaznak (10.4. pont).

### 10.3. Egyszerű lágýtás

Kovácsolt acéltárgyak a melegalakítás hőmérsékletéről, amely nagyobb  $A_{c3}$ -nál, különböző sebességgel hűlnek le és így a  $\gamma-\alpha$  átalakulás legkülönbözőbb termékei fordulhatnak elő szövetükben: perlit, bainit és még martensit is. Hasonlóan az acélöntvények a formában tömegük és a hőszigetelő homokréteg vastagsága szerint különböző sebességgel hűlnek. Hűlési sebességüket növeli, ha részben a termelés növelése, részben a formában való fennakadás és emiatt repedés megelőzése érdekében túl korán szabadítják ki őket a homokformából. Mindkét melegtechnológiával készült acél munkadarabban tehát egyrészt a  $\gamma-\alpha$  átalakulás gyorsítása, másrészt a zsugorodási saját (belső) feszültség növelése a keménységet és így nehezíti, néha lehetetlenné teszi a forgácsoló megmunkálást. A lágýtás célja és alkalmazási területe a kovácsolt- és öntöttacél munkadarabok megmunkálásának lehetővé, könnyűvé, helyesebben gazdaságossá tétele.

Egyszerűnek nevezzük a lágyítást, ha a lágyításnál a hőmérséklet nem éri el a  $\gamma$ -mezőt, tehát nincs  $\gamma$ — $\alpha$  átkristályosodás a lehülés közben.

Az egyszerű lágyítás célja legtöbbször az, hogy az acéltárgyat a leglágyabbra hőkezelje. Ez a célkitűzés azzal érhető el, ha az esetleg jelenlevő martensit felbomlik ferritre és cementitre, és ha a perlit cementit lemezei, valamint a martensitbomlásnál korong alakban kivált vaskarbid begömbösödik, szferoiditté alakul.

A különböző méretű lemez alakú vaskarbid, vagy egyéb karbid begömbösödését az a felszínfeszültség okozza, amely a lemez alakú anyagokra állandóan hat. Az ilyen alakú anyagok a felszínfeszültség hatására olyan alakra igyekeznek formálódni, melynek felszínfeszültsége minden felületi elemén egyenlő, energiaszintje pedig a legkisebb. Ez az azonos térfogatnak megfelelő legkisebb felületű gömb alak.

A szferoidit képződésének első feltétele tehát a vaskarbidnak valamilyen lemez alakú termék formájában való jelenléte az acél szövetségében. Ilyen vaskarbidtermékek: a martensit megeresztésének 4. lépcsőjében 300—700 °C között kiváló, kezdetben vékony, a hőmérséklet növekedésével vastagodó vaskarbid korongocskák; a bainitben kivált vaskarbid korongocskák; a perlit cementit lemezei, melyeknek vastagsága a hűlési sebesség csökkenésével nő. A hipoeutektoidos acélokban csak ezek a karbidfélések fordulnak elő. A hipereutektoidos acélokban ezekhez járul negyedik karbidféleségként az austenitszemcsék határán kivált szekundér karbidháló és a szemcsék belsejében az oktaéder síkok mentén kivált szekundér karbidlapok.

Az első 3-féle lemezes karbid keletkezési hőköze az  $M_s$ — $A_1$  hőköz, a 4. feléé az  $A_1$ — $A_{cm}$  hőköz. Ebből következik, hogy a szferoidit képződésének a hipereutektoidos acéloknál némileg eltérő hőmérsékleti feltételei vannak, mint a hipoeutektoidos acéloknál.

A hipoeutektoidos acélok lemez, illetve korong alakú karbidfélései az  $A_{c1}$  hőmérséklet alatt válnak ki és felhevítéskor ezen az hőmérsékleten  $\gamma$ -vassá oldódnak a ferrittel. Ebből következik, hogy a szferoiditre való lágyítás hőközének felső határa hipoeutektoidos acéloknál:  $A_{c1}$ .

A szferoiditre való lágyítás hőenergiájának a következő energia-hányadokat kell fedeznie: a begömbösítés megindításához szükséges aktiválási energiát, a perlit vaskarbid lemezeinek feldarabolásához, a vaskarbid darabok alakítási munkájához és az ágyazó ferrit alakításához szükséges energiát. Nem szorul igazolásra, hogy a gömbösödés annál gyorsabban folyik le, minél közelebb van a hőmérséklet  $A_{c1}$ -hez.

A karbidfélék hatását mérlegelve kézenfekvő, hogy annál nagyobb a folyamat mozgató ereje, minél távolabb van a karbidfajta a legkisebb energiaszintű gömbös alaktól, tehát minél nagyobb az energiaszintje. Ezért leggyorsabban a martensitbomlásból származó szferoidit karbidkorongjai, legnehezebben a durvalemezes perlit karbidlemezei gömbösödnek. A hőtartás időszükséglete tehát az acél kiindulási szövetétől függ.

E megfontolások szerint az alakítással, kovácsolással, sajtolással, hengerléssel megmunkált hipoeutektoidos ötvözetlen és gyengén ötvözött (kb. 2% ötvözőtartalomig) acélalkatrészek egyszerű lágyításának, szferoiditre való lágyításának menete:

A darabvastagságtól függő sebességgel való felhevítés közvetlen  $A_{c1}$  alá: 710—720 °C-ig.

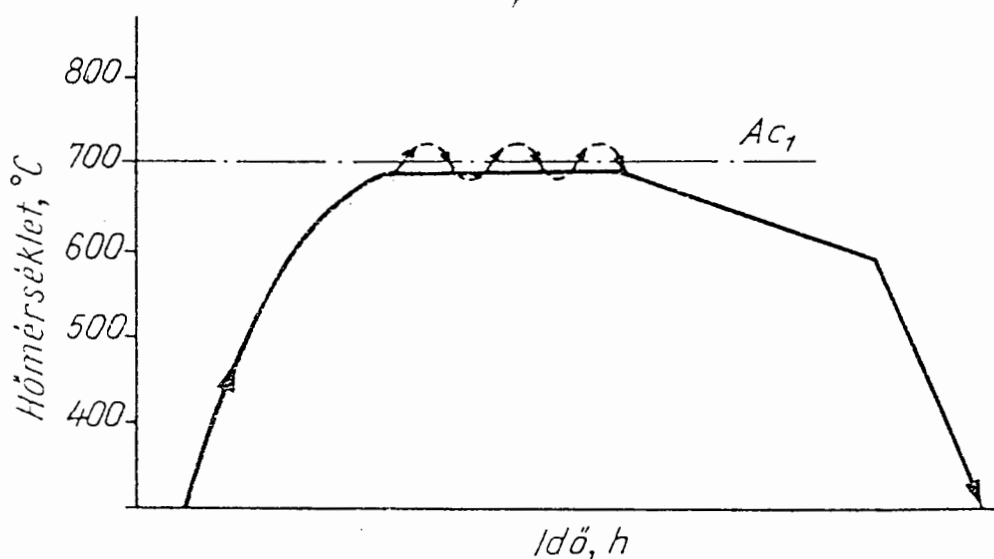
Hőntartás 3—4 óráig;

Lassú hűtés (kb. 30 °C/h, 600 °C-ig 4 ó;

Véglehűtés szabad levegőn.

Acélöntvények lágyítása szferoiditra nem sikerül ilyen egyszerűen. Az öntvények primér kristályosodásának eredménye az ún. primér szövet ugyanis lényegesen eltér a kovácsolás vagy hengerlés közben mechanikusan felaprózott és a  $\gamma$ — $\alpha$  átkristályosodáskor kialakult ún. szekunder szövetétől. A primer öntési szövet gyakran dendrites, durvaszemű, túlhevített *Widmannstätten* jellegű, általában nem egynemű és dúsulásokat tartalmaz. Az ilyen szövetű acélöntvénynek szilárdsági tulajdonságai általában gyengébbek, mint az ugyanolyan összetételű átkovácsolt, vagy hengerelt acélé. Különösen gyengék az alakíthatóság és a szívósság értékei. A szívósságot jellemző fajlagos ütőmunka értéke 8—10 mkp/cm<sup>2</sup> helyett gyakran az 1—2 mkp/cm<sup>2</sup> értéket sem éri el.

Az acélöntvények primer szövetét a szívósságuk növelése érdekében, ha csak lehet,  $\alpha$ — $\gamma$ — $\alpha$  átkristályosítással el kell tüntetni. Ha erre nincs mód, akkor a szferoiditra való lágyítását az ún. *ingás* (ingadoztató) *lágyítással* végzik. Ennek elvét a 178. ábra szemlélteti. A hőmérsékletet 750—680 °C között ingadoztatják, úgy, hogy a felső hőmérsékleten nem időznek. E hőingás közben a nehezen begömbösödő karbidok a  $\gamma$ -vassá való oldódás megindulásakor mintegy „mozgásba jönnek” és így az  $A_{c1}$  alá hűlve gömb alakúvá válnak.



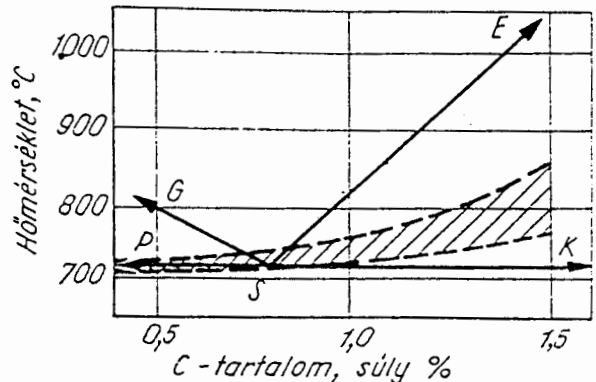
178. ábra. A szemcsés perlitre való egyszerű és ingás lágyítás hőmérséklet – idő diagramja



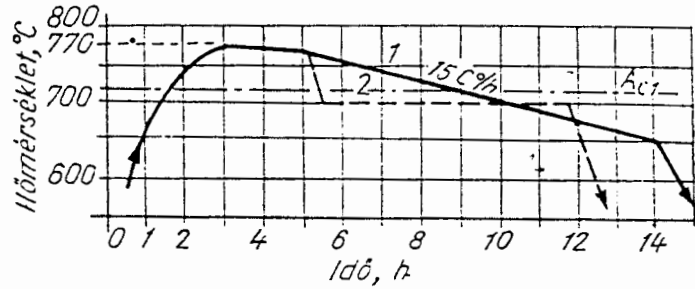
A hipereutektoidos acélok cementitjének begömbösödését a szekunder cementit háló vastagságával növekvően nehezíti. Felhevítéskor ez a karbidháló csak az  $A_{cm}$  hőmérsékleten oldódik fel teljesen. Begömbösítésének gyorsítására itt is az  $A_{c1}$  fölé kell növelni a lágyítás hőmérsékletét. Ez két célt szolgál: csökkenti a karbidháló vastagságát, és az oldás megindításával csökkenti ellenállását a feldarabolódással és begömbösődéssel szemben. A

lágyítás hőmérsékletét a 179. ábra szerint annál nagyobbra választjuk, minél nagyobb a hipereutektoidos acél C-tartalma és ötvözet tartalma. Az ábrán vázolt hőköz alsó határa az ötvözetlen, felső határa az ötvözött acélokra érvényes. Pl. 1,1% C, 1,5% Cr-tartalmú golyóscsapágy acél lágyításának helyes hőmérséklete 770 °C. Az ilyen ötvözött hipereutektoidos acélok lágyításánál a hűlési sebesség megválasztásakor azt a célkitűzést tartjuk szem előtt, hogy a felső hőmérsékleten való időzés alatt a még fel nem oldott karbidháló gömbösödjék, és az ezt követő lassú lehülés közben az  $A_{c1}$  fölötti hőmérsékleten kiváló szekunder cementit, valamint a perlitte bomlásakor keletkező karbidlemezek folyamatosan gömbösödjenek. Ezt a folyamatot úgy lehet biztosítani, ha a felső hőmérsékleten kb. 2 órát időzve a 180. ábra 1. lehülési görbéje szerint 15 °C/h sebességgel (lassan) hűtenek 650 °C-ig, innen aztán már tetszőlegesen lehet hűteni. Egy másik módszert mutat a 180. ábra 2. görbéje, mely szerint 770 °C-ról  $A_{c1}$ -ig: 700 °C-ig gyorsan hűtenek és az ilyen folyamatos gyors hűléssel keletkezett finomlemezes karbidot 700 °C-on való tartással gömbösítik finom cementit gömbökké.

Korszerűsítő fejlődést jelent a védőgázzal töltött áthúzó kemencében végzett lágyítás. Itt az egyenletes minőségen kívül a minimálisan szükséges idő is pontosan szabályozható az áthúzás sebességével. A kamrás kemencében végzett szakaszos lágyításnál a hevítés és hűtés időtartamát a rakat közepén levő darabok hőmérséklete szabja meg, ezért ez a módszer mindig hosszabb időtartamokat igényel, mint az egyrétegű áthúzó módszer.



179. ábra. 0,5–1,5% C-tartalmú acélok lágyításának hőmérséklet-határai



180. ábra. Golyóscsapágy-acél szemcsés perlitre való lágyításának hőmérséklet – idő diagramjai

Ezt a folyamatot úgy lehet biztosítani, ha a felső hőmérsékleten kb. 2 órát időzve a 180. ábra 1. lehülési görbéje szerint 15 °C/h sebességgel (lassan) hűtenek 650 °C-ig, innen aztán már tetszőlegesen lehet hűteni. Egy másik módszert mutat a 180. ábra 2. görbéje, mely szerint 770 °C-ról  $A_{c1}$ -ig: 700 °C-ig gyorsan hűtenek és az ilyen folyamatos gyors hűléssel keletkezett finomlemezes karbidot 700 °C-on való tartással gömbösítik finom cementit gömbökké.

Korszerűsítő fejlődést jelent a védőgázzal töltött áthúzó kemencében végzett lágyítás. Itt az egyenletes minőségen kívül a minimálisan szükséges idő is pontosan szabályozható az áthúzás sebességével. A kamrás kemencében végzett szakaszos lágyításnál a hevítés és hűtés időtartamát a rakat közepén levő darabok hőmérséklete szabja meg, ezért ez a módszer mindig hosszabb időtartamokat igényel, mint az egyrétegű áthúzó módszer.

## 10.4. Teljes, átkristályosító lágyítás. Normalizálás

Az egyszerű lágyítás lényegében rendszerint nem módosítja az acél szövetének szem nagyságát, nem finomítja a szemcséit. Eredményében lágyítja az acélt és így megmunkálhatóvá teszi. Nem eléggé növeli az acél szívósságát, a töréséhez szükséges munkát. Ezért az egyszerű lágyítás a gépgyártásban csak a gyártás megkönnyítése érdekében végzett közbenső, gyártásközi hőkezelő művelet. Rendszerint nagylás előtt végzik, ha  $C > 0,4\%$ -nál.

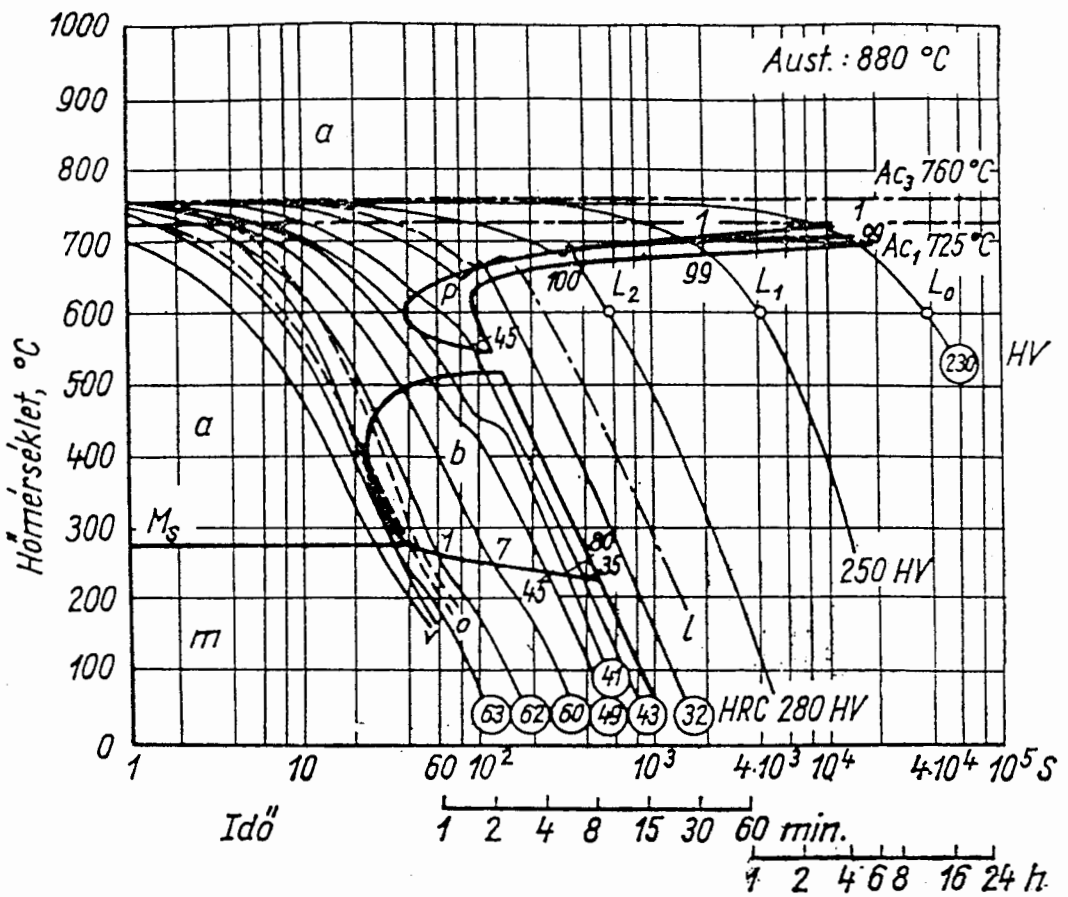
*Teljesnek nevezik a lágyítást akkor, ha műveleti körfolyamata során  $\alpha-\gamma-\alpha$  kettős átkristályosodás megy végbe.* A teljes kilágyításnál tehát az acél munkadarabot fel kell hevíteni a  $\gamma$ -mezőbe. A felhevítés hőmérsékletének megválasztásánál figyelembe kell venni a  $\gamma$ -vas ama jellemző tulajdonságát, hogy szem nagysága legkisebb a keletkezése hőmérsékletén, szem nagysága a hevítés hőmérsékletével nő, ez a szem nagysága a  $\gamma$ -mezőben való hűlés közben még a hűlés sebességének növeledésekor sem csökken, bomlástermékeinek szem nagysága tehát attól a legnagyobb hőmérséklettől függ, amelyre a hőkezelés során felhevült (5.6. pont).

Az acélok szívóssága a szemcséjük finomságával nő. A hipoeutektoidos acélok egynemű austenitje közvetlenül az  $A_{c3}$  fölött a legfinomabb. Ezért a teljes kilágyítás helyes hőmérséklete:  $A_{c3} + 30$  °C. A hevítés sebessége akkora lehet, amekkorát az anyag vastagsága megenged [10]. Hőntartás minél rövidebb, mert egy hőmérsékleten való huzamosabb tartás a hőmérséklet növelésével egyenlő hatású és így növeli az austenit szemcse méretét. Biztonságból teljes hőfelvétel után 20 perc hőntartást, egész vastag daraboknál legfeljebb 1 óra hőntartási időt írnak elő. A lehűlés sebességét az előírt keménységnek megfelelően választják.

Acélok teljes lágyításának művelettervét legszabatosabban a folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramjaik segítségével lehet elkészíteni. Menetét a 181. ábrán a CrV 150—MSZ 5780—53 nemesíthető krómvanádium-acél folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramja tünteti fel. A teljes kilágyításnál a perlitté bomlás befejezését jelző görbeág alatt levő mező célszerűen választott pontjáig kell a munkadarabot előírt sebességgel hűteni. E pont felvételével meghatározzuk a hőkezelendő munkadarab lehűlésének módját és a kiadandó műveleti utasítás adatait. Ezért ezt a pontot a következőkben *vezérpontnak* nevezzük. Vezérpont felvételének természetesen csak olyan hőkezeléseknél van értelme, amelyek során teljes  $\alpha-\gamma-\alpha$  átkristályosodás megy végbe.

Teljes kilágyításnál a hőkezelés célja, hogy az acél szövete ferrit-perlites vagy tiszta perlites legyen. A vezérpontot tehát a perlitté bomlás mezejének alsó határvonala alatt kell megfelelő biztonsággal 50—100 °C-szal kisebb hőmérsékleten felvenni. A vezérpont időkoordinátáját a rajta keresztülvetődő lehűlési görbe végén jelzett keménységérték kiválasztása alapján határozzuk meg.

A például választott CrV 150 acél teljes kilágyításánál a vezérpontot célszerűen a 600 °C izotermán vehetjük fel. Ha a leglágábbra,  $HV = 230$  kp/mm<sup>2</sup>-re kell lágyítani, akkor az  $L_0$  vezérpontot kellene választani. Ennek időkoordinátája azonban



181. ábra. A CrV 150 – MSZ 5780–53 acél teljes kilágyításának művelettervezése a folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramja szerint. v víz, o olaj, l léghűtés. A. Rose, W. Peter, W. Strassburg [4]

$4 \cdot 10^4$ s, azaz több, mint 10 óra. Ennyi idő alatt kellene az acélt  $A_{c3} + 30 = 790$  °C-ról 600 °C-ra hűteni. Ez a lassú hűtés a hőkezelést nagyon megdrágítja. Ezért helyesebb az  $L_1$  vezérpont választása, amelynek közelében haladó lehűlési görbe adatai szerint az így hűtött CrV 150 acél szövete 1% ferritet és 99% perlitet tartalmaz és keménysége  $HV = 250$  kp/mm<sup>2</sup>.

Az  $L_1$  vezérpont megszabta teljes kilágyítás műveleti utasítása:

Hevítés  $A_{c3} + 30 = 790$  °C-ra.

Hőntartás: vastagság mm-ként 1 percre, de az egész darabra legfeljebb 1 óráig.

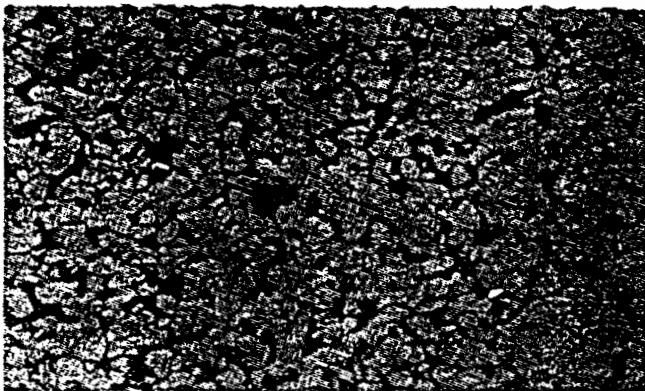
Lehűtés: 790 °C-ról 600 °C-ig 4000 s = 1,1 óra alatt, 600 °C-ról nyugodt levegőn, vagy kemencében.

Ha  $HV = 280$  kp/mm<sup>2</sup> keménység is kielégítő, akkor az  $L_2$  vezérpont szerint a 790–600 °C-os hőfokeltést 10 percre írhatjuk elő.

A teljes lágyítás legkiterjedtebben használt eljárása a *normalizálás*. Megkülönböztető jellege, hogy az  $A_{c3} + 40$  °C-ról való lehűtés a szabad, nyugodt levegőn történik.



182. ábra. 0,26% C-tartalmú acélöntvény primer szövete: durva Widmannstätten-szövet. 3% HNO<sub>3</sub>, 200 : 1.  $\sigma_B = 43,7$  kp/mm<sup>2</sup>,  $\delta_5 = 13,1\%$ ,  $\psi = 14,2\%$ ,  $a_k = 2,9$  mkp/cm<sup>2</sup>



183. ábra. 0,26% C-tartalmú acélöntvény 880 °C-on végzett normalizálással elért szekunder szövete: finom szemcsés ferrit-perlit. 3% HNO<sub>3</sub>, 200 : 1,  $\sigma_B = 48$  kp/mm<sup>2</sup>,  $\delta_5 = 24,4\%$ ,  $\psi = 40,5$ ,  $a_k = 9,4$  mkp/cm<sup>2</sup>



184. ábra. MTA 50 acél szövete hengerelt állapotban. 3% HNO<sub>3</sub>, 200 : 1, 20 °C-on  $a_k = 8,2$  mkp/cm<sup>2</sup>, -20 °C-on  $a_k = 3,2$  mkp/cm<sup>2</sup>

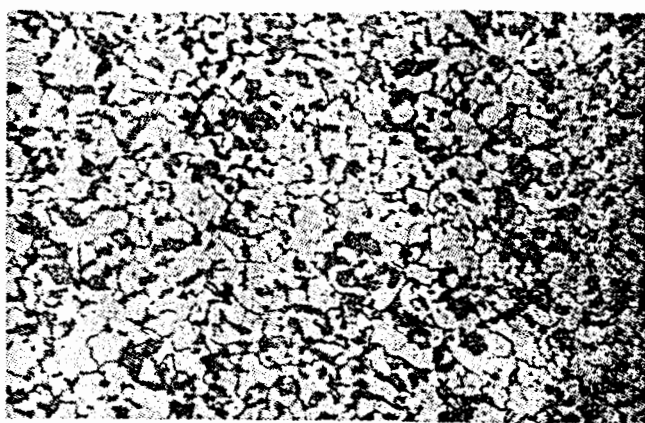
Ez a hűtés a szemcsefinomítást összeköti egy kismértékű szilárdságnöveléssel a teljes kilágyítás lassú lehűlésével elérhető állapothoz képest. A normalizálás célja, hogy: megszüntesse az acélöntvények durva egyenlőtlen, dendrites primer szövetét és helyettesítse szívós, egyenletes, finomszemű szekunder szövettel; a gépalkatrészek diffúziós izzításánál eldurvult szemcséket finomítsa; a kovácsolás, melegalakítás kiindulási nagy hőmérsékleten eldurvult és az egyenlőtlen nyújtás miatt egyenlőtlen szövetet egyenletes finomszemcsés szövettel helyettesítse; a hegesztett kötések varratának öntési, hőhatásövezetének túlhevített szövetét az alapanyaggal azonosan finomszemcséssé alakítsa. Ezenkívül előkészítő hőkezelés a kéregedéshez és nitrálásához.

A normalizálásnak legnagyobb jelentősége van az acélöntvények és a 30 kp/mm<sup>2</sup>-nél nagyobb folyási határú hegeszthető acélok jó szilárdsági tulajdonságokat adó hőkezelésénél. A normalizálás szemcsefinomító és szívósságnövelő hatásáról helyes képet adnak a 0,26% C-tartalmú acélöntvény primer szövetét és tulajdonságait mutató 182., normalizálás utáni szekunder szövetét és tulajdonságait mutató 183. ábra. Az MTA50 jelű nagyobb szilárdságú, Ti és Al-mal dezoxidált és denitrált Mn-acél szövetét hengerelt állapotban a 184., normalizált állapotban a 185. ábra mu-

tatja. A normalizálás az acél szívósságát jellemző fajlagos ütőmunkát  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 3,8-szere-sére növeli.

A normalizálás művelettervezésénél figyelemmel kell lenni a következő szempontokra: 1. Öntött szövet austenitté való átalakulása lényegesen lomhább, mint a hidegen vagy melegen alakítotté. 2. Diszperz szövet (finomlemezes perlit, martensit) gyorsabban alakul át, mint a koagulált (szferoidit). 3. A hőmérsékletnövelés gyorsítja az átalakulást.

4. Túl nagy ( $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb) hőmérséklet és túlidőzés durvítja a szövetet, rontja a szívósságot. 5. Vastag falú munkadaraboknál az anyag hővezetőképességének megfelelő időt kell adni az áthevülésre [10].



185. ábra. MTA 50 acél szövege  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on végzett normalizálás után. 3%  $\text{HNO}_3$ , 200 : 1,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on  $a_k = 19,5\text{ mkp/cm}^2$ ,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on  $a_k = 15,2\text{ mkp/cm}^2$

A normalizálás műveletei:

Hevítés  $A_{c3} + 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig.

Hőntartás teljes hőkiegyenlítésig.

Lehűtés szabad levegőn.

A hevítés hőmérsékletét az acélöntvényeknél legalább  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al nagyobbra veszik, mint a hengerelt vagy kovácsolt acélnál.

A hőntartás időszükséglete  $d < 50\text{ mm}$ -nél egységesen 20 percrek vehető a teljes hőkiegyenlítés elérésére.  $50\text{ mm}$ -nél nagyobb átmérőjű vagy vastagságú acéltárgyak hőntartási idejét az átmérő minden mm-ére fél perccel növelik.  $d > 50\text{ mm}$ -nél a hőntartás:

$$i_t = 20 + \frac{d(\text{mm})}{2} \quad (\text{min}).$$

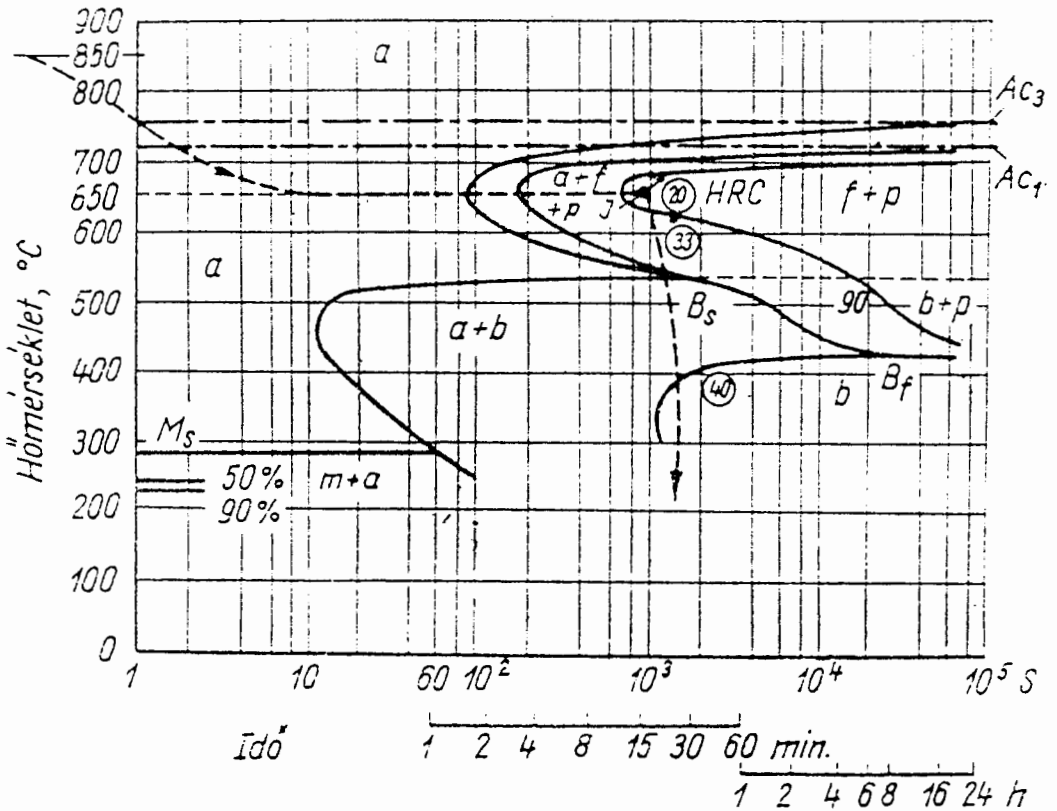
## 10.5. Izotermás lágyítás

A teljes, vagy átkristályosító lágyításnál az austenites szövetűvé hevített acél hűtés közben perlites szövetűvé alakul. A karbidokat tartalmazó ötvözött acéloknál, amilyenek pl. a Cr-Mo acélok, a folyamatos hűtéssel végzett lágyítás néha nagyon lassú hűlést és így hosszú időt követel. A legrövidebb idő alatt lehet végrehajtani az acél lágyítását, ha felhasználják az izotermás átalakulási diagramjának ama jelle-

gét, hogy nemcsak a perlitte bomlás kezdetének, hanem a befejezésének is van egy legrövidebb lappangási hőmérséklete.

Az *izotermás lágyítás* az a legrövidebb időt igénylő lágyító eljárás, melynél az austenitesre hevített acélt az izotermás átalakulási diagram perlitbomlás befejezését jelentő görbeág orrpontja által megszabott hőmérsékletű sófürdőbe mártják és ott tartják az átalakulás befejezéséig. A véglehűtés tetszőleges. Alkalmazhatóságának feltétele az acél C-görbéjének elegendő jobbra tolódása és korlátja a darab túl nagy vastagsága.

Az izotermás lágyítás finom perlitet eredményez, tehát az így lágyított acél az egyszerű, vagy a folyamatosan lassú hűtésű teljes lágyítással hőkezelt acélnál keményebb, de a keménység a megmunkálhatósághoz megfelelő szokott lenni.



186. ábra. CrMo 240 MSZ 2655-50 nemesíthető króm-molibdén acél izotermás lágyításának tervezése (Diagram: A. Rose, W. Strassburg St. u. Eis. 75 (1955) Nr. 22, S.1474)

Az izotermás lágyítás konkrét művelettervezését mutatja a 186. ábra. A lágyítandó CrMo 240 króm-molibdén acél fő ötvözői: C = 0,4%, Cr = 1,8%, Mo = 0,3%, ezért a karbidjai biztosabb és gyorsabb oldása miatt az austenitesre alakítás hőmérsékletét  $A_{c3} + 70 = 850$  °C-ra, a szokásos edzési hőmérsékletére választjuk. Az izotermás lágyítás orrponti hőmérséklete: 650 °C, a műveleti utasítás vezérpontjául e hőmérsékleten levő J pont jelölhető ki, mely a teljes bomlás időpontja után van csaknem 200 s-mal.

A *J* vezérpont koordinátái: 650 °C, 900 s. Műveletek:

Hevítés  $A_{c3} + 70 = 850$  °C-ra.

Hőntartás: hőfelvétel után 10 perc.

Hűtés: 650 °C hőmérsékletű sófürdőben.

Időzés:  $900\text{ s} = 15 + \text{vastagság mm-ként } \frac{1}{2} \text{ perc}$ , de legfeljebb 1 óra.

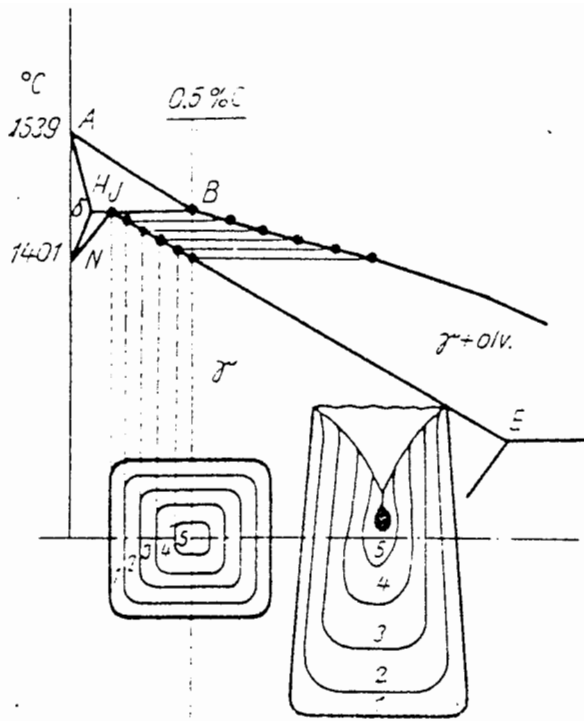
Véglehűtés: nyugodt levegőn.

Lehet az izotermás lágyítást kisebb méretű ötvözött acéltárgyakkal sófürdő nélkül úgy is végezni, hogy az austenitesre hevített darabot fűjt levegőn hűtik izzási színének elvesztéséig, majd 650 °C-ú, illetve a választott vezérpontnak megfelelő hőmérsékletű kemencébe helyezve ott tartják a 4. műveletben megadott ideig. Így lehet lágyítani kovácsolás után az erősen ötvözött acélokat, pl. gyorsacélt is. A kovácsolást 800 °C fölött abbahagyva átteszik a nyers kovácsolt tárgyat a perlitbomlás 730—750 °C orrponti hőközén tartott kemencébe. 2—5 órás hőntartás alatt a gyorsacél megmunkálhatóvá lágyul, bár több-kevesebb maradék austenit lesz még benne.

## 10.6. Diffúziós izzítás

A diffúziós izzítás célja, hogy a dermedés közben az alkotóknak a dendritágak közti, valamint a nagy keresztmetszetű tuskók egyes szelvényrészei között dusulás, vagy különválás folytán bekövetkezett koncentráció-különbségeit kiküszöbölje, illetőleg csökkentse. A diffúziós izzítás célja tehát röviden az egyneműsítés, homogénizálás. A hengereit és kovácsolt acéláru gyártására kiindulási anyagnak az ún. tuskó (öntecs) szolgál, melyet vastag falú öntöttvas formába, az ún. kokillába öntenek az acélolvasztó kemencéből. A kokillába öntött acél dermedése a falával érintkező rétegekben kezdődik és halad a tuskó belseje felé. A külső és belső rétegek között tehát állandó hőmérséklet- és koncentráció-különbség van, aminek következménye az, hogy a tuskó szélén megdermedő kristályok közül az ötvözőben — ötvözetlen acéloknál C, P, S-ban — dúsabb folyékony fázis a tuskó közepe felé húzódik és ott az alkotókban dúsuló koncentrációkkal dermed meg. Ezt a jelenséget nevezik „normális különválásnak”, dúsulásnak (187. ábra). Ilyen különválás egyik okozója a kristályosodás közben felszabaduló gázok befelé való áramlása, ezért ez a különválás a nagy gázfelszabadulással kristályosodó ún. meg nem nyugtatott acélban következik be. A megnyugtatott acélban, ahol a CO és CO<sub>2</sub> gázokhoz szükséges oxigént ún. dezoxidáló, megnyugtató anyagokkal: Si, Mn, Al, Ti megkötik, a kristályosodás közben alig szabadul fel gáz. Itt a tuskó folyékony részeinek ferrosztatikus nyomása az alkotókban dúsabb olvadékot, a kristályok közé szorítja, azokba a terekbe, amelyekben a dermedéssel járó zsugorodás fogyási üregeket létesítene. Ennek következménye, hogy az ötvöző elemek a tuskó szélén az átlagos





187. ábra. Normális vagy egyenes különválás acéltuskóban

százalék fölé szaporodnak. Ezt a jelenséget nevezik „fordított különválás”-nak, vagy fordított dúsulásnak.

Legerősebb hajlama van a dúsulásra a kénnek. A középrések S-tartalma a primer kristályosodás során 500%-kal is meghaladja a tuskó szélének S-tartalmát. A vasszulfid, nikkelszulfid alacsony olvadáspontúak és, így legkésőbb dermednek és a dúsulás helyein a szemcséket hálósan veszik körül. A kovácsolás közben a szemcsehatáron kivált szulfid megolvad és az ún. „vöröstörést” okozza (6.8. pont).

A vöröstörés veszedelme fokozottan fellép azoknál az acélfajtáknál, melyekbe szándékosan sok S-t ötvöznek: az *automataacéloknál*. Itt a rendes körülmények között legfeljebb megengedett 0,06% ötszörösét, 0,3% S-t is ötvöznek az acélba, hogy a

forgácsa törékeny legyen és a rúdacél automatában való megmunkálását lehetővé tegye. Az ilyen nagy kén tartalmú automataacélok tuskóit további feldolgozás, hengerlés előtt mindig diffúziós izzításnak kell alávetni. A diffúziós izzítás a vegyi összetétel homogenizálását — mint a neve is mutatja — az alkotó diffúziója útján éri el. Mivel a diffúzió annál könnyebb, minél nagyobb a hőmérséklet és mivel a nagyszelvényű tuskó különválásának, dúsulásának kiegyenlítésére hosszúak a diffúziós utak, a diffúziós izzítás hőmérséklete a szolidusz alatt 100—150 °C, ideje a tuskó nagysága szerint több nap is lehet.

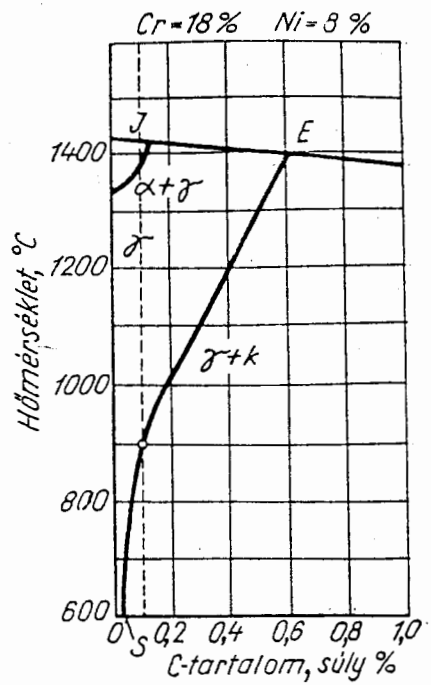
A diffúziós izzítást lehetőleg egybekötik a durvahengerléshez való előmelegítéssel. Ez rendszerint a legnagyobb alkalmazott hőmérsékletű izzítás, melynek során a szemcsék igen megnövekednek. Ezután mindig a szemcsék hengerlés, kovácsolás útján való mechanikus aprításának és normalizálással való finomításának kell következnie.

A gépgyártás gyakorlatában a diffúziós izzítást alkalmazzák a túlcementált kéreg szekunder cementithálójának elosztatására is. Ez a háló veszélyes kagylós kipattogásokat okozhat edzés után. Ezért a cementálás, a szénszegény acél felületi kérgének C-ban való dúsitása után semleges, tehát nem cementáló közegben tovább izzítják a cementált tárgyakat esetleg a cementálásnál valamivel (50 °C-szal) nagyobb hőmérsékleten. Ezalatt a túlcementált felületi kéregből a nagy koncentrációkülönbség (1,4—0,1 = 1,3% C) hatására meginduló koncentrációs diffúzió a kéreg C-tartalmát csökkenti és a kéreg vastagságát növeli.



## 10.7. Austenites lehűtés

Az austenites króm-nikkel acél gyártásánál arra törekednek, hogy minél kisebb legyen a C-tartalma. A C ugyanis mind a vassal, mind pedig a krómötvözéshez használt ferrokrómmal bekerül a 18% Cr- és 8% Ni-tartalmú (Kor5), valamint a többi austenites Cr-Ni, Cr-Mn, Cr-Ni-Mo stb. acélba 0,05—0,2%-ban. Ez a C a krómmal karbidokat képez, amelyek az acél homogén austenites szerkezetét heterogénné teszik. A 18% Cr-, 8% Ni-tartalmú acélok 0—1% C határok között érvényes egyensúlyi diagram részletét a 188. ábrán látjuk. E diagramból azt olvashatjuk ki, hogy a 18/8-as krómnikkel acél 0,1% C-tartalomnál 900 °C alatt, 0,2% C-tartalomnál pedig 1000 °C alatt elveszti homogén  $\gamma$  állapotát és a belőle az  $ES$  vonal alatt kivált karbidok miatt  $\gamma+k$  kétfázisú, heterogén anyaggá válik. Ilyen állapotban csökken a savállósága, és erősen csökken a szívóssága (fajlagos nyúlása és szakítószilárdsága).



188. ábra. 18% Cr-, 8% Ni-tartalmú acél egyensúlyi diagramja. 0—1% C határok között

Az egyensúlyinál nagyobb sebességű, gyakorlatilag a szabad levegőn való hűléskor is végbemegy ez a karbidkiválás.

Az így megromlott acélt homogénné lehet tenni olyan hőkezeléssel, melynél a karbidokat az acélban az  $ES$  vonal fölé a homogén  $\gamma$ -mező hőmérsékletére való felhevítésével teljesen oldatba viszik, és onnan gyors, vízben való hűtéssel hűtve az austenitből való kiválásukat meggátolják. Ezt a hőkezelést *austenites lehűtésnek*, az *austenites acélok nemesítésének* hívják.

Az austenites lehűtés tehát az austenites acélok homogenizáló hőkezelése. De ugyanezt a hőkezelést alkalmazzák a hidegalakítás, pl. hideghengerlés, dróthúzás, mélyhúzás következtében megkeményedett Kor5 és egyéb austenites acélok lágyítására is. Ha ugyanis a teljes kilágyítást a  $\gamma$ -mező hőmérsékletéről való lassú hűtéssel végeznék, az acél keménysége csökkenne ugyan, de a karbidok kiválása miatt a fajlagos nyúlása és a korrózióállása is leromlana. Az 1000 °C-nál nagyobb hőmérsékletéről végzett gyors hűtés a hidegen keményedett austenites acélok legkisebb keménységét ( $HV = 230 \text{ kp/mm}^2$ ), jó szilárdságát ( $\sigma_B = 70\text{—}80 \text{ kp/mm}^2$ ), legnagyobb szívósságát ( $a_k > 20 \text{ mkp/cm}^2$ ) és legjobb korrózióállását biztosítja. Ezért is nevezik nemesítésnek ezt az eljárást, mely az austenites acélok egyetlen hőkezelési eljárása.

A Fe-Mn-C háromalkotós egyensúlyi diagram Fe-C alapvonalával párhuzamosan 13% Mn-nak megfelelően készített függőleges metszetét mutatja a 189. ábra. A föld-