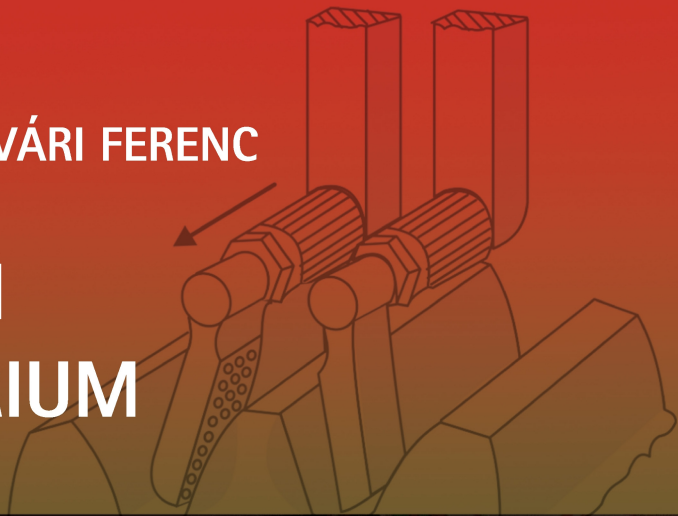


BITAY ENIKŐ • VÉGVÁRI FERENC

HŐKEZELÉSI LABORATÓRIUM



MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

BITAY ENIKŐ – VÉGVÁRI FERENC
HŐKEZELÉSI LABORATÓRIUM

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK

17.

BITAY ENIKŐ – VÉGVÁRI FERENC

**HŐKEZELÉSI
LABORATÓRIUM**



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

Kolozsvár

2022

A kutatást támogatta az MTA DOMUS-program

A kötet megjelenését támogatta a Nemzeti Kulturális Alap, a Magyar Tudományos Akadémia, a Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt., az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya



© Bitay Enikő, Végvári Ferenc, EME 2022

Szaklektorok:

Dobránszky János, gépészmérnök (PhD, dr. habil, DSc)
tudományos tanácsadó, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
ELKH–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

Kolozsváry Zoltán, gépészmérnök (PhD)
az IFHTSE (International Federation for Heat Treatment and
Surface Engineering – Nemzetközi Hőkezelési és Felülettudományi
Egyesület) tiszteletbeli elnöke

Kiadó: Erdélyi Múzeum-Egyesület

Felelős kiadó: Biró Annamária

Sorozatszerkesztő: Bitay Enikő

Olvasószerkesztő: Szenkovics Enikő

Borítóterv: Könczey Elemér

Műszaki szerkesztő: Szilágyi Júlia

Nyomdai munkálatok:

F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós

Ügyvezető igazgató: Ambrus Enikő

Tel./Fax: +40-266-364171

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

BITAY, ENIKŐ

Hőkezelési laboratórium / Bitay Enikő, Végvári Ferenc. -

Cluj-Napoca : Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2022

Conține bibliografie

ISBN 978-606-739-207-4

I. Végvári, Ferenc

62

DOI: 10.36242/mtf-17

TARTALOM

ELŐSZÓ.....	7
ELMÉLETI ALAPOK.....	9
1. A hőkezelés elmélete	11
1.1. Bevezető. A hőkezelési ciklusok.....	11
1.2. Hőátvitel	13
1.3. A hőkezelés célja.....	14
1.4. Felhevítés	15
1.5. Hőn tartás	15
1.6. Hűtés	16
2. A fémek hőkezelésének csoportosítása.....	17
3. A Fe–C ötvözet ikerdiagramja.....	19
4. Vasalapú ötvözetek hőkezelése.....	20
4.1. Teljes keresztmetszetben végzett hőkezelések.....	20
4.2. Felületi edzések.....	30
4.3. Termokémiai hőkezelések.....	40
4.4. Az öntöttvasak hőkezelése	48
5. Az alumínium és ötvözeteinek hőkezelése	52
5.1. Hidegen alakított alumínium és ötvözeteinek újrakristályosító lágýtása	53
5.2. Kiválásos nemesítés	53
6. A réz és a réz alapú ötvözetek hőkezelése.....	56
6.1. A réz hőkezelése.....	56
6.2. Egyfázisú rézötvözetek hőkezelése	56
6.3. Többfázisú rézötvözetek hőkezelése.....	57
7. Hőkezelő berendezések.....	59
7.1. Szakaszos üzemű kemencék.....	59
7.2. Folyamatos üzemű kemencék	64
7.3. Hőkezelő kemencék légköre	65
7.4. Hőmérséklet mérése	66
7.5. Kemencék falazata	67

KÍSÉRLETI HŐKEZELÉSEK.....	69
I. Az ausztenitesítés mechanizmusa	71
II. Az ausztenit szemcseméretének meghatározása kísérleti úton.....	78
III. Az átedzhetőség vizsgálata kísérlettel és számítással (Jominy-vizsgálat).	91
IV. Az ausztenit izotermikus átalakulásának vizsgálata	102
V. Hidegen alakított alumínium újrakristályosító lágyítása.....	108
VI. Hipoeutektoidos acél folyamatos hűtése	120
VII. Edzett acélok megeresztése	127
MELLÉKLET: A könyvben szereplő hőkezelési szakkifejezések, eljárások elnevezése magyar, angol, román és német nyelven.....	138
SZAKIRODALOM.....	143
HEAT TREATMENT LABORATORY (Summary)	145
Contents	147
LABORÜBUNGEN FÜR WÄRMEBEHANDLUNG (Zusammenfassung).....	149
Inhalt	151
LABORATOR DE TRATAMENTE TERMICE (Rezumat).....	153
Cuprins	155

ELŐSZÓ

A hőkezelés az anyagtudomány fontos része, a mechanikai technológiai eljárások meghatározója, amellyel az anyagok tervezett tulajdonságmódosítását érhetjük el. Nem csupán a késztermék anyagtulajdonságait kell megfelelően kialakítani, hanem a gyártási folyamat is olykor megköveteli az anyagtulajdonságok változtatását, ahhoz, hogy az alkatrész alakítható, megmunkálható legyen. A tartósság, vagyis a mechanikai igénybevétellel szembeni ellenálló képesség növelhető átgondolt alapanyag-kiválasztással, illetve az adott alkatrész funkcionális szerepének megfelelő hőkezelés(ek) alkalmazásával.

A hőkezelés az anyag hevítésének és hűtésének szabályozott folyamatát jelenti annak érdekében, hogy az anyag tulajdonságait módosíthassa/javíthassa. Ma már gyakorlatilag semmit sem lehet előállítani hőkezelés nélkül, nem csoda, hogy a hőkezelést „az ipar szívének” nevezi a Nemzetközi Hőkezelési Egyesület (HTS ASM International) a bemutató honlapján.¹

A hőkezelés globális piacát 2016-ban körülbelül 90,7 milliárd dollárra becsülték, és a becslések szerint 2017 és 2025 között évente 3,5%-kal bővül².

A megfelelő hőkezelési eljárások alkalmazása és azok helyes kivitelezése gazdasági és műszaki előnyökhöz vezet. Hőkezelést alkalmazunk, ha lágyítani kívánjuk a fémet alakíthatóságának érdekében, ha keményíteni szeretnénk az alkatrészt a szilárdsága növelése érdekében. Felületi hőkezelést alkalmazunk, amennyiben kemény felületet kívánunk kialakítani egy szívós alkatrészen, növelve a kopásállóságát. Hőkezeléssel korrózióálló réteget hozhatunk létre, megvédve az egyébként korrodáló alkatrészeket. Ugyancsak ezen technológia megerősítheti, javíthatja a termékek mechanikai tulajdonságait is.

¹ *What is Heat Treating?* HTS ASM International
<https://www.asminternational.org/web/hts/about/what-is>

² *Heat Treating Market Size, Share & Trends Analysis Report By Material (Steel, Cast Iron), By Process, By Equipment, By Application (Automotive, Aerospace), And Segment Forecasts, 2018–2025* (2018), Grand View Research,
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/heat-treating-market>

Ma már a hőkezelt alkatrészek elengedhetetlenek az ipar valamennyi ágában: az autók, repülőgépek, űrhajók, számítógépek és különféle nehézgépek működéséhez. A megmunkáló eszközök, gépelemek: a fűrészek, fejszék, vágószerszámok, csapágyak, fogaskerekek, tengelyek, kötőelemek, vezérműtengelyek és fő-tengelyek kivitelezése is mind a hőkezeléstől függ.

A hőkezelés évente körülbelül 15 milliárd dollárral növeli a fémtermékek értékét azáltal, hogy különleges tulajdonságokat biztosít, amelyek szükségesek az alkatrészek sikeres működéséhez.

Egy mérnök számára fontos ismerni az anyagtudományt és ezt a tudományágat is, hogy a tervezéskor kellőképpen ki tudja választani a megfelelő anyagokat, illetve arra is legyen rálátása, hogyan lehet ezt követően tudatosan megtervezni a neki legmegfelelőbb hőkezelési eljárásokat, amelyek valójában rendkívül változatosak.

A könyv első részében a hőkezelés rövid elméleti alapjait, célját, illetve a vas- és fém(ötvözetek)eknek az iparban leggyakrabban alkalmazott hőkezelési típusait, berendezéseit tárja fel. A második, a kísérleti hőkezelések részben, összesen hét gyakorlati ismerettel egészíti ki az elméleti részt, ezáltal teszi értetőbbé, alkalmazhatóbaráttá ezen eljárásokat.

A szerzők arra törekedtek, hogy viszonylag kis terjedelmű kötetben összefoglalják a vas- és fém(ötvözet)ek hőkezelési eljárásainak főbb elméleti és gyakorlati vonatkozásait, röviden, tömören, gyakorlatiasan, remélhetőleg érthetően, élménygazdagon.

A kötet elsősorban a mérnökképzésben részt vevő egyetemi hallgatóknak, ugyanakkor a (gépész)mérnököknek szól, valamint azoknak is, akik érdeklődnek a fémek termofizikai és termokémiai kezeléseiről, hogy bátorítást, kedvet kapjanak e szakirány elmélyítéséhez, gyakorlati alkalmazhatóságához, szakmai élményéhez.

A szerzők

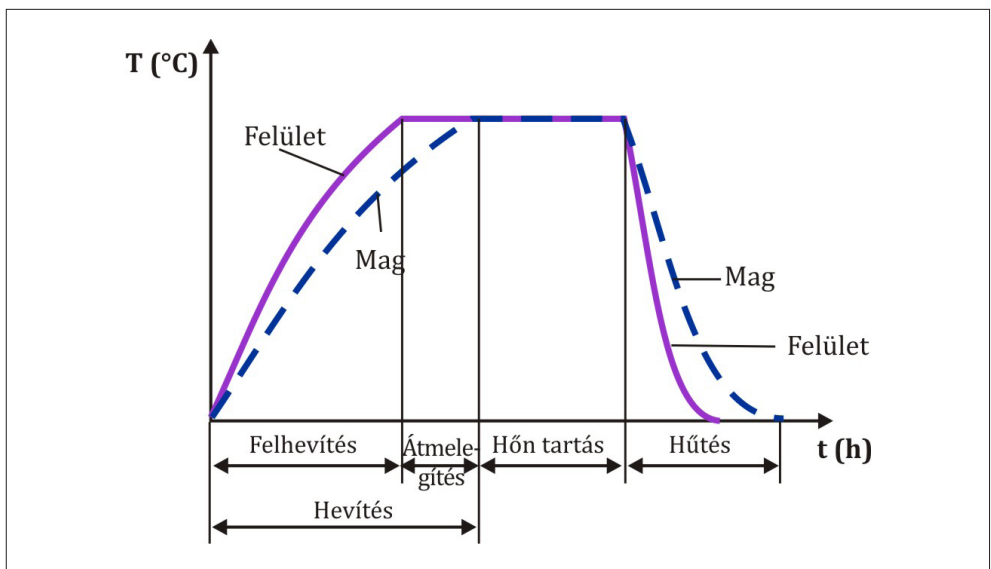
ELMÉLETI ALAPOK

1. A HŐKEZELÉS ELMÉLETE

A hőkezelés egzakt tudomány. Nincs benne „mágikusság”, a pontos elméleti alapokon, magyarázatokon felül gyakorlati alkalmazástudásra is épül. A hőbevitel, a hõn tartás és hûlés hármassága a jellemzõ meghatározói.

1.1. Bevezetõ. A hõkezelési ciklusok

Valójában a hõkezelés egy technológiai folyamat, amely abból áll, hogy az anyagot egy bizonyos hõmérsékletre felmelegítene, meghatározott ideig ezen a hõmérsékleten tartanak, majd bizonyos körülmények között (hûtési közeg, -sebesség) lehûtik az elvart (elõre tervezett, megszabott) fizikai vagy mechanikai tulajdonság(ok) elérése érdekében. Ezt a mûveletsort hõkezelési ciklusnak nevezik, és grafikusán ábrázolható a hõmérséklet és idõ függvényében (1.1. ábra).



1.1. ábra. Jellemző hõkezelési diagram (hevítés; hõn tartás; hûtés)

A hőmérséklet hatására a kezelt tárgy(alkatrész) szövetszerkezetét módosítani tudjuk, szilárd állapotban, anélkül, hogy alakját megváltoztatnánk. A szövetszerkezet módosításával tulajdonságváltoztatást érhetünk el. Ez egy tudatos, tervezett tulajdonságmódosító technológiai művelet.

Mint ismeretes, egy anyag tulajdonságait a kémiai összetétele, a szövetszerkezete, valamint a feszültségi állapota határozza meg. Gyakori elvárás a tulajdonságmódosítás (mechanikai és/vagy a fizikai tulajdonságok) ahhoz, hogy az alkatrész a felhasználási célnak megfelelő tulajdonsággal rendelkezzen. Például a fémek esetében a szilárdság növelése akár többféle módszerrel is elérhető, pl. ötvözéssel, hidegalakítás (keményedés) révén, avagy hőkezeléssel.

A hőkezelést a következő technológiai tényezők jellemzik:

- **A hevítési sebesség (v_i)** nem befolyásolja nagymértékben a hőkezelés eredményét, de befolyásolhatja az alkatrész szilárdságát, nyúlását, meleg alakváltozását, és károsodást okozhat. A nagy szénttartalmú vagy ötvözött acél, illetve egy összetett alkatrész kisebb sebességgel melegíthető fel, és fordítva. A hevítési sebesség a következő összefüggéssel számítható:

$$v_i = \frac{T_i - T_0}{t_1} \text{ [}^\circ\text{C/h]}$$

ahol: T_i – a hevítési hőmérséklet, $^\circ\text{C}$;

T_0 – a környezeti hőmérséklet, $^\circ\text{C}$;

t_1 – a hevítési időtartam, h.

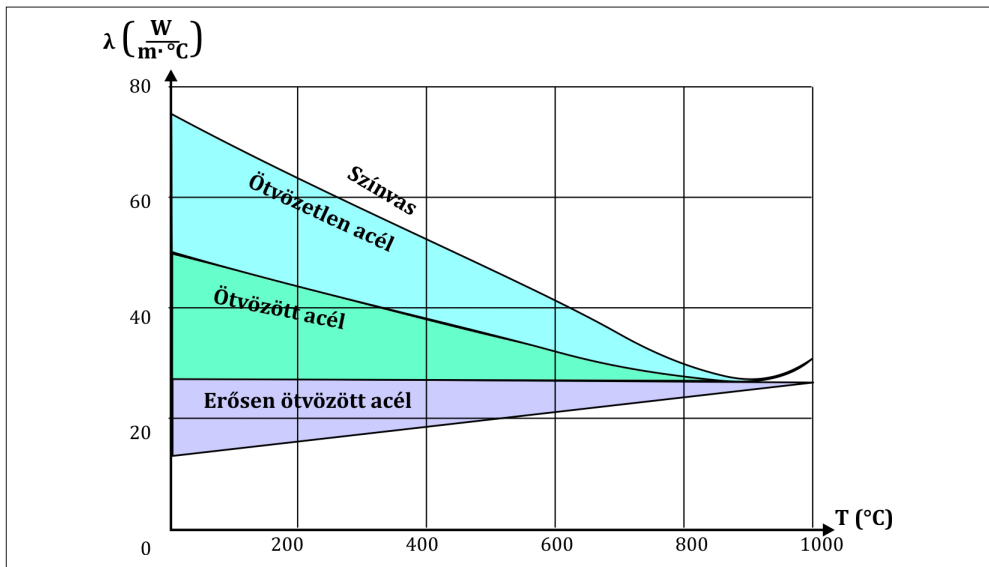
- **A hevítési hőmérsékletet (T_i)** a hőkezelés típusának és az anyag kémiai összetételének megfelelően választjuk meg.
- **A hőntartási idő (t_2)** az az idő, ameddig az alkatrészt a kemencében tartják úgy, hogy a teljes tömege elérje a kemence hőmérsékletét, illetve a szerkezeti változtatások az alkatrész teljes keresztmetszetében megtörténjen.
- **A hűtési sebesség (v_r)** a hőkezelés legfontosabb paramétere, ettől függ a hőkezelt anyag szerkezete, valamint mechanikai jellemzői. Lassú hűtést alkalmazunk lágýtáznál, gyorsítést edzésnél, amely keménységnövekedést okoz. Hűtőközegként a következőket használják: kemence, levegő, olajok, víz, vizes sóoldatok és olvadt sók. A hevítési sebességet a következő összefüggéssel számítjuk ki (t_3 a hűtési időtartam):

$$v_r = \frac{T_i - T_0}{t_3} \text{ [}^\circ\text{C/h, min, s]}$$

1.2. Hőátvitel

A hőkezelés ciklus által a kezelt alkatrész és a környezete között hőcsere alakul ki, mind a hevítés, mind pedig a hűtés során. Ez a hőcsere többféleképpen valósulhat meg: hőátadással, hővezetéssel vagy hőszugárzással. Az átadandó hőmennyiséget a kezelt darab és a környezet hőmérsékletének különbsége határozza meg. Ez a különbség időben egyre csökken, majd kiegyenlítődik. A hőmérséklet-változás sebességének csökkenési, avagy növekedési görbéje tehát exponenciális (**1.1. ábra**). A hővezető képesség anyagfüggő, a színtémek esetében a legnagyobb. Az ötvözők csökkentik az anyag hővezető képességét. Ugyanakkor az anyag állapota és természetesen a hőmérséklete is befolyásolja a hővezető képességet (**1.2. ábra**). A hővezetés szilárd anyagok esetében a nyugalomban levő szomszédos részecskék közötti hőcsere által valósul meg. Hőátadás esetében a gáz vagy cseppfolyós részecskék áramlása (amely lehet szabad-, avagy kényszeráramlás) teszi lehetővé a hőcserét. Hőszugárzásról akkor beszélünk, amikor egy test által kisugárzott energiát nyeli el a kezelendő alkatrészünk. A hőkezelő berendezések alkalmazásánál (pl. kemencében) a kezelendő darabok hőátadás és sugárzás révén melegednek fel.

A hőkezelési folyamatok a kezelendő anyag szövetszerkezetének kialakítására irányulnak, a metallográfiai egyensúlyi és nemegyensúlyi átalakulások elméletére alapozva.



1.2. ábra. A hővezető képesség hőmérsékletfüggése különböző ötvözeteknél

1.3. A hőkezelés célja

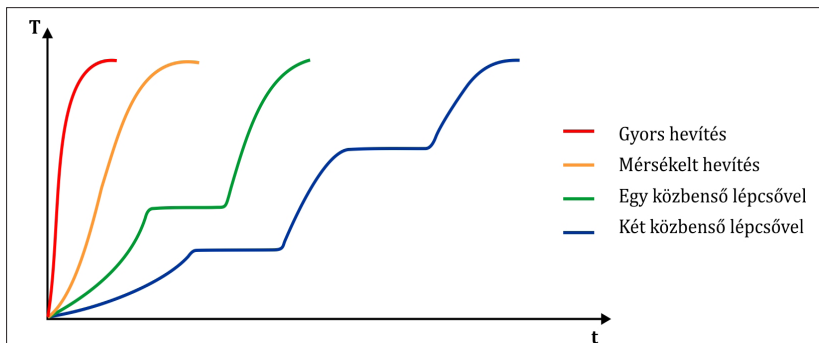
A hőkezelés fémes szerkezeti anyagoknak olyan tudatosan végzett felhevítése, hűn tartása és lehűtése, amely célja meghatározott tulajdonságok elérése.

Melyek lehetnek ezen célok?

- Lágyság elérése. Erre szükség lehet a további alakíthatóság, illetve a felhasználhatóság biztosítására. Egy hidegalakítással gyártott tubus kemény állapotú, nem alkalmas a háztartásban felhasználásra. Töltés előtt ki kell lágyítani! Az alumíniumfólia gyártása sem lehetséges egy lépésben, közben lágyítani szükséges.
- Szemcseszerkezet megváltoztatása. Lágyság, kis széntartalmú acélok rosszul forgácsolhatók, mert kenődnek. Ebben az esetben kedvezőbb a durvább szemcseszerkezet, mert ez által az anyag ridegebbé válik, könnyebben forgácsolható. A felhasználás szempontjából viszont a finom szemcsészetű szerkezet a kedvező, mert ehhez jobb mechanikai tulajdonságok tartoznak.
- Szilárdság növelése. Sok esetben törekszünk arra, hogy az elkészített alkatrész minél nagyobb szilárdságú legyen. Ha biztosítani tudjuk a nagyobb szilárdságot, úgy az alkatrész kisebb keresztmetszettel is elkészíthető ugyanazon igénybevételre. Ezáltal anyagmennyiséget takarítunk meg, illetve ha az alkatrész mozgásnak van kitéve, a kisebb tömeg miatt kevesebb befektetett energiával gyorsítható.
- Kopásállóság növelése. Sokszor az alkatrész kopással használódik el. Ebben az esetben cél az alkatrész élettartamának növelése, hogy a kopásnak ellenállóbb legyen. Szerszámok esetében is igen fontos szempont a minél nagyobb kopásállóság az élettartam növelése végett.
- Szívósság fokozása. Dinamikus igénybevételnek kitétt alkatrészeknél fontos a megfelelő szívósság biztosítása.
- Feszültségcsökkentés. Elsősorban hegesztés után alkalmazandó hőkezelés. A hegesztés egyenlőtlenül melegíti fel a munkadarabot, sok esetben gyorsan, egyenlőtlenül hűlnek a munkadarabok, és nagymértékű feszültségek maradhatnak vissza. Ha ezekhez a feszültségekhez hozzáadódnak a terhelésből eredő feszültségek, könnyen okozhatnak deformációt, esetleg repedést, törést is.

1.4. Felhevítés

A felhevítés során nagyon fontos a felhevítés sebességének helyes meghatározása. Míg az alumínium, illetve a színesfémek általában jó hővezetők, ezért kisebb méretekben gyorsan hevíthetők. Az acélok hővezető képességét nagyban befolyásolják a benne lévő ötvöző elemek (**1.2. ábra**). Egy kis szénttartalmú, ötvözetlen acél alkatrész kisebb szelvényátmérőben (pl. 20–30 mm) egy lépésben felhevíthető akár az edzési hőmérsékletre is. A nagyobb szénttartalom esetén viszont már lehet, hogy egy közbenső hőntartási lépcsőt kell beiktatni, ahol az alkatrész felülete és magja közti hőmérséklet-különbség kiegyenlítődik. Ötvözött acélok esetén az ötvözés mértékétől függően egy vagy két közbenső lépcsőt is be kell iktatni az edzési hőmérsékletre történő felmelegítésnél (**1.3. ábra**).



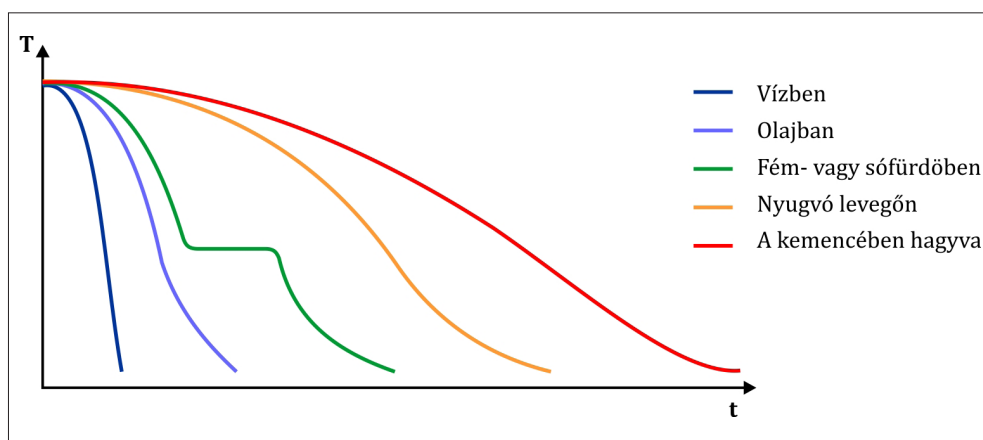
1.3. ábra. A felhevítés módjai

1.5. Hőntartás

A hőntartásnak egyik fontos paramétere a hőmérséklet. A hőntartás hőmérséklete az elérendő céltól függően választandó meg. Másik paramétere a hőntartási idő. Rövid idejű hőntartás során csak a felület alatti vékony kéreg hevül fel. A teljes keresztmetszetben történő átmelegedéshez hosszabb időre van szükség. A termokémiai hőkezelések, amelyek során egy elemet diffúzióval juttatunk a kéregbe, szintén hosszabb időt követelnek meg. A hőkezelésre hatást gyakorol az is, hogy milyen közegben tartjuk hőn a munkadarabot. A közeg lehet oxidáló, amely a vasalapú ötvözetekre legtöbbször káros hatású (revésedés, dekarbonizálódás). Semleges közeg, amely megvédi az oxidációtól és a dekarbonizálódástól. Aktív közeg, amely reakcióba lép a munkadarab felületével, és egy vagy több elem atomjai behatolnak a munkadarab felületébe, megváltoztatva annak tulajdonságait.

1.6. Hűtés

A hűtés módja befolyásolja a hőkezelés eredményét. Acélok esetén a hűtés erélyességének megváltoztatásával különböző tulajdonságú szövetelemeket tudunk létrehozni. A gyorshűtés általában martenzites szövetszerkezetet eredményez. Ötvözetlen acélok esetén vizet alkalmazunk. Ötvözött acélok esetén csökkenteni kell a hűtési erélyességet, amit a vízhez adagolt, műanyagbázisú adalékokkal (pl. Aqua-Plast) vagy edzőolajjal érünk el. Az erősen ötvözött acélok edzésekor esetleg bekövetkező repedések, vetemedések elkerülésére alkalmazzák a lépcsős edzést. Ebben az esetben az edzési hőmérsékletről lehűtött acélt a martenzites átalakulás hőmérséklete fölött mintegy 50 °C-kal só- vagy fémfürdőben hõn tartjuk, miközben a felület és a mag közt kiegyenlítődik a hőmérséklet, majd tovább hűtjük akár nyugvó levegőn. Erősen ötvözött acélok fűvott levegőn hűtve is beedződnek (pl. gyorsacél fűrók), lásd az **1.4. ábrát** (lehűlési görbéket).



1.4. ábra. A lehűtés módjai

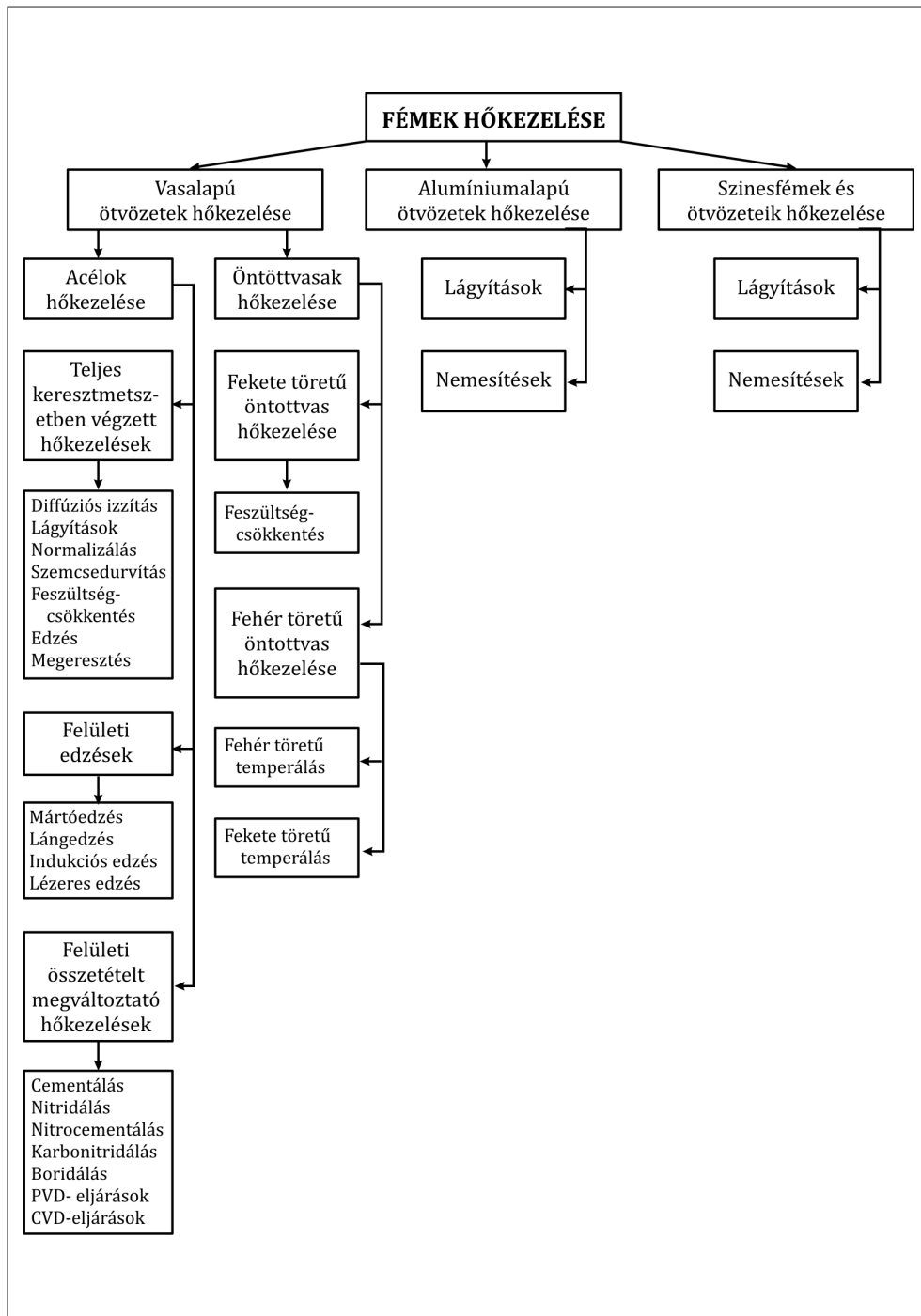
2. A FÉMEK HŐKEZELÉSÉNEK CSOPORTOSÍTÁSA

A hőkezelési eljárások csoportosítására több módszer ismeretes. Egyik lehetséges szempont az alkalmazott hatás: a termikus, termokémiai, termomechanikus és termofizikai eljárások. A gépiparra jellemző és leginkább alkalmazott a termikus és a termokémiai eljárások. A gépiparban a gyártmányok leginkább a vasötvözetekből készülnek. Az acélok hőkezeléseinek csoportosítását az elérendő tulajdonság szerint a következőképpen tagolhatjuk.

- megmunkálhatóságot javító hőkezelések: feszültségcsökkentő, újrakristályosító, szferoidizáló izzítások, lágyítás, normalizálás, ausztenites lehűtés;
- igénybevétel szerinti tulajdonságokat biztosító hőkezelés: keménység-, avagy szilárdságnövelő (térfogati, avagy felületi edzés), szívósságot fokozó hőkezelések (pl. nemesítés).

A hőkezelési technológiákat csoportosíthatjuk aszerint is, hogy egyensúlyi vagy egyensúlyitól eltérő folyamat létrehozása a cél; vagy szerkezetváltozást, vagy feszültségállapot változást szeretnénk elérni, vagy bizonyos technológiára való alkalmasságra, vagy a késztermék tulajdonságainak beállítására van szükségünk. De csoportosíthatjuk aszerint is, hogy a hőkezelés az egész darabra, vagy csak egy részére vagy felületére terjed ki.

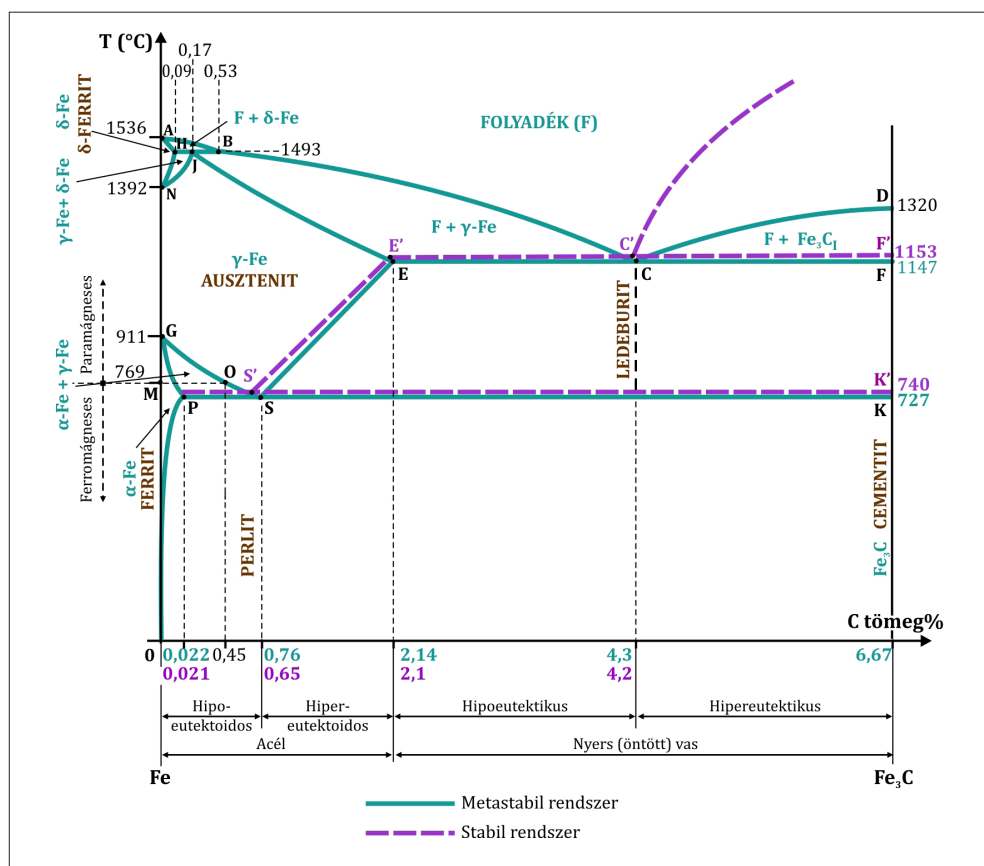
Mi most kissé tömörítve foglaljuk össze a legfontosabb eljárásokat (**2. ábra**).



2. ábra. A fémek hőkezelésének csoportosítása

3. A FE-C ÖTVÖZET IKERDIAGRAMJA

A vasalapú ötvözetek hőkezelésének alapja a vas–szén egyensúlyi fázisdiagram. E könyv az anyagismereti alapok tudására épül. Ezáltal a vas–szén-diagram ismerete is feltételezett, melyre a továbbiakban nagy szükség van. Ezzel itt részletesen nem foglalkozunk, az állapotábrát most csak ezen ismeretek felelevenítésére közöljük (3. ábra).



3. ábra. A Fe-C egyensúlyi fázisdiagram

4. VASALAPÚ ÖTVÖZETEK HŐKEZELÉSE

4.1. Teljes keresztmetszetben végzett hőkezelések

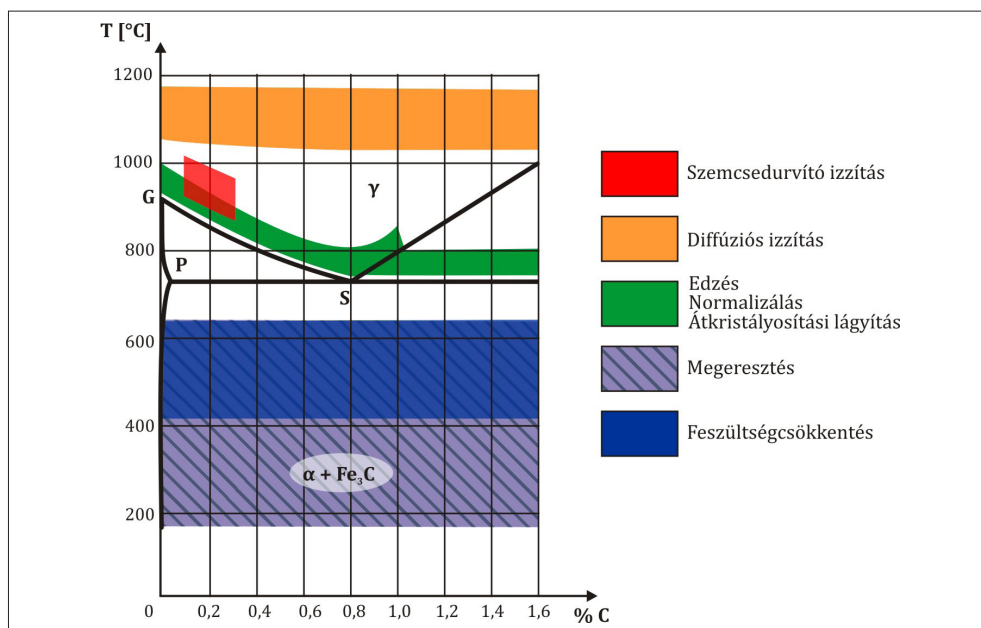
Az acélok 0–2,11% C tartalmú Fe–C ötvözetek. Felhasználás szempontjából megkülönböztetünk:

- szerkezeti acélokat (széntartalmuk jellemzően 0–0,6%)
- szerszámacélokat (széntartalmuk jellemzően 0,6–2,11%)

Az acélok jellegzetessége, hogy allotrop átalakulásra képesek, így a mechanikai tulajdonságaik széles határok közt változtathatók.

Az acélok szokásos hőkezeléseinek hőmérséklet-tartományát a **4.1. ábrán** mutatjuk be.

Az öntöttvasak elméleti széntartalma 2,11–6,67%. A gyakorlatban a 4% széntartalmat nem haladják meg.



4.1. ábra. Az acélok hőkezelésének hőmérséklet-tartományai

4.1.1. Diffúziós izzítás

Célja: az ötvözetek dermedésekor keletkező fémes és nemfémes elemek dúsulásainak csökkentése vagy megszüntetése, egy homogénebb szövetszerkezet kialakítása. Szokás homogenizáló izzításnak is nevezni.

Dermedéskor a szilárd oldatok hőmérséklet közben dermednek. Először a legnagyobb hőmérsékleten dermedő dendritváz szilárdul meg, amely nagyon kevés ötvöző/szennyező elemet tartalmaz. Erre ötvöző/szennyezőben egyre dúsabb rétegek rakodnak rá, majd a végén a szennyező elemekben feldúsult ömledék dermed meg. Így a megszilárdult acél összetétele pontról pontra változik. A dúsulás kialakulhat a folyamatosan öntött tuskóknál is, ahol a dermedés 20–30 perc alatt következik be. Sokkal nagyobb mértékű dúsulások keletkezhetnek kokillába történő öntésnél, ahol a teljes dermedés a kokilla méreteitől függően akár órákat vehet igénybe.

A diffúziós izzítás hőmérsékletének a lehető legnagyobbnak kell lennie, hogy a diffúziós folyamatok minél gyorsabban végbemenjenek. Ennek megfelelően hőmérséklete 1050–1200 °C, ami 50–150 °C-kal van alatta a mindenkori szolidusz hőmérsékletnek (**4.1. ábra**). A hőn tartás ideje hosszú, 12–24–36 óra, de egyes esetekben akár az 50 órát is meghaladhatja. A hűtés erről a hőmérsékletről lassan történik 500 °C-ig kemencében vagy hűtőgödörben, majd levegőn. A művelet összevonható az izzítást követő közvetlen melegalakítással (hengerlés, kovácsolás).

4.1.2. Szemcsedurvító izzítás

Célja: a kis széntartalmú ötvözetlen acélok, továbbá a Cr-, Cr-Mn és Cr-Mo ötvözésű betétben edzhető acélok forgácsolhatóságának a javítása.

A fenti acélok lágy állapotban nehezen forgácsolhatók, kenődnek. A szemcseszerkezet durvításával ridegednek, jobban forgácsolhatóvá válnak. A megfelelő durva szemcseszerkezet az A_{c3} feletti magasabb hőmérsékleten (900–1000 °C) hosszabb hőntartási idő hatására (1–2 óra) alakul ki (**4.1. ábra**).

A szemcseszerkezet finomítására a forgácsolás után normalizálni kell.

4.1.3. Normalizálás

Célja: az acélok eldurvult szemcseszerkezetének finomítása, valamint a kis széntartalmú acélok forgácsolhatóságának javítása.

Ezt a célt úgy tudjuk megvalósítani, hogy oda-vissza lejátszatjuk a α - γ fázisátalakulást. Először felhevítéskor α szilárd oldatból kristálycsírák keletkezésével, növekedésével kialakul a γ szilárd oldat. Ha relatíve alacsony a hőn tartás

hőmérséklete, rövid a hőn tartás ideje, ez a γ szilárd oldat nem tud eldurvulni, és az ezt követő levegőn való hűtés során a γ szilárd oldat visszaalakul α szilárd oldattá. A hőkezelés hőmérséklete kevéssel az A_{c3} felett van (**4.1. ábra**). A hőn tartás ideje rövid.

$$t = 10 + D/2 \text{ [min]}$$

ahol D – a munkadarab jellemző átmérője [mm]

A hűtést nyugvó levegőn, huzatmentes helyen kell végezni. A kialakult keménység nagymértékben függ a lehűtési sebességtől, így egy munkadarabon belül is a kisebb szelvényméretű részek keményebbek, míg a nagyobb szelvényméretű részek lágyabbak.

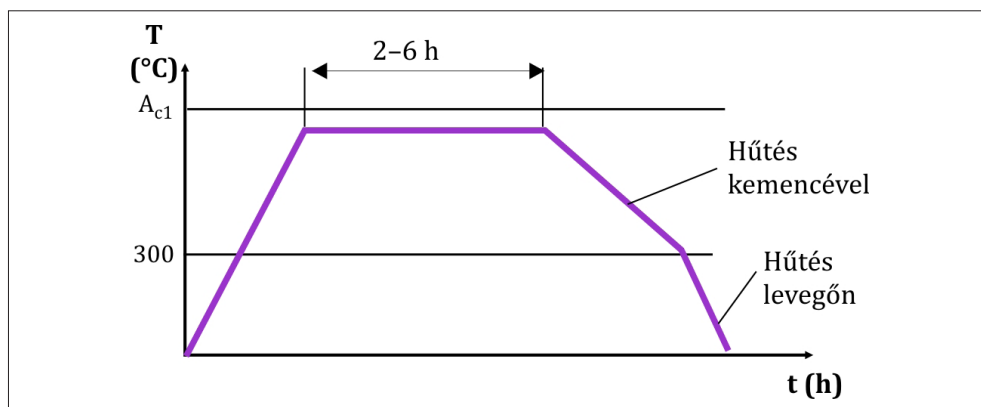
Hátránya: allotrop átalakulással nem rendelkező acéloknál nem alkalmazható (korrózióálló ferrites, saválló ausztenites acélok).

4.1.4. Lágyítások

Cél: a lágyítások célja általában a lehető leglágyabb állapot elérése, mert lágy állapotban a legkönnyebb az anyagokat megmunkálni képlékenyalakítással. Forgácsolás szempontjából is a kisebb keménységű anyagot könnyebb forgácsolni, kisebb a szerszámkopás, de a kis széntartalmú acélok hajlamosak kenődni, így ezeket általában nem a leglágyabb állapotban forgácsoljuk. A lágyítás során általában szemcsés perlit keletkezik.

a) Egyszerű lágyítás

Ezen lágyítás során nem törekszünk az α - γ átalakulásra. Hőmérséklete az A_{c1} hőmérséklet alatt van 20–40 °C-kal (**4.2. ábra**). A hőn tartás ideje általában 2–6 óra, de függ az acél kémiai összetételétől, a lágyítás előtti szövetszerkezettől.



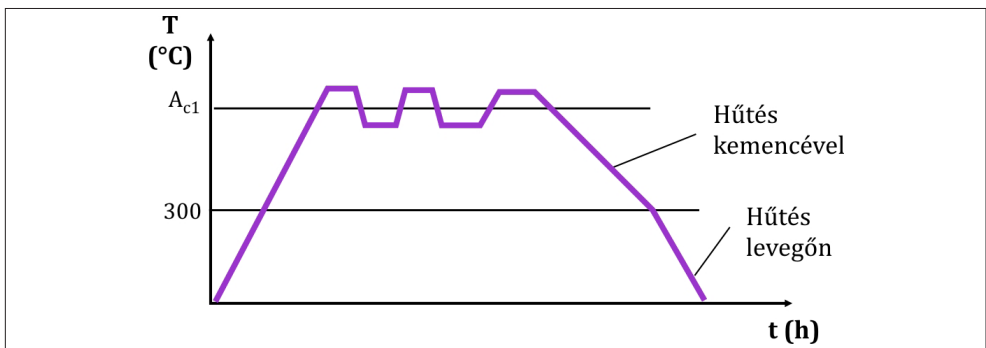
4.2. ábra. Egyszerű lágyítás

A lágýtási hőmérsékletről való lehűtés sebessége nem befolyásolja a kialakult szövetszerkezetet, a hűtés általában kemencével történik, a 300 °C elérése után nyugvó levegőn húzható a munkadarab.

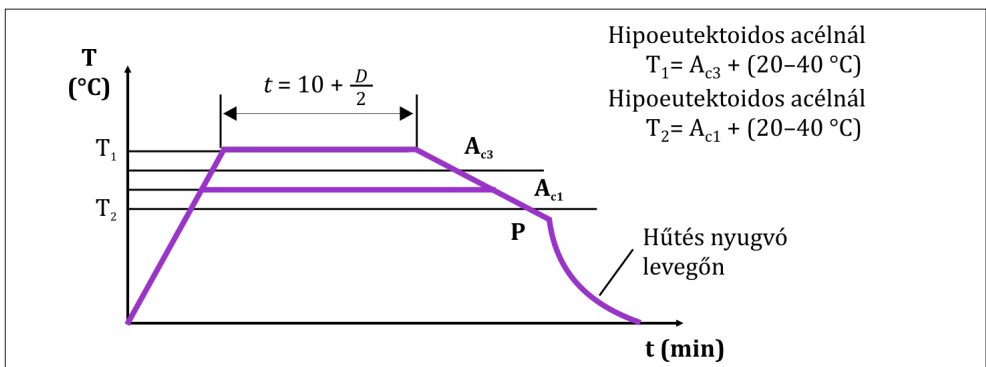
Ötvözött acélok, különösen ötvözött acélöntvények esetén a Fe_3C gömbszemcsésítésre szokás alkalmazni az ún. ingás lágýtást. Ennek során az $A_{c1} + (20-50)$ °C-ra hevítenek, ezt hűtés követi az $A_{c1} - (20-50)$ °C-ra. Ezt kétszer-háromszor megismétlik. A hőkezelések folyamatábráját a **4.3. ábrán** mutatjuk be.

b) Teljes lágýtás

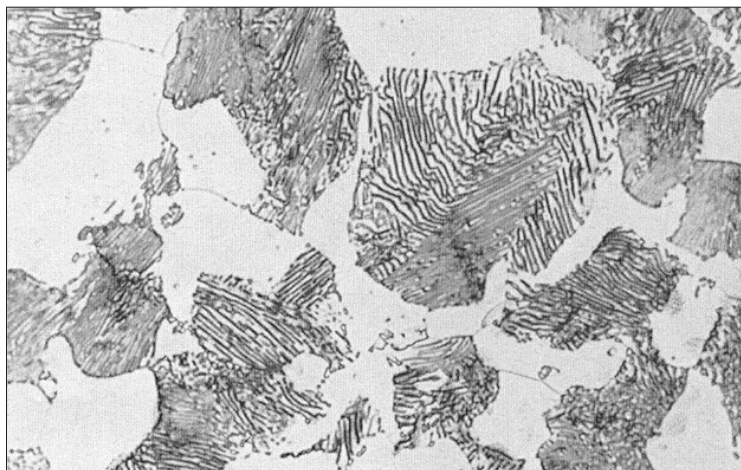
Az elnevezése a lejátszódó folyamatokra utal. A hőkezelés során végbemegy az α - γ és a γ - α átalakulás, a szövetszerkezet átkristályosodik. Hőmérséklete megegyezik a normalizálás hőmérsékletével (**4.4. ábra**), a hőn tartás ideje is azonos. Erről a hőmérsékletről lassan hűtjük a darabot 10–100 °C/h sebességgel, miközben végbemegy a perlites átalakulás, és az 500 °C-ot elérve a további hűtés levegőn történhet. Lágýtott szövetszerkezet látható a **4.5. ábrán**.



4.3. ábra. Gömbszemcsésítő lágýtás



4.4. ábra. Teljes vagy átkristályosító lágýtás



4.5. ábra. Lágyított acél ferrit–perlites szövetszerkezete

c) Újrakristályosító lágyítás

Cél: ennek a műveletnek is célja a lehető leglágyabb állapot elérése, de a cél itt kimondottan az alakítási keményedés megszüntetése, illetve a további képlékenyalakíthatóság biztosítása.

A művelet leírása részletesen megtalálható a V. fejezetben.

4.1.5. Feszültségcsökkentő izzítás

Célja: az öntés, melegalakítás, hidegalakítás, forgácsolás, hegesztés, egyengetés során keletkező feszültségek csökkentése.

Ezt az eljárást gyakran nevezik helytelenül feszültségmentesítő izzításnak is. Az anyagban lévő feszültségeket csak csökkenteni lehet, megszüntetni nem lehetséges. A feszültségeket legtöbbször a munkadarab hűtések, hevítések kialakuló hőmérséklet-különbségek okozzák (pl. hegesztés esetén). A hőmérséklet növekedésével a szilárdságuk csökken, képlékenységük nő. A belső feszültségek akkor tudnak feloldódni, ha az anyag folyáshatára adott hőmérsékleten kisebb, mint az anyagban lévő belső feszültségek. A belső feszültség az anyag deformálódására fordítódik és leépül. Ez a hőmérséklet általában 550–650 °C. A hõn tartás ideje 2–4 óra. Ilyen hőkezelés hatására a belső feszültségek 75–90%-ot is csökkenhetnek. A hõn tartás után lassan, egyenletesen kemencében kell hűteni a munkadarabot, nehogy újabb feszültségeket vigyünk be a darabba. A lehűtési sebesség 200 °C-ig 20–40 °C/h, ezután 80–100 °C/h is lehet.

4.1.6. Edzés

Célja: az acél szövetszerkezetének minél nagyobb mértékben martenzitessé tétele a maximális keménység elérésére.

Edzettnek tekintjük az acélt, ha a szövetszerkezetében legalább 50% a martenzit. A szövetszerkezet többi részét az ausztenit egyéb bomlástermékei, bénit, perlit, ferrit (az utóbbi kettő kerülendő), illetve maradék ausztenit alkotja.

Azért, hogy az edzés eredményes legyen, bizonyos feltételeknek teljesülniük kell. Az eredményes edzés feltételei:

- az acél kellő mennyiségű, legalább 0,22% szén (esetleg nitrogént vagy bórt) tartalmazzon oldott állapotban,
- az acél a hűtés kezdete előtt teljesen ausztenites szövetszerkezetű legyen,
- a hűtés sebessége a darab belsejében is nagyobb legyen a kritikus lehűtési sebességnél (legalább a v_{krit} felső és v_{krit} alsó között legyen),
- a hűtés végén ne maradjon vissza jelentősebb mennyiségben ausztenit.

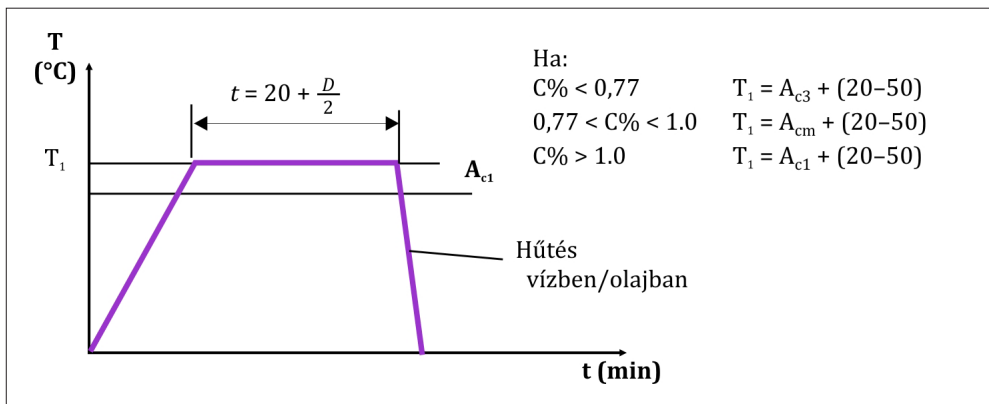
Edzéshez az acélokat az ausztenites mezőbe kell hevíteni, hogy az ausztenit kellő mennyiségű szén tartalmazzon (**4.6. ábra**).

Az edzési hőmérsékleten a hőn tartás ideje az alábbi tapasztalati összefüggéssel számítható.

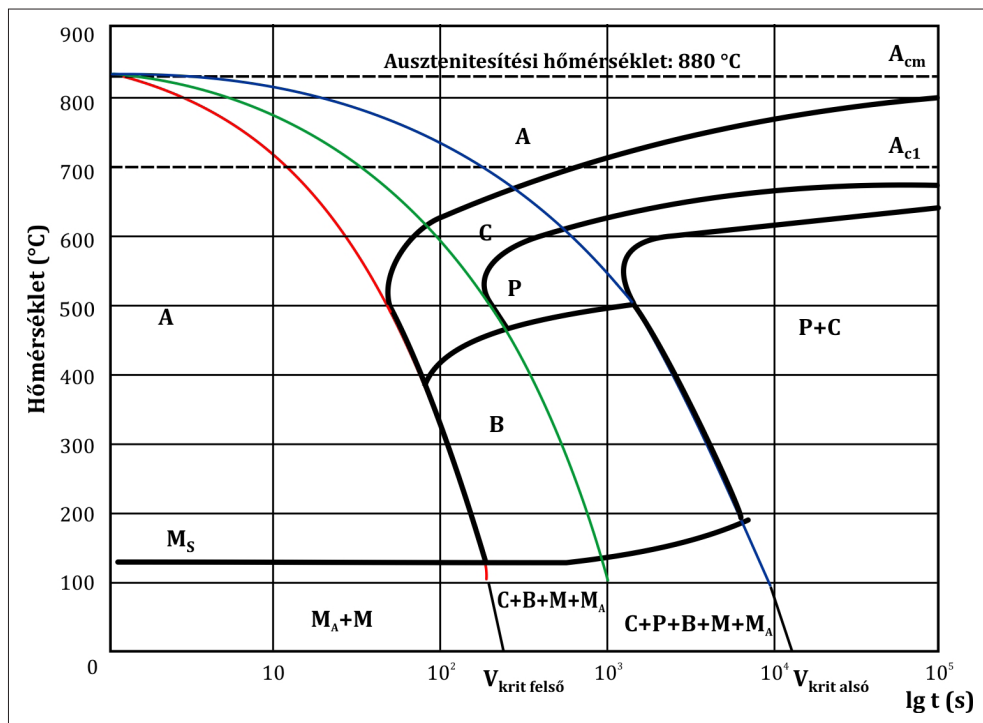
$$t = 20 + D/2 \text{ [min]}$$

ahol: D – jellemző átmérő [mm]

Martenzit csak akkor keletkezik, ha a v_{krit} alsó lehűtési sebességnél gyorsabban hűtjük az ausztenitet. 95–100% martenzit elérésére a lehűtést a v_{krit} felső lehűtésnél gyorsabban kell végezni (**4.7. ábra**).



4.6. ábra. Az acélok edzési hőmérséklete



4.7. ábra. A $v_{krit\ alsó}$ és a $v_{krit\ felső}$ lehűtési sebességek

A kritikus lehűtési sebességek értelmezése:

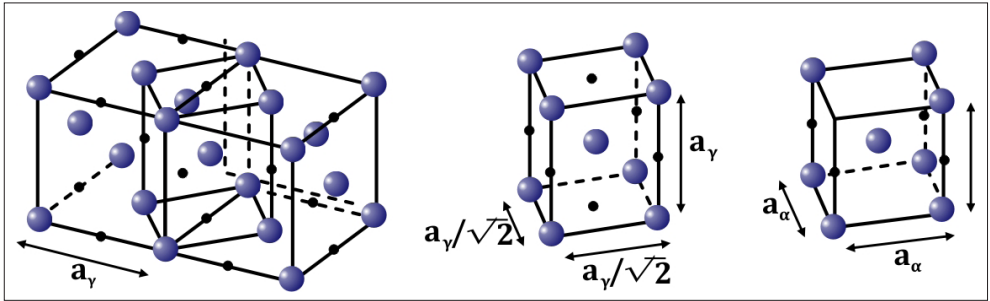
- $v_{kritikus\ alsó}$ lehűtési sebesség az, amelynél nagyobb hűtési sebesség esetén már keletkezik martenzit.
- $v_{kritikus\ felső}$ lehűtési sebesség az, amelynél nagyobb hűtési sebesség esetén már csak martenzit keletkezik.

A gyorsítás miatt az ausztenit lapközepes térrácsából az oldott szén nem tud kiválni, így tetragonálissá torzítja a martenzites átalakulásakor a térben közepessé átalakult rácsot (4.8. ábra).

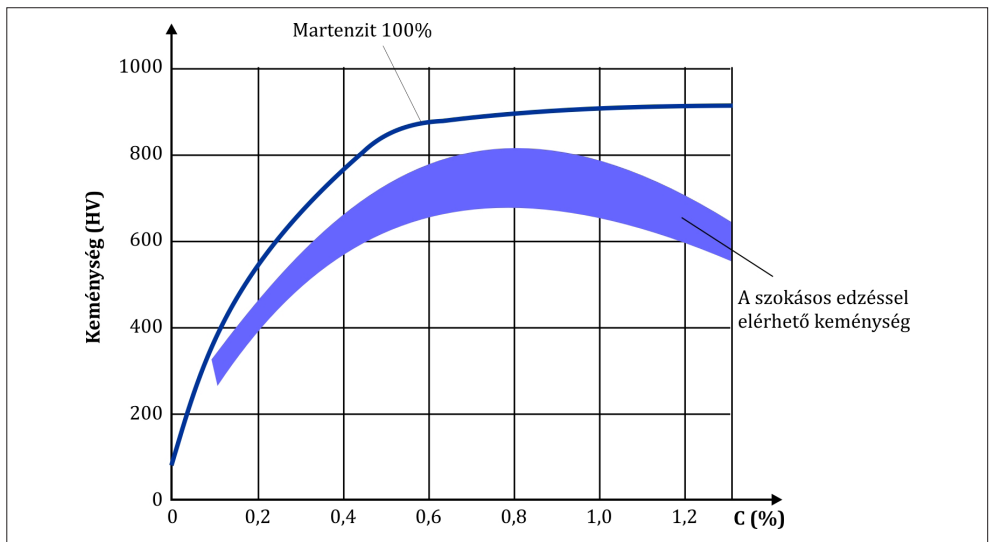
A martenzit keménységét elsősorban a szén okozza. Minél nagyobb mennyiségű a szén, annál nagyobb lesz a martenzit keménysége (4.9. ábra). A tús martenzit szövetképét a 4.10. ábrán mutatjuk be.

A gyakorlatban használatos edző hatású hűtőközegeket az alábbiakban adjuk meg a hűtési erélyességük sorrendjében:

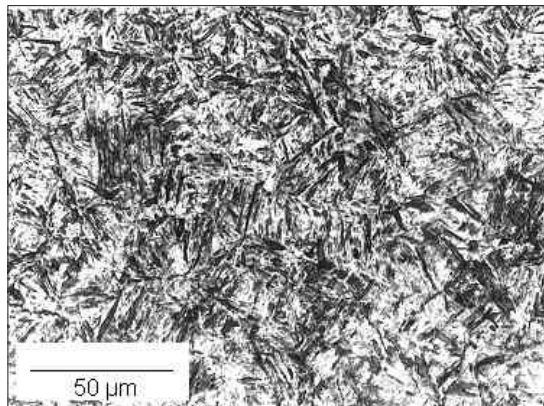
- 2–10%-os sós vagy lúgos víz,
- 15–20 °C-os hűtővíz (ipari víz),



4.8. ábra. Martenzites rácsátalakulás



4.9. ábra. Martenzit keménysége a szénttartalom függvényében



4.10. ábra. Tűs martenzit

- műanyagbázisú hűtőközegek, amelyek hűtőképessége az adalékanyag mennyiségének függvényében a víz és olaj közt beállítható, pl.: Osminol, Aqua-Plast, Aqua-Tensid stb.,
- edzőolaj (EA20, EA40, EA60, EA100, Niral 238, Niral 268),
- só- vagy fémfürdő,
- fúvott levegő,
- nyugvó levegő.

4.1.7. Megeresztés

Célja: az edzéskor keletkező feszültségek csökkentése (kis hőmérsékletű megeresztés), a szívósság fokozása még keménységcsökkenés árán is (nagy hőmérsékletű megeresztés, lásd nemesítés).

Egy látszólagos cél, hogy megeresztéssel az edzési keménységet akarjuk csökkenteni. A legfontosabb a rideg edzett acél szívósságának a fokozása. Ezt viszont csak keménységcsökkentés árán érhetjük el. A nagy karbontartalmú edzett acél nagy belső feszültségekkel terhelt, így minél hamarabb – lehetőleg közvetlenül az edzés után – meg kell eresztetni. Az edzést követő várakozás alatt megnő a darab repedésének a veszélye.

A megeresztés hőmérséklete A_1 alatt van (**4.1. ábra**), amelyre az edzett darabokat lassan szabad felhevíteni. Ezen hőmérséklet alatt szokás két tartományt megkülönböztetni.

a) **Kis hőmérsékletű megeresztés** (100–300 °C). Célja az edzéskor keletkező feszültségek csökkentése az edzési keménység megtartása mellett. Ilyen hőmérsékletű megeresztés hatására az edzési keménység nem vagy alig változik.

Alkalmazási területe:

- Ötvözetlen szerszámacélok megeresztése.
- Hidegalakító szerszámacélok megeresztése.
- Betétben edzhető acélok hőkezelésének utolsó befejező művelete.
- Felületen edzett acélok megeresztése.

b) **Nagy hőmérsékletű megeresztés** (400–700 °C). Célja a feszültségcsökkentés mellett a szívósság fokozása. A keménységcsökkenés jelentős, a martenzit megbontásával finom karbideloszlás és jelentős szívósság érhető el. A keménységcsökkenés elérheti a 10–30 HRC-t is.

Alkalmazási területe:

- Elsősorban nemesítésnél, mikor szívós szferoidites szövetszerkezetet akarunk létrehozni.

- Melegalakító szerszámacélok hőkezelése.
- Rugóacélok megeresztése.
- Gyorsacélok megeresztése.

A megeresztés esetén a hőn tartás ideje általában 1–2 óra. A megeresztés után általában lassú, levegőn való hűtést alkalmazunk, de a megeresztési ridegségre hajlamos acélokat (Cr-mal, Mn-nal ötvözötteket) gyorsan, olajban kell lehűteni.

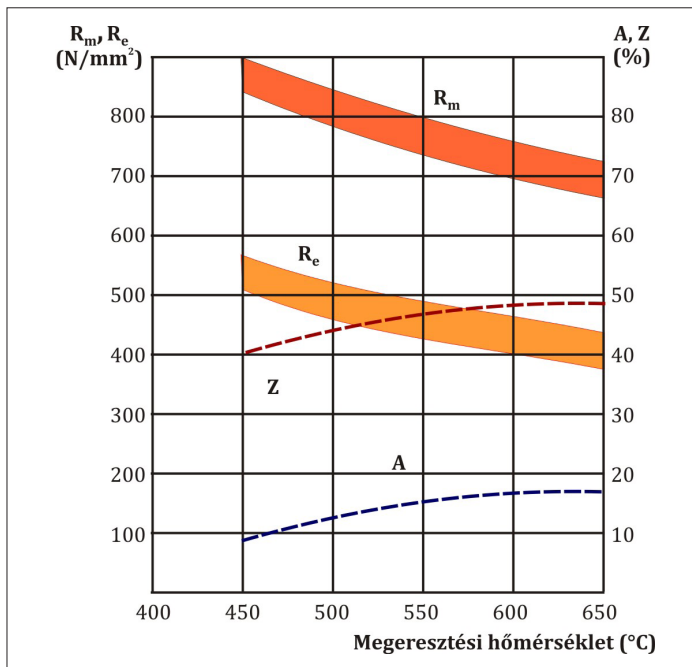
4.1.8. Nemesítés

A nemesítés célja: nagy szakítószilárdságú, de szívós, nagy kifáradási határú szferoidites szövetszerkezet előállítása.

A nemesítés tulajdonképpen egy edzésből és azt követő magas hőmérsékletű (400–650 °C) megeresztésből álló hőkezelési technológia.

Mindkét művelettel részletesen foglalkoztunk az előző fejezetben, így arra nem térünk ki. A nemesíthető acélok széntartalma 0,2 és 0,6% között van, így edzési hőmérsékletük az $A_3 + (20-50 \text{ °C})$.

Megeresztés hatására a mechanikai tulajdonságok csökkennek (szakítószilárdság, keménység stb.), míg a képlékenységi jellemzők (nyúlás, ütőmunka stb.) nőnek (4.11. ábra).



4.11. ábra. C45 acél megeresztési diagramja

4.2. Felületi edzések

Felületi edzések során az acél összetételét nem változtatjuk meg. Edzhető (min. 0,3% C) acél felületén gyors hevítéssel, hűtéssel egy vékony, kemény, kopásálló kérget hozunk létre.

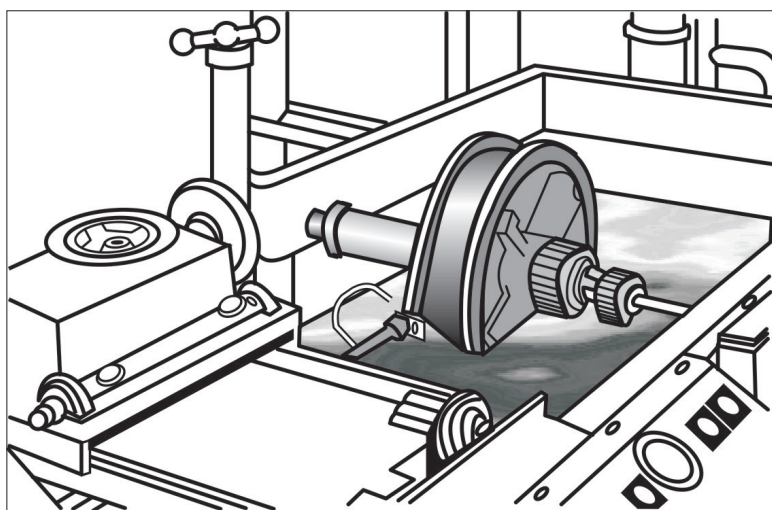
4.2.1. Mártóedzés

Mártóedzés során az edzési hőmérsékletnél jóval magasabb (1100–1200 °C) hőmérsékletű fém- vagy sófürdőbe rövid ideig bemártjuk a kérgesítendő munkadarabot, majd gyorshűtéssel eddük. A paraméterek meghatározása és betartása nagy tapasztalatot követel.

4.2.2. Lángedzés

Lángedzésnél a felületi réteg gyors felhevítése oxigén és valamilyen éghető gáz (legtöbbször acetilén) keverékével történik. A láng hőmérséklete a 3000–3200 °C-ot is eléri. Lángedzéssel az alkalmazott paraméterektől, égőtelijesítménytől függően az edzett kéreg vastagsága 2–5 mm.

Az egyszerű, gyors és olcsó lángedzés annál gazdaságosabb, minél kisebb az edzendő felület az összfelülethez képest. Tömeggyártás esetén a munkafolyamatba kell a berendezést integrálni, ezzel megtakarítható a felesleges szállítás a hőkezelő üzem és a megmunkálóműhelyek között. Az állandóan üzemkés állapotban levő lángedzőgép (4.12 ábra) gyakran a nem teljesen kihasznált hőkezelő kemence helyébe lép. A berendezés üzembe helyezése gyors, mert nem



4.12. ábra. Lángedzőgép vázlat

kell felfűteni, mint pl. a kemencét. Lángedzéshez általában acetilént, ritkábban metánt, propánt vagy világítógázt használnak.

Lángedzési eljárások. Az égők, illetve az edzendő darab mozgatása alapján két eljárást különböztetünk meg:

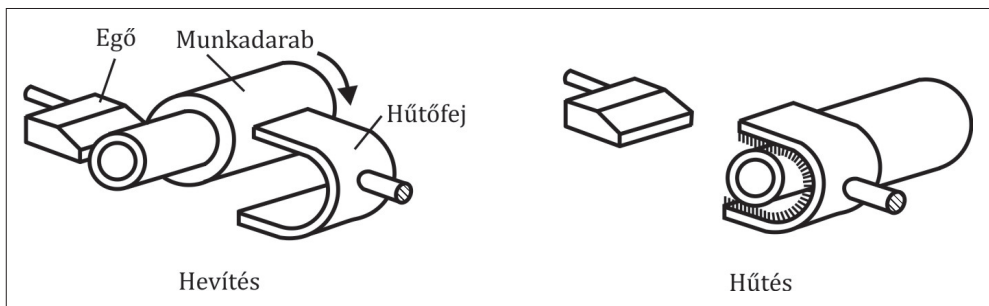
a) Szakaszos lángedzés

Az edzendő felületet első lépésben felhevítjük az edzési hőmérsékletre, majd a következő lépésben az egész felületét edző hatású hűtésnek tesszük ki.

Szakaszos lángedzés esetén a hevítés és hűtés szakaszosan követi egymást. Először az egész felületet felhevítik az edzési hőmérsékletre, majd ezután kezdődik a hűtés.

A forgó szakaszos (gyorsforgásos) lángedzés folyamán a munkadarab állandó sebességgel forog a hevítés és a hűtés alatt is. Az égő hossza megegyezik az edzendő csap hosszával (4.13. ábra). Az eljárás előnye, hogy a keménység és a rétegvastagság egyenletes. A munkadarab forgási sebességét úgy kell meghatározni, hogy a forgó csapok kerületi sebessége 10–25 m/min legyen. A hevítési idő a csap átmérőjétől függ. Forgó, szakaszos lángedzéshez több égő is alkalmazható, egymástól 180°, illetve 120°-ra. Ezáltal – a növekvő hőteljesítmény következtében – csökken a hevítés ideje, nő a termelékenység, kisebb az energiafogyasztás. Kisebb az edzés következtében keletkező vetemedés és a revésedés lehetősége is.

A többégős megoldás hátrányai: a berendezés bonyolultabb, vékonyabb az edzett réteg a fokozottabb hőtorlódás következtében, éleesebb az átmenet a kérég és a mag között. Darukerekekhez pl. 4–8–12–16 égőfejes melegítő berendezést használnak, miáltal a felület keménysége egyenletesebb, és a réteg sokkal mélyebb, mint egyégős edzés esetén.



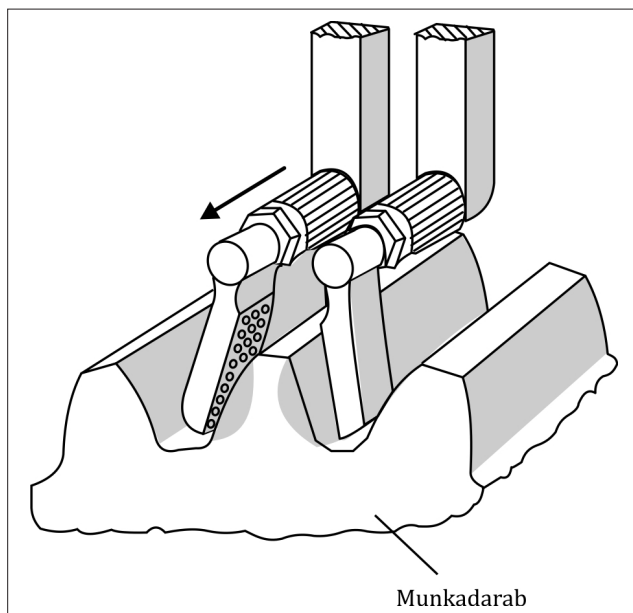
4.13. ábra. Forgószakaszos edzés

b) Folyamatos lángedzés

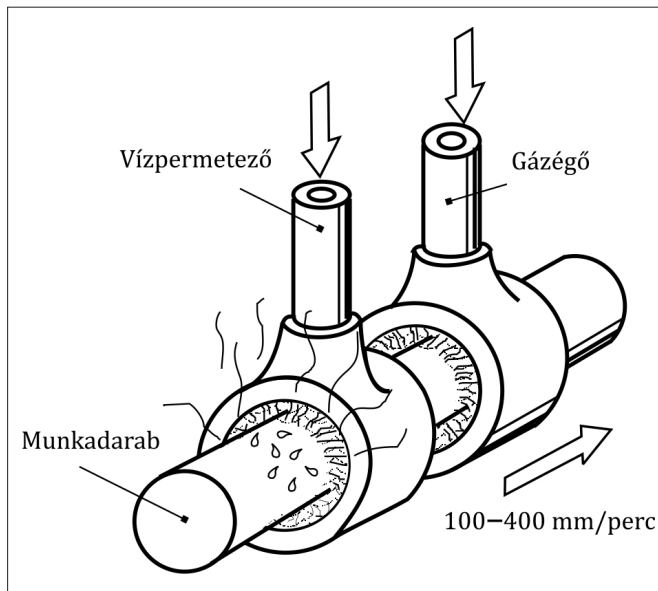
Folyamatos lángedzéskor a láng vagy a lángsor egyszer halad el a melegítendő felület előtt (vagy a felület halad el a láng előtt). A felhevített sávot minden esetben folyamatosan hűtik. Tehát a hevítést és hűtést egy műveletben végzik.

Előtolásos (síklap-) edzés (4.14. ábra) esetén az égő és hűtőfej szélessége a munkadarabbal azonos. Vagy az égő- és ezt követően a hűtőfej halad el a munkadarab felett, vagy a munkadarabot mozgatják az égő- és hűtőfej alatt. A hűtőfej mindenképpen az égőfejet követi úgy, hogy csak egy vékony edzett réteg keletkezzék. Az előtolás nagyságát (5–15 cm/min) úgy állapítják meg, hogy a láng által felmelegített sáv felvegye az edzési hőmérsékletet. Az elérendő rétegvastagság szempontjából fontos az égőfej és hűtőfej közötti távolság. Az edzett réteg ugyanis annál vékonyabb, minél nagyobb az égők hőteljesítménye, az előtolás sebessége, és minél kisebb az égő- és hűtőfej közötti távolság.

Forgó előtolásos edzés során a munkadarab a saját tengelye körül forog, az égő- és a hűtőfej pedig a hengeres munkadarab alkotója mentén haladó mozgást végez. A két mozgás eredőjeképpen a láng csigavonalszerűen halad végig a felületen. Főleg kis átmérőjű, hosszú forgástestek edzésére (4.15. ábra) alkalmas, ezek ugyanis egyfordulatos folyamatos vagy forgó, szakaszos lángedzéssel nem kérgesíthetők.



4.14. ábra. Előtolásos edzés



4.15. ábra. Folyamatos lángedzés

Az edzendő felület egy részét melegítjük, az égő folyamatosan halad tovább, és a már edzési hőmérsékletre felhevített kérget az égőt követő hűtőfejek azonnal hűtik (4.15. ábra).

A jól lángedzhető acélok széntartalma 0,3–0,7% közötti. Ha a széntartalom ettől eltér, fokozott körültekintéssel kell ezen acélok lángedzését megtervezni.

Az edzett kéreg vastagsága sok paramétertől függ, nehéz reprodukálni. Az eljárás egyszerű, olcsó, kisebb sorozatú darabok kérgesítésére alkalmas. Nagyobb méretű darabok esetén (vasúti járművek futókerekei, darukerekek) általában csak a lángedzés jöhet szóba.

A kéregedzett darabokat edzés után célszerű 150–200 °C-on megereszteni.

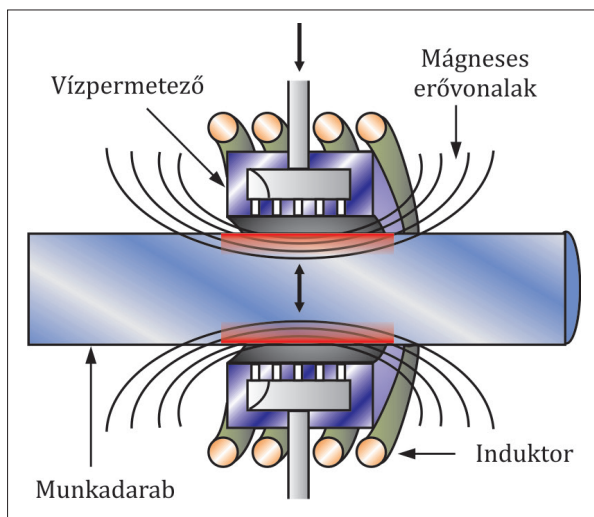
4.2.3. Indukciós edzés

Az indukciós felületi edzés (4.16. ábra) célja gépelemek felületi keménységének és ezáltal a kopásállóságának, kifáradási határának növelése úgy, hogy a magjuk szívós maradjon. Az acél felületi rétegének igen nagy sebességű felhevítése jellemzi az eljárást.

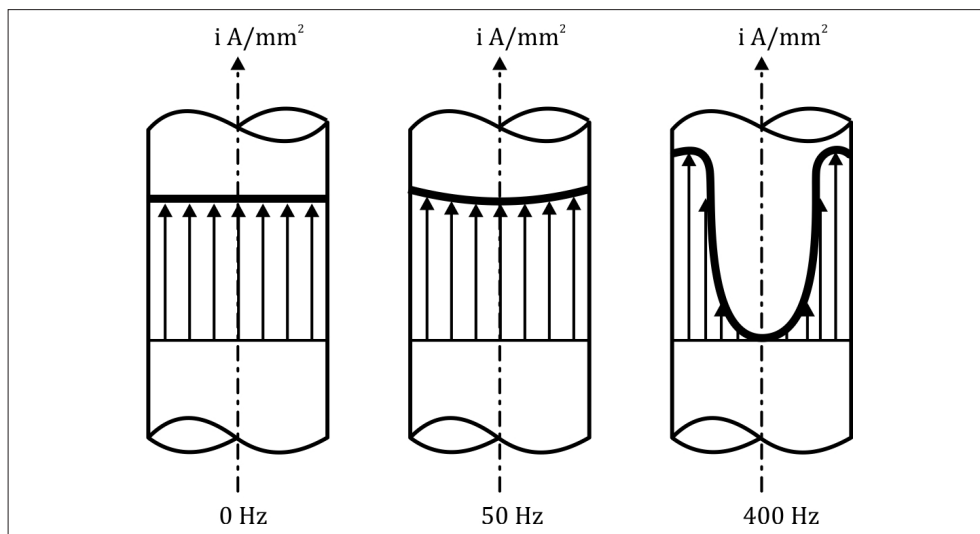
A hevítés elve: ha egy váltakozó árammal átjárt tekercsbe villamosan vezető fémet helyezünk, a mágneses erőter hatására a fémbe örvényáram keletkezik. Ez az örvényáram a fémbe annak ellenállásán áthaladva Joule-hőt termel, ami

felmelegíti a fémet. Ha ez a fém mágnesezhető, akkor az átmágnesezési veszteség is hőt fejleszt, gyorsítja a felmelegedést.

A vezetőkben folyó áram eloszlása függ a frekvenciától. Míg egyenáram esetén az áramsűrűség egyenletes a vezetőkben, a frekvencia növekedésével az áram egyre inkább kiszorul a vezető felületére. 400 kHz esetén az áram jelentős része a felülettől 1 mm-en belüli rétegben folyik. Ez a „bőreffektus” (4.17. ábra).



4.16. ábra. Indukciós edzés vázlatja



4.17. ábra. Áramsűrűség eloszlása vezetőkben

A Maxwell-egyenletekből levezethető, hogy az árameloszlás a vezetőben nagy frekvencia esetén exponenciálisan változik (**4.18. ábra**).

Így a felülettől x távolságra az áramsűrűség:

$$i_x = i_0 \cdot e^{-\frac{x}{\delta}}$$

ahol

i_0 – felületi áramsűrűség (A/mm²), ha $x = 0$

δ – behatolási mélység (mm).

Értelmezve a behatolási mélységet, látható, hogy távolság jellegű tényező.

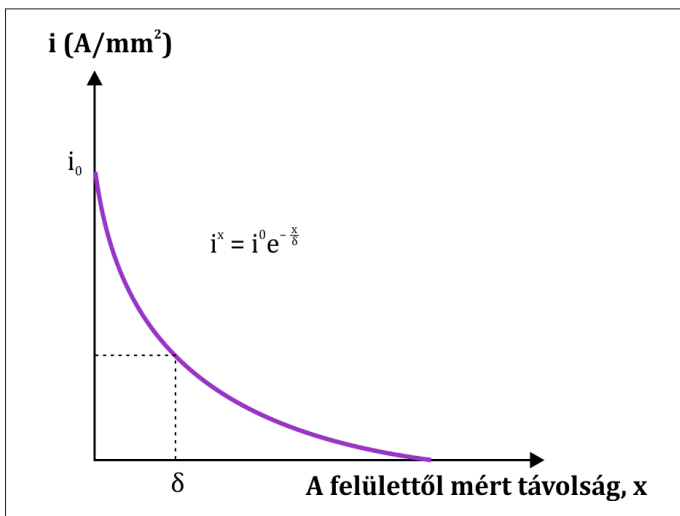
Nézzük meg, hogy a felülettől δ távolságban mekkora az áramsűrűség!

Tehát legyen $x = \delta$. Így:

$$i_\delta = i_0 \cdot e^{-\frac{\delta}{\delta}} = i_0 \cdot e^{-1} = \frac{i_0}{e} = 0,368 \cdot i_0$$

Vagyis a felülettől δ távolságban a felületi áramsűrűség 0,368-szorosa folyik. Így a behatolási mélység: a felülettől mért azon távolság, ahol a felületi áramsűrűség e -ad részére csökken. A Maxwell-egyenletek megoldásával a δ -re kapjuk:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot f \cdot \mu}}$$



4.18. ábra. Az áramsűrűség eloszlása a vezetőben

ahol:

ρ – a munkadarab fajlagos villamos ellenállása $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$;

f – az alkalmazott frekvencia Hz;

μ – mágneses permeabilitás;

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

μ_0 – légüres tér mágneses permeabilitása, értéke ismert;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ V} \cdot \text{s}/\text{A} \cdot \text{m}$$

μ_r – a munkadarab relatív mágneses permeabilitása.

Színvasra $\mu_r = 5600$, acélokra az ötvözőktől és szennyezőktől függően 100–200–400 az értéke.

Az előző összefüggésbe μ helyére μ_0 értéket és μ_r -t helyettesítve:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{4\pi^2 \cdot 10^{-7} \cdot \mu_r \cdot f}} = \frac{\sqrt{10^7}}{503} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}}$$

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}} \quad [\text{mm}]$$

A fenti összefüggésből látható, hogy a behatolási mélység függ a ρ -tól és μ_r -től, amelyek a hőkezelendő anyag jellemzői, így adottak. Változtatási lehetőség egyedül a frekvenciában van, amelyet mi választunk meg. A frekvenciát úgy kell megválasztani, hogy a D/δ viszony nagyobb legyen 3,5-nél. A viszonyszám növelésével nő a hevítés gazdaságossága.

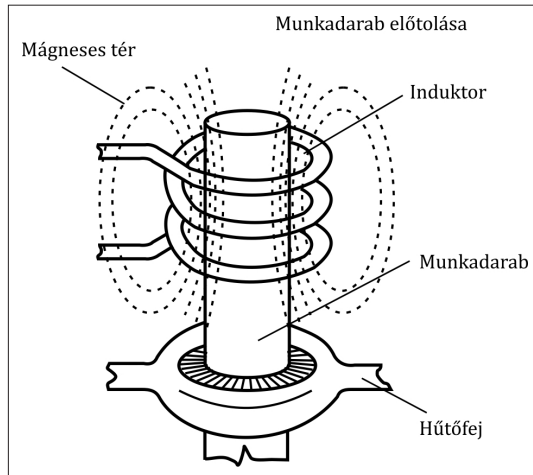
Ha a frekvencia 400 kHz, a behatolási mélység $\delta = 0,87 \text{ mm}$ 800 °C-on.

Az indukciós edzés kivitelezését tekintve lehet szakaszos edzés, illetve folyamatos edzés. Szakaszos indukciós edzést kisebb munkadarabok esetén használnak, amikor az első lépésben csak melegítés van, míg a második lépésben csak hűtés. Egy hengeres darab folyamatos indukciós edzését mutatja be a **4.19. ábra**.

Indukciós edzésre leginkább a 0,4–0,6% széntartalmú nemesíthető acélok alkalmasak. Kérgesítés előtt az alkatrészt nemesíteni kell. Indukciós edzés után egy kis hőmérsékletű megeresztés (150–200 °C) ajánlott.

Az eljárást elsősorban forgástestek, csapszegek, tengelyek (bordás, bütykös, forgattyús), fogaskerekek, gépjárművek különböző kopásnak kitett elemei (szelepvég, szelepfészek, kormánygömbfej stb.) felületi kérgének edzésére alkalmazzák (**4.20. ábra**).

Hátránya az eljárásnak a nagy beruházásigénye.



4.19. ábra. Folyamatos indukciós edzés ábrája



4.20. ábra. Folyamatos indukciós edzés
(Forrás: <https://esztergakeskft.hu/hokezeles-2/>)

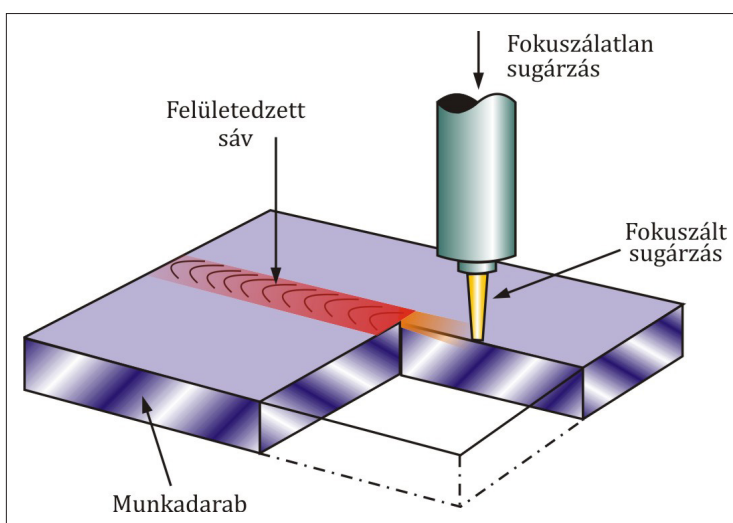
4.2.4. Lézeres edzés

A felületi edzési eljárásoknál intenzív a hőbevitel (4.21. ábra). Míg kamrás kemencében $0,1 \text{ W/mm}^2$ a fajlagos hőbevitel, lángedzés során 10 W/mm^2 , indukciós edzésnél 100 W/mm^2 , lézeres edzési eljárásnál 109 W/mm^2 . Ez az igen intenzív hőbevitel lehetővé teszi igen vékony ($0,1\text{--}0,2 \text{ mm}$) kérgék létrehozását.

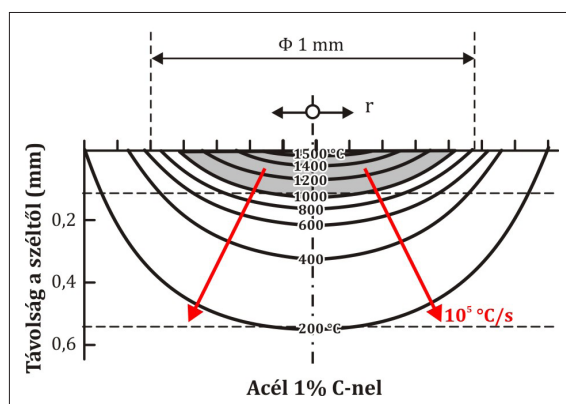
A lézeres edzés technológiája lehet pontszerű, amikor a felületen adott távolságban impulzusokkal keményre edzett pontokat hozunk létre, illetve lehet folyamatos üzemi pásztázó.

A pontszerű edzés esetén a **4.22. ábrán** mutatjuk be egy impulzus hatását az anyagra (impulzusedzés). Mint az ábrán látható, az egy impulzussal 11,1 ms alatt 200 W/mm^2 hőbevitel történt, amely hatására az anyag egy kisebb felületen közel jutott az olvadáspontjához, valamint egy közel 1 mm átmérőjű lencseszerű térfogatban a hőmérséklet meghaladta az edzéshez szükséges értéket.

A lézersugárral felhevített lencseszerű térfogat igen gyorsan hűl, elérheti a 10^5 °C/s -os sebességet is. Ezt a hűtőhatást a nagy tömegű hideg munkadarab hőelvonása biztosítja. Ennek következtében a lencseszerű térfogat teljes egészében martenzitessé alakul.



4.21. ábra. Lézeres edzés (Forrás: MTF8, 112 old.)



4.22. ábra. Pontszerű lézeres edzés nyomán kialakuló izotermák a hevítés befejezésekor

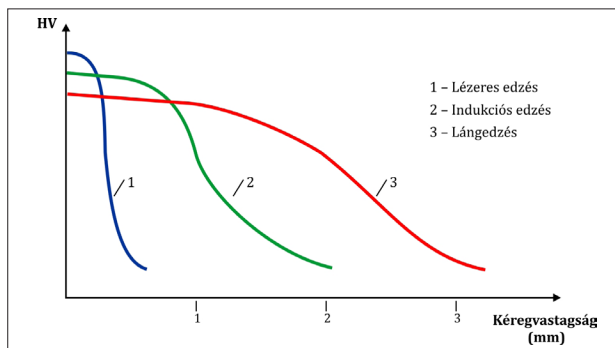
A lézeres felületi edzés előnyei:

- minimális hőbevitel szükséges,
- vékony, kis kiterjedésű a hőzóna, nincs elhúzódás, deformáció, kész munkadarab is hőkezelhető,
- nem kell külön hűtőközeget biztosítani,
- kis szénttartalmú acélok is szinte 100%-ban martenzitessé edzhetők a gyorsítás következtében,
- a technológiai adatok jól kézben tarthatók, az eljárás jól reprodukálható,
- bonyolult alakú munkadarabok is jobban megközelíthetők lézersugárral.

Az eljárás hátránya, hogy túl drága a berendezés. A felületi edzés csak akkor lehet gazdaságos lézerrel, ha azt más, hagyományos módszerekkel nem vagy csak káros kompromisszumok árán lehet megvalósítani. Figyelembe kell venni azt is, hogy a lézersugár célszerűen formált, de geometriailag jól meghatározott foltja vándorol a kezelendő felszínen, tehát összefüggő homogén hőkezelt réteg többnyire nem érhető el. Az alkatrész szempontjából ez előny is lehet ott, ahol a hagyományos eljárás nem tudott szelektív, azaz csak az érintkező sávokra kiterjedő kezelést biztosítani, elkerülve például a sarkok beedződését. Az egymás mellett futó, lézerrel edzett sávok között mindig van valamilyen mértékben megeresztődött rész. Megfelelő tükrökkel vagy tükrözéssel lehet elérni azt, hogy a hőkezelés egy széles sáv vagy gyűrű stb. alakú felületen egyszerre történjék meg. A kis hőbevitel a munkadarab vetemedési veszélyét csökkenti.

A lézeres felületi edzés jellemző alkalmazási területe gépjárművek kopásnak kitett alkatrészei.

A különböző felületi edzési eljárásokat összehasonlítva a lézeres edzéssel biztosítható a legvékonyabb kéreg. Az indukciós edzés esetén vastagabb, de legvastagabb kéreg lángedzésnél keletkezik (4.23. ábra).



4.23. ábra. Felületi edzések jellemző kéregvastagsága

4.3. Termokémiai hőkezelések

Egyes alkatrészek felhasználása során kopásnak és dinamikus igénybevételnek vannak kitéve. A dinamikus igénybevétel csak kis széntartalmú acélokkal biztosítható. Ezek viszont hőkezelt állapotban kis keménységűek, nem kopásállóak. A kopásállóság biztosítása végett a felületük összetételét meg kell változtatni, hogy nagyobb keménység legyen elérhető.

A termokémiai hőkezelések során olyan elemeket diffundáltatunk be a felületbe – leggyakrabban karbont és nitrogént, ritkábban bórt, krómot, szilíciumot –, amelyek a kéreg összetételének megváltoztatásával számunkra kedvező tulajdonságokat biztosítanak.

A kéreg vastagsága jellemzően 0,1–2 mm, de karbonitridálásnál csak 20 μm .

A művelethez olyan közegbe kell helyezni a munkadarabot, amely közeg a felülettel kölcsönhatásba lépve feldúsítja azt.

A felületi ötvözés lépései:

- A munkadarabot körülvevő közegben atomos állapotú elemet kell biztosítani. Ez a közegből felszabaduló gázok disszociációjával érhető el.
- Az atomos állapotú elemnek meg kell tapadnia a munkadarab felületén, ez idegen szóval az adszorpció.
- Az elemnek a felületi rétegbe kell jutnia, amely diffúzióval lehetséges; ezt az elnyelődési folyamatot nevezik idegen szóval abszorpciónak.

A fentiek megvalósítása miatt a termokémiailag hőkezelendő munkadarabokat hőkezelés előtt szigorúan zsírtalanítani, tisztítani szükséges!

A termokémiai eljárásokat a bejuttatandó elemek alapján nevezték el. Ezek szerint a leggyakrabban ismertek:

C-diffúzióval	cementálás
N-diffúzióval	nitridálás
C- és N-diffúzióval	nitrocementálás, karbonitridálás
B-diffúzióval	boridálás
Cr-diffúzióval	kromálás
Al-diffúzióval	alitálás
S-diffúzióval	szulfidálás
S- és N-diffúzióval	szulfonitridálás

4.3.1. Betétedzés

A betétedzés egy több műveletből álló hőkezelés. Első lépés a cementálás, amely során a felületi kérget edzhetővé tesszük, majd ezt követi legalább egy edzés, majd megeresztés.

A betétedzés célja: szívós magon kemény, kopásálló, nagy kifáradási határú kéreg létrehozása. Betétedzéshez kis széntartalmú anyagokat választunk, amelyek biztosítják a szívós magot. A széntartalom kisebb, mint 0,2%, így ezek az acélok igen szívósak, de nem edzhetők. Ha ezen acélok felületébe bediffundáltatjuk a szenet, és megnöveljük a felületi réteg széntartalmát 0,8-1%-ra, a felület edzhetővé válik, így létrehozható rajta a nagy felületi keménység.

4.3.1.1. Cementálás

Célja: a felületi réteg széntartalmának növelése diffúzió révén.

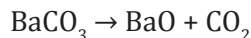
A cementálás technológia paraméterei:

- A cementálás hőmérséklet-tartománya: $A_{c_3} + (50-150 \text{ °C})$, ált. 880–940 °C;
- A cementálás időtartama: 2–4–6–10 óra, függ az elérendő kéregvastagságtól;
- A cementálandó réteg vastagsága: 0,3–2 mm;
- A cementált kéreg széntartalma: 0,6–1,0%;
- A cementált kéreg növekedési üteme:
 - szilárd közegben: 0,1–0,2 mm/h;
 - gázközegben: 0,15–0,4 mm/h;
 - sófürdőben: 0,2–0,3 mm/h;
- A kéreg keménysége edzés után: 60–64 HRC, 700–800 HV.

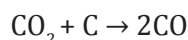
I. A szilárd közegben történő cementálás régóta használatos technológia. Ma már csak kisebb üzemekben egyedi darabok cementálására használják. A cementáló közeg 5–10 mm szemcsenagyságú faszén + gyorsítószer. Gyorsítószer általában $BaCO_3$, esetleg $CaCO_3$, amelyeket 5–10%-ban adagolnak a faszénhez. A karbonátok bomlása során CO_2 -gáz keletkezik, amely aktívan részt vesz a szén munkadarab felületéhez történő szállításában.

Lejátszódó folyamatok:

400–500 °C felett elkezdődik a karbonátok bomlása



A cementálás hőmérsékletén a Boudoárd-reakció értelmében szén jelenlétében 80–95% CO és 5–20% CO_2 tart egymással egyensúlyt, így az előzőekben keletkezett CO_2 a faszénből szenet vesz fel, és átalakul szén-monoxiddá:

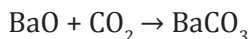


A szén-monoxid a munkadarab felületén leadja a szenet, amely már diffúzióképes:



A CO_2 az előző egyenlet szerint újra felvesz a faszénből szenet, átalakul szén-monoxiddá, ami cementál. A cementálódási folyamat addig tarthat, míg el nem értük a kívánt kéregvastagságot.

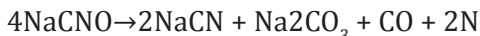
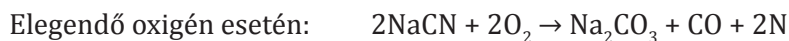
A cementálás befejeztével a dobozt lassan hűtjük le a munkadarabbal, miközben a katalizátor visszaalakul:



A cementálószerbe történő csomagolás megnöveli a munkadarab felmelegítési idejét, energiaigényes. A hőn tartás ideje a cementálás hőmérsékletén így hosszú, kéregvastagságtól függően 6–10 óra is lehet. A kívánt kéregvastagság nehezen kézben tartható.

II. Folyékony közegben történő cementálás általában megolvasztott cianidos sókban történik.

A cianidos sófürdőket használatbavételük előtt be kell járítani. A bejáratás alatt az olvasztott sóba levegőt vezetünk be, hogy a cementálási folyamatokat az alábbiak szerint elindítsuk.



Mindkét folyamat révén CO keletkezett, amely cementál a munkadarab felületén:



A továbbiakban nem szükséges oxigén bevezetése, mert a folyamat az alábbiak szerint önfenntartó lesz: $\text{NaCN} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NaCNO} + \text{CO}$

A cianidtartalmú sófürdőből salétromnitrát-tartalmú termálfürdőben edzeni, hűteni a robbanásveszély miatt tilos.

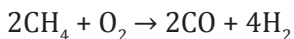
A munkadarab felmelegedése gyors, a cementálás folyamata intenzív. Az eljárás maga olcsó, de mérgező és környezetszennyező hatása miatt alkalmazott kiegészítő pótlólagos beruházások a maradék salak megsemmisítésére megdrágítják az eljárást. Egyre jobban kiszorul a cementáló technológiák sorából.

Ismert egy cianmentes sófürdős cementálás. Az alkalmazott sók $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiC}$. Kezelése sokkal nehezkesebb, a sófürdő tetején szilárd kéreg képződik, amelyet az alkatrészek be-, illetve kirakásánál mindig be kell törni. Nagyon ritkán alkalmazzák.

III. Gázközegű cementálás nagy tömegben cementálandó alkatrészek esetén az egyedüli termelékeny eljárás. Két változatát különböztetjük meg.

a) Endogázban történő cementálás

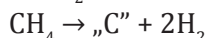
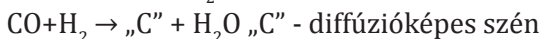
Az endogáz szénhidrogének részleges elégetéséből származó gáz. Az előállítását ún. endogáz-generátorokban végzik, ahol ~ 1000 °C-on vanádium-pentoxid-katalizátor jelenlétében a bevezetett földgázt elbontják. A földgáz égésekor lejátszódó reakció:



A keletkező gázban a reakció során kis mennyiségben előfordulhat vízgőz és oxigén, amelytől meg kell tisztítani. Egy jellemző endogáz összetétele:

20–22% CO, 40–42% H₂, 0,5–1,5% CH₄, 0,1–0,3% CO₂ a maradék N₂.

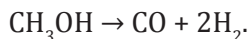
Az endogáz lassan cementál, ezért a cementálási folyamat gyorsítására szénhidrogénekkel dúsítani szokás. A cementáláskor lejátszódó folyamatok három reakcióra vezethetők vissza:



A cementálógáznak jellemző a karbonpotenciálja. A karbonpotenciál a cementálógáznak azon széntartalma, amelybe behelyezve egy ugyanolyan széntartalmú acélt, azt se nem cementálja, se nem dekarbonizálja. A cementálógázok karbonpotenciálja harmatpontmérés alapján vagy oxigénszondával jól szabályozható. Így mindig a kívánt felületi széntartalom biztosítható.

b) Csepegtető eljárás

Ezen eljárások során a 700 °C feletti hőmérsékletű kemencébe folyékony szénhidrogéneket (petróleum, benzol, pirobenzol stb.) csepegtetünk be, amelyek bomlása során alakul ki a cementáló hatású gáz. A folyékony szénhidrogének összetétele változó, így a folyamat nehezen szabályozható. Az utóbbi évtizedekben kezdett elterjedni a metanol + N₂ adagolásával előállított cementáló légkör, ugyanis a metanol bomlása során az endogázhoz hasonló gáz keletkezik az alábbi reakció szerint:



A nitrogéngáz megfelelő adagolásával 20% CO + 40% H₂ + 40% N₂ összetételű gázt kapunk, amely még metán vagy propán-bután gáz adagolásával dúsítható.

A gázcementálás előnyei:

- az eljárás nagyon jól szabályozható, számítógépes szabályozással az előre megtervezett karbonlefutás biztosítható,
- tömegáru cementálására alkalmas,

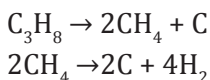
– a cementálandó darabok mérete nem korlátozott.

Hátránya:

- beruházásigényesebb eljárás az előzőeknél,
- az alkalmazott gáz robbanásveszélyes.

c) Kisnyomású (vákuum) cementálás

A kisnyomású cementálás 10–100 Pa nyomású cementálás hőmérsékletére felhevített kemencében 960–970 °C-on történik. A cementáló gáz propán. Az aktív megtapadni képes C-atomok az alábbi folyamattal képződnek:



A folyamat alapján tehát egy propánmolekulából 3 aktív C-atom képződik.

A cementálási folyamat alapvetően két szakaszból áll. Az első szakaszban nagy karbonpotenciál mellett a felület túltelődik szénben, majd a második, ún. diffúziós szakaszban kisebb karbonpotenciál mellett a kéreg diffúzióval vastagszik. A szakaszok ismétlésével igen rövid, 2–3 óra kezelési idő alatt 0,3–0,9 mm kéregvastagság érhető el.

d) Cementálást követő hőkezelések

A cementált munkadarabok magjának széntartalma kisebb 0,23%-nál, míg a felület széntartalma 0,8–1,0% körüli. Az eltérő széntartalmú részek különböző edzési hőmérsékleteket igényelnek. A szemcsedurvulásra hajlamos acélok esetén ún. kettős edzést alkalmaztak, amelynek a célja a cementálás során eldurvult szemcseszerkezet (nagy hőmérsékleten hosszú hűtést tartás alatt) finomítása. Ebben az esetben először történik egy magedzés magasabb hőmérsékletről, majd egy kéregedzés alacsonyabb hőmérsékletről. A műveletet minden esetben egy alacsony hőmérsékletű megeresztéssel (150–180 °C) kell zárni.

Szemcsedurvulásra nem hajlamos acéloknál (amelyek egyre inkább elterjedtek) elegendő egy kéregedzést és megeresztést végezni. Esetenként közvetlen edzés (közvetlen hűtés) is végezhető a cementálás után úgy, hogy a cementálás hőmérsékletéről visszahűtjük a munkadarabokat a kéregedzés hőmérsékletére.

4.3.2. Nitridálás

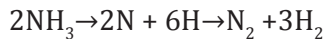
A nitridálás célja szintén a kemény kopásálló kéreg biztosítása a munkadarab felületén. Az eljárás alkalmazható szerkezeti acélokon és szerszámacélokon is. Fontos, hogy a nitridálandó acél olyan ötvözőket tartalmazzon, amelyek a bediffundált nitrogénnel kemény kopásálló nitrideket képeznek. Ilyen ötvözők,

pl. a Cr, Al, Mo, V. A nitridálás előtt a munkadarabokat nemesíteni kell, amivel a kellő magzilárdságot biztosítjuk. A nemesítés során a megeresztés hőmérsékletének 10–30 °C-kal magasabbnak kell lennie, mint a nitridálás hőmérsékletének.

A nitridálás technológiai paraméterei:

- Hőmérséklete: 500–580 °C;
- Hőn tartás ideje kéregvastagságtól függően: (1–2)–10–30–(50) h;
- Kéregvastagság: 0,1–0,6 mm;
- Kéregkeménység: 700–1100 HV10, 64–67 HRC;
- Közegei: szilárd, folyékony és gáz.

A gázközegű nitridálás bontott ammóniában történik. Az ammónia 400 °C felett az alábbi egyenlet szerint disszociál:



Az atomos nitrogén néhány másodperc után átalakul molekuláris nitrogénné. A bomlás során keletkezett nitrogén egy része megtapad az acél felületén és bediffundál a munkadarabba. A nitridálás mértéke függ az időegység alatt elbomlott ammónia mennyiségétől. Ezt a disszociációs fok fejezi ki. Disszociációs fok: az időegység alatt elbomlott ammónia mennyisége a bevezetett ammóniához képest százalékban kifejezve. A kellő disszociációs fok fenntartásához az ammóniát folyamatosan adagolni kell.

Az ammónia bomlása során a keletkező gáz 75%-a hidrogén, amely tág határok közt keveredve a levegővel robbanásveszélyes. Ezért a zárt terű kemencét a gázbeadagolás elkezdése előtt, illetve befejezésekor alaposan öblíteni kell semleges gázzal, pl. nitrogénnel. Az ammónia nedvessége nitridáláskor problémát okoz, ezért a nedvességtartalmát el kell távolítani.

Plazmanitridálás

A plazmanitridálást az 1950-es évektől kezdték alkalmazni. A plazmaállapotot kisnyomású (0,0004–0,013 bar) kamrában hozzák létre, ahová ammóniát vezetnek be. A kamrában a munkadarab a katód, míg a kamra fala az anód. Az alkalmazott feszültség 100–2000 V, míg az áramerősség a munkadarab felületétől függ, akár 50–150 A is lehet. A munkadarabok 350–550 °C-ra történő felmelegedését a munkadarabba csapódó ionok által leadott energia biztosítja (4.24. ábra).

A nitridálási eljárások előnyei:

- A nitridált kéreg keményebb, mint a martenzit, és lényegesen kopásállóbb.



4.24. ábra. Munkadarabok plazmanitridálás közben. (Forrás: <http://www.innopress.hu/index.php/technologiak/8-technologiak/18-plazmanitridalas>)

- A nitridált kéreg keménységét, kopásállóságát mintegy 500 °C-ig megőrzi.
- Az alacsony hőmérsékletű nitridálás gyakorlatilag nem okoz a munkadarabban elhúzódadást, vetemedést.
- A finomszemcsés szferoidites szövetszerkezet nitridálás után is megmarad.
- A nitridált kéreg gyengén korrózióálló.

A nitridálás hátrányai:

- A hosszú idejű nitridálási eljárás költséges.
- A sófürdős nitridálásnál alkalmazott só mérgező, környezetszennyező.
- A gáznitridálás robbanásveszélyes.
- Gáznitridálásnál képződő ún. γ' -nitrid kemény, rideg lepattogzásra hajlamos.

4.3.3. Karbonitridálás, nitrocementálás

Ezen termokémiai eljárások során a felületbe egyszerre juttatunk be C-t és N-t, az acélok felülete egyidejűleg mindkét elemmel dúsítható. Az alkalmazott hőmérséklettől függően különböztetjük meg az eljárásokat.

A nitrocementálás hőmérséklete 750–880 °C, ahol inkább a cementáló hatás érvényesül. A cementálásnál alacsonyabb hőmérséklet azért alkalmazható, mert a nitrogén ausztenitképző ötvöző, csökkenti az A_{c1} és A_{c3} hőmérsékleteket egészen 590 °C-ig, így ausztenites állapotban végezhető a hőkezelés. A nitrocementált kéreg 0,5–0,8% szenet és 0,4–3,0% nitrogént tartalmaz. Nitrocementá-

lás után a darabokat edzeni, megereszteni kell.

Karbonitridálás (nikotrálás) 540–580 °C-on történik, ahol a nitridálás folyamata a hatékonyabb. Előzetesen nemesített munkadarabokon alkalmazzák.

Mindkét műveletet 50% ammónia és 50% cementáló gáz keverékében végzik. A karbonitridálás a jobban elterjedt technológia. A hűn tartás ideje 570 °C-on 3–4 óra, amikor is egy 10–20 µm vastagságú vegyületi kéreg és alatta 0,3–0,5 mm vastag nitrogénben dúsabb diffúziós zóna jön létre.

A karbonitridálást főleg gépjárművek kopásnak kitett alkatrészeinek hőkezelésére használják, pl. fogaskerekek, bordástengelyek, vezérműtengelyek, szelepek stb.

4.3.4. Felületbevonatoló eljárások

Ezen eljárásokkal a munkadarab felületén 5–10 µm vastag, 2000–3000 HV_{0,25}-nél esetleg nagyobb keménységű vegyületi réteget hozunk létre.

A felületbevonatoló eljárások két csoportra oszthatók.

a) CVD- (Chemikal Vapor Deposition) eljárás

Kémiai típusú bevonatolás, amelyet 850–1050 °C-on végeznek. A bevonatolás utólagos hőkezelést igényel, így fennáll a deformáció, elhúzóds veszélye. Általában keményfémek bevonatolására alkalmazzák.

b) PVD- (Physical Vapor Deposition) eljárás

Fizikai típusú bevonatolás, amely alacsonyabb hőmérsékleten (200–550 °C) végezhető. Nem változtatja meg a megeresztéssel biztosított keménységet, utólagosan hőkezelné nem kell, így minimális a deformáció.

A PVD-eljárásnál a felületi réteg kialakítása gázfázisból történik 10⁻²–10⁻³ bar nyomáson.

Az eljárás lépései:

- Bevonóanyag elpárologtatása
- Az elpárologtatás több módszerrel lehetséges, de leggyakrabban magnetronos porlasztással történik.
- Bevonó anyag lecsapatása (felgőzölés)

Létrejöttének mechanizmusa: a katód (target) felületéről ionokkal való bombázás során fémionok válnak le, amelyek a vákuumban létrehozott plazmába vezetett technológiai gázok (nitrogén, acetilén) ionjaival reagálva a bevonandó tárgy felületén kemény, vékony bevonatokat, nitrideket, karbonitrideket stb. hoznak létre.

Leggyakoribb jellemző bevonatok: CrN, TiN, TiBN, TiCN, TiAlN.

Az eljárás előnyei:

- Különlegesen kemény felület, miközben a bevont alkatrész szívóssága változatlan marad.
- A kopásálló bevonat kitűnő adhéziós tulajdonsággal rendelkezik.
- Alacsony (220–550 °C) bevonatolási hőmérséklet.
- A bevonat vastagsága kisebb, mint 0,01 mm, azaz az alkatrész méretstabilitása megmarad, nincs tőrésprobléma.
- Végül, de nem utolsósorban, pl. az aranyszínű TiN-bevonat az alkatrésznek egy esztétikus, dekoratív megjelenést biztosít.
- Kisebb belső feszültségek keletkezése a munkadarabban.

Alkalmazás területe:

- Nagy felületi finomságot igénylő gyorsacél forgácsolószerszámok.
- Textilipari gépek alkatrészei (szálvezetők).
- Műanyagfröccsöntő szerszámok (fúvókák).
- Műanyag és gumiipari sajtolószerszámok.
- Kivágó-, lyukasztó-, folyatószerszámok (4.25. ábra).

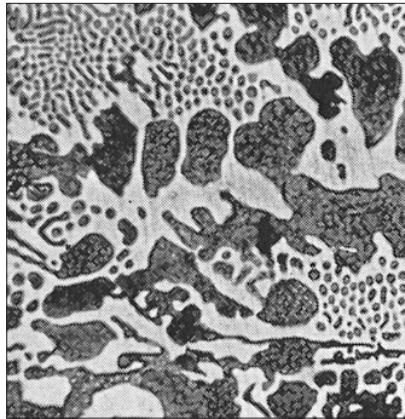


4.25. ábra. TiN- és CrN-bevonatú folyatószerszámok

4.4. Az öntöttvasak hőkezelése

Az öntöttvasak a Fe-C állapotábra alapján a 2,1% szénttartalomnál nagyobb és 6,69%-nál kisebb ötvözetek. Jellemző szénttartalmuk 4,3%-nál kisebb.

Töretüket meghatározzák az ötvözőelemek, mint a Si, Mn, S, P, valamint a dermedéskori lehűtési sebesség. A gyorsabb hűtés a cementites dermedésnek kedvez (4.26. ábra), ezek fehér töretűek, a lassúbb hűtés a grafit kiválásának kedvez, ezek a szürke töretű öntöttvasak.

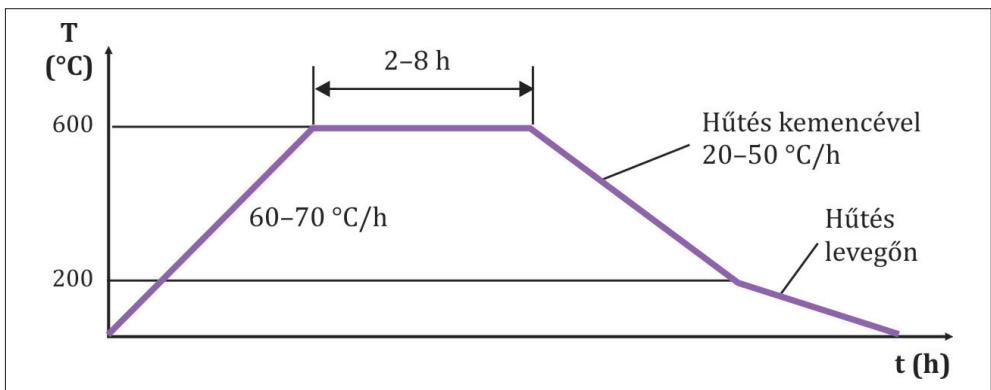


4.26. ábra. Fehér töretű öntöttvas perlit–ledeburit szövetelemekkel

4.4.1. Szürke töretű öntöttvasak hőkezelése

A szürke töretű öntöttvasak jellemző hőkezelése a feszültségcsökkentő izzítás. Régebben a feszültségcsökkentést nagyméretű öntvényeknél természetes úton, 1–2 éves hevertetéssel oldották meg. Ma már gyorsítják a folyamatot, így 550–650 °C-on 2–8 órát hõn tartva, majd lassan hûtve a feszültségcsökkentés elvégezhető (4.27. ábra).

A szürke töretű öntöttvasak normalizálhatók, lágyíthatók, edzhetők, megereszthetők, sõt kérgesíthetők is, de ezekre az eljárásokra itt nem térünk ki.



4.27. ábra. Fehér töretű öntöttvas perlit ledeburit szövetelemekkel

4.4.2. Fehér töretű öntöttvasak hőkezelése

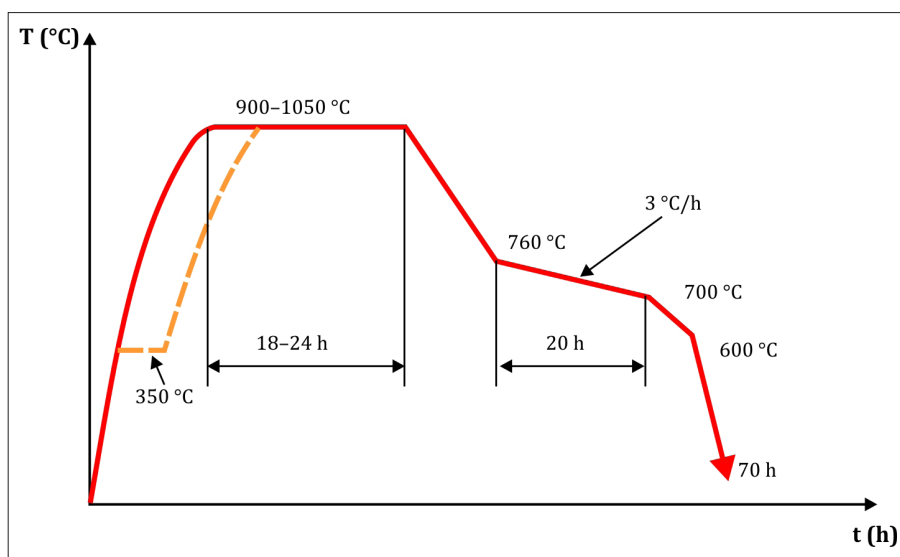
A fehér töretű öntöttvasakban a szén vas-karbid formájában van jelen, ez okozza a ridegségét. Felhasználás szempontjából ezt a ridegséget csökkenteni kell. A szívósság fokozása a vas-karbid elbontásával érhető el. Ezt a műveletet temperálásnak nevezzük. A vas-karbid 950–1050 °C-on hosszú ideig hőn tartva az alábbi egyenlet szerint elbomlik:



A bomlási folyamatot 1–2% Si-ötvözés elősegíti és a hőntartási idő nagyságát lényegesen csökkenti. A keletkező temperszén vagy bennmarad a munkadarabban semleges atmoszféra esetén (fekete töretű temperálás), vagy oxidáló atmoszférában kiég a munkadarabból (fehér töretű temperálás).

4.4.2.1. Fekete töretű temperálás

Semleges atmoszférában végezve 900–1050 °C-on hőn tartva a ledeburit vas-karbid-tartalma és az esetlegesen meglévő szekunder cementit a fenti egyenlet szerint elbomlik. Majd lassan hűtjük, hogy a szénben telítetté váló ausztenitből kiváló vas-karbid is el tudjon bomlani. A további szakaszban, amikor az A1 hőmérsékleten áthaladunk, nagyon lassan hűtünk, hogy az ausztenitből kiváló perlit vas-karbidja is elbomoljon (**4.28. ábra**). Az így keletkezett öntöttvas szövetszerkezete ferrit grafit. Szakítószilárdsága 300–400 MPa, nyúlása 6–12%.



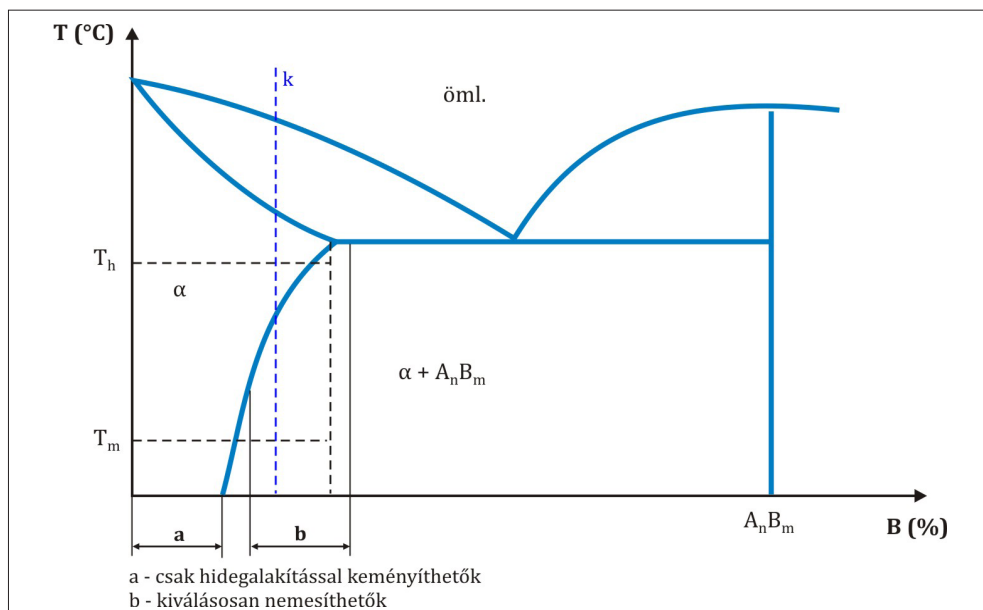
4.28. ábra. Ferrit-grafitos szerkezet elérésére végzett temperálás

4.4.2.2. Fehér töretű temperálás

Ha a fekete töretű temperálásnál a 760–700 °C közti szakaszt elhagyjuk, akkor az ausztenit a gyorsabb hűtés miatt perlitté alakul át. Így a szobahőmérsékleten kapott szövetelem ferrit – perlites szerkezetű lesz. A perlit-grafitos tempervas szakítószilárdsága nagyobb (450–800 MPa), de nyúlása kisebb (2–6%), mint a ferrit-grafitos tempervasé.

5. AZ ALUMÍNIUM ÉS ÖTVÖZETEINEK HŐKEZELÉSE

Az alumínium könnyűfém, így felhasználásában egyre nagyobb teret hódít. Régebben legnagyobb mértékben a repülőgépipar használta, napjainkban viszont már személygépkocsik, motorvonatok is készülnek belőlük. Az egyes ötvözetei nagyon jól önthetők, így motorok, kéziszerszámok házaként is használhatók. Egyes ötvözetek szilárdsága hőkezeléssel lényegesen növelhető. Jellemző állapotábra-részletet az **5.1. ábrán** mutatunk be. A homogén szilárd oldattal rendelkező ötvözetek, illetve a szín alumínium jól alakítható, szilárdsága csak a hidegalakítás során bekövetkező felkeményedéssel növelhető. Ez a felkeményedés néha káros, ilyenkor az újrakristályosító lágyítást alkalmazzák. Vannak olyan ötvözetei, amelyekből fémes vegyületek válnak ki, amelyek ún. kiválásos nemesítés során nagymértékben növelni tudják az ötvözet keménységét. Egyes ötvözeteknél nemesítve elérhetjük az 500–700 MPa szakítószilárdságot is.



5.1. ábra. Jellemző állapotábra részlet alumíniumötvözetekre

5.1. Hidegen alakított alumínium és ötvözeteinek újrakristályosító izzítása

Ezzel a hőkezelési eljárással az V. fejezetben részletesen foglalkoztunk, ott megismerhető.

1. táblázat. Az alakított alumíniumötvözetek szokásos lágyítási hőmérsékletei

Ötvözet	Hőmérséklet °C	Ötvözet	Hőmérséklet °C	Ötvözet	Hőmérséklet °C
Al99Mg	300–350	AlMg1	330–360	AlMg5	320–360
Al99Mg1		AlMg2		AlMg4,5Mn	380–420
Al99Mg2		AlMg3		AlMn	350–420

5.2. Kiválásos nemesítés

Az eljárást szegregációs nemesítésnek, vagy egyszerűen csak nemesítésnek is nevezik.

A kiválásosan nemesíthető alumíniumötvözeteket két nagy csoportra osztjuk:

- mesterségesen öregíthető ötvözetek,
- természetesen öregíthető ötvözetek.

A kiválásos nemesítés feltételei:

- a hőmérséklet csökkenésével az ötvözet csökkenő oldóképességű szilárd oldatot tartalmazzon,
- a szilárd oldatból fémes vegyület váljon ki,
- a kiválás nagyon finom (diszperz) eloszlású legyen.

Az **5.1. ábrán** (a kiválásos nemesítés elvi állapotábrája) feltüntetett tartományba eső ötvözetek ezeknek a feltételeknek megfelelnek.

A szegregációs nemesítés folyamata:

A vizsgálatokat az **5.1. ábra** „k” jelű ötvözete esetén írjuk le.

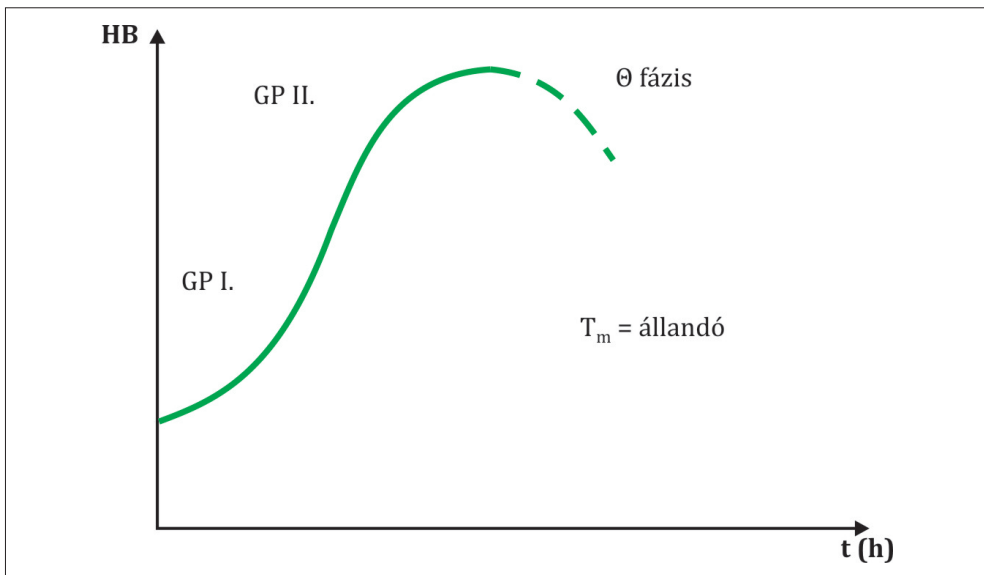
- Az ötvözetet felhevítjük a T_h homogenizálási hőmérsékletre (**5.1. ábra**), és ott hőntartunk a teljes homogén szilárd oldat létrejöttéig. Ezt a műveletet homogenizációnak nevezzük.
- A homogén szilárd oldatot gyorsan – általában vízben – lehűtjük szobahőmérsékletre. Rögzítjük az előző állapotot. Ezt a műveletet rögzítésnek is szokták nevezni. Így egy túltelített szilárd oldatot kapunk.
- Felhevítjük T_m hőmérsékletre, ahol elkezdődik a fémes vegyület kiválása.

A kis hőmérsékleten a diffúzió lassan játszódik le, így a végleges egyensúlyi állapot kialakulása előtt átmeneti struktúrák jönnek létre. Első lépésben az ol-

dott fém atomjai az oldó fém rácsszerkezetében (diszlokációk környékén, üres rácshelyek környékén, meghatározott kristálytani síkokban stb.) elkezdenek dúsulni. Létrejönnek pár rácsparaméter széles, 500–1500 nm hosszú dúsulások. A kiváló fém atomjainak ilyen csoportosulását nevezzük I. rendű Guinier–Preston-zónáknak, röviden I. GP-nek. Ez a keménység kismértékű növekedését okozza (5.2. ábra).

További hűn tartás során ezek a dúsulások rendeződnek, méretük növekszik, kezd kialakulni bennük a majd kiváló fémes vegyületnek megfelelő ötvözőarány. Önálló rácsszerkezettel, fázishatárral még nem rendelkeznek, de növekszik a rácstorzultság. Ez tovább növeli az ötvözet keménységét. Ezeket nevezzük II. rendű Guinier–Preston-zónáknak. Méretük 100–150 nm széles, mintegy 5000–10000 nm hosszúak. További hűn tartás során egyes II. GP-zónák mérete eléri a kritikus csíra méretét, önálló fázisként megjelenik a fémes vegyület, amely rácsszerkezete legtöbb esetben eltér az oldó fém rácsszerkezetétől. A fémes vegyület megjelenése csökkenti a rácsfeszültségeket, így csökken a keménység is (5.2. ábra). A fémes vegyületet általánosan Θ fázisnak szokás nevezni. Ez a szakasz hőkezelés során kerülendő.

Egyes ötvözetek esetén ez az ún. öregítés folyamata szobahőmérsékleten is lejátszódik, ezeket az ötvözeteket természetesen nemesedő, önnemesedő ötvözeteknek nevezzük.



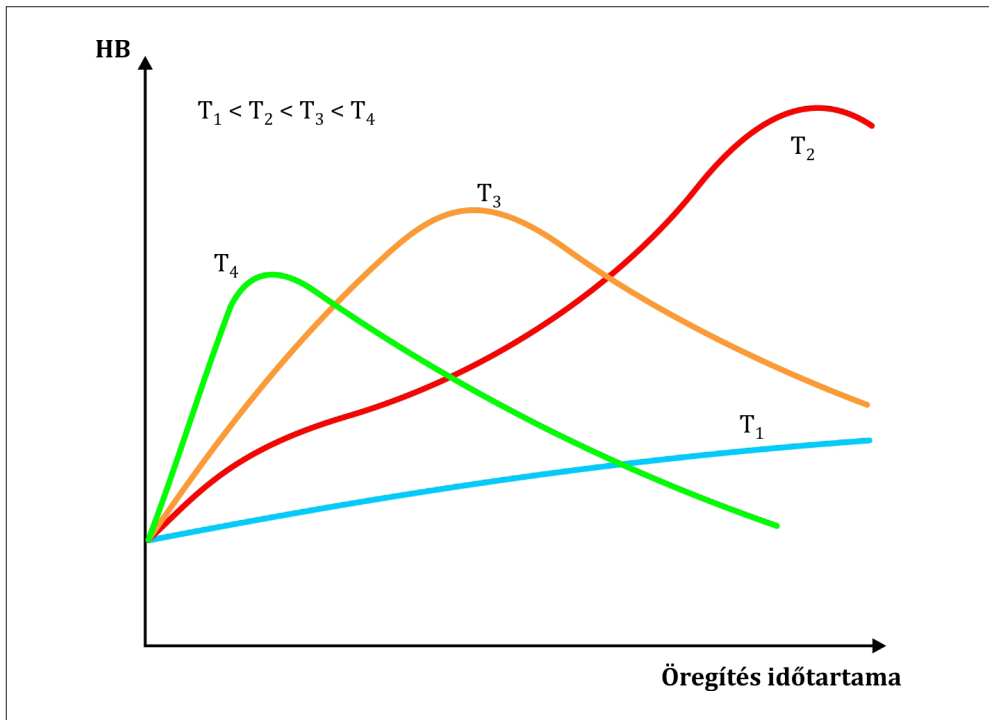
5.2. ábra. Keménység változása a nemesítés egyes szakaszaiban

A megeresztés hőmérséklete nagymértékben befolyásolja az elérhető keménységet. Alacsony hőmérsékleten végrehajtva a kiválásos keményítést nagyon hosszú idő alatt növekszik a keménység. Növelve a megeresztés hőmérsékletét egyre gyorsabban nő a keménység, de egy bizonyos hőmérséklet után egyre kisebb keménységi értékeket kapunk (5.3. ábra).

Kiválásos keményedés nemcsak alumíniumötvözetekre jellemző, hanem előfordul réz- vagy cinkötvözeteknél, illetve Al-bronz, Be-bronz, Cr-bronz esetén is.

Az alábbiakban megadjuk néhány jellemző alumíniumötvözet-csoport nemesítésével elérhető keménységeket.

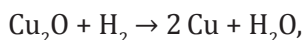
Ötvözet típusa	Szakítószilárdság [N/mm ²]	Megjegyzés
Al-Mg-Si	280-300	Sziluminok
Al-Cu-Mg	400-440	Duralumíniumok
Al-Zn-Mg	350-530	Önnemesedők



5.3. ábra. A hőmérséklet hatása az elérhető keménységre

6. A RÉZ ÉS A RÉZALAPÚ ÖTVÖZETEK HŐKEZELÉSE

A réz és ötvözetei hevítése a jó hővezető képességük miatt gyors lehet. Redukáló atmoszférában izzítani nem szabad, mert a rézben mindig jelen lévő Cu_2O a környezet redukáló komponensével érintkezve az alábbi egyenlet szerint redukálódik:



és a keletkező víz (gőz) a darabban repedéseket okozhat.

A sárgarézt levegőn való izzításakor oxidálódik. Ha 80%-nál kisebb a Zn-tartalom, akkor csak cink-oxid, ezen érték felett cink-oxid és réz-oxid vegyesen keletkezik. Ez az oxidréteg időtől, hőmérséklettől függően vastagodik.

6.1. A réz hőkezelése

A tiszta réz (vörösréz) felületen középpontos köbös rácstípusú. Az olvadáspontjáig ($1083\text{ }^\circ\text{C}$ -ig) allotrop átalakulása nincs. Nagyon jól alakítható, hidegen 90% alakítást is kibír lágýtás nélkül. Az alakítás mértékének növekedésével az újrakristályosodási hőmérséklet csökken (6.1. ábra).

6.2. Egyfázisú rézötvözetek hőkezelése

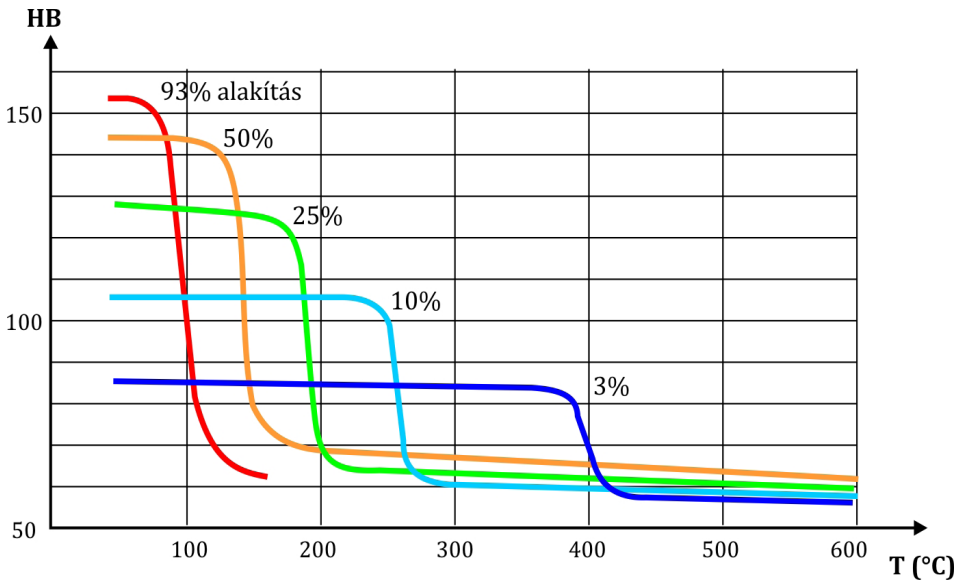
Vannak olyan rézötvözetek, amelyek egyfázisú szilárd oldatok. Ezek szilárdsága szintén csak hidegalakítással növelhető. Szükség esetén lágýtani kell a további alakíthatóság végett. Ezek az ötvözetek az alábbiak:

- 38%-nál kisebb cinktartalmú sárgarézek,
- 10%-nál kevesebb ónt tartalmazó ónbronzzok,
- 9,5%-nál kevesebb alumíniumot tartalmazó alumíniumbronzzok.

Jellemző lágýtási hőmérsékletük:

- Cu–Zn ötvözetek $500\text{--}600\text{ }^\circ\text{C}$;
- Cu–Sn ötvözetek $600\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$;
- Cu–Al ötvözetek $650\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$.

A lágýtási hőmérsékletről általában gyorsan, vízben hűthetők.



6.1. ábra. Tiszta réz újrakristályosodási hőmérséklete az alakítás mértékének függvényében

6.3. Többfázisú rézötvözetek hőkezelése

Ezen ötvözetek esetén alkalmazzák a lágyítást, homogenizálást (diffúziós izzítás) és a feszültségcsökkentést. Egyes ötvözeteknél alkalmazható a szegregációs nemesítés. A kétfázisú ($\alpha+\beta$) sárgarézőtvözetek keménysége 830 °C-ról való gyorshűtés, majd 200-300 °C-os megeresztés után növekszik. Az elért keménység 54–60% Cu tartományban növekszik. További ötvözéssel a sárgarezek nagyobb szakítószilárdságot is elérhetnek (260–650 N/mm²).

Az ónbronzzok közül a 22–23% óntartalmú 750 °C-ról gyorsan hűtve edzhető, 580 °C-on megereszthető.

Az alumíniumbronzzok nagyon jól nemesíthetők. 900 °C-ról edzve 400–600 °C-on megeresztve az elérhető szakítószilárdság 650–750 N/mm².

A berilliumbronz a nemesítésre legalkalmasabb rézőtvözet. A nemesítéssel elérhető szakítószilárdság 1400 N/mm², ezért rugók készítésére használják, különösen ott, ahol nem mágnesezhető rugóanyagra van szükség. A berilliumbronzzok már 1% Be-tartalom felett alkalmasak kiválásos keményítésre. A Cu maximális Be-oldó képessége 2,5% (900 °C-on). Leggyakoribb a 2% Be-tartalmú berilliumbronz, amely 750 °C-ról edzhető vízben. Megeresztése 300 °C-on tör-

ténik 1 óra hőn tartással. A megeresztés előtt beiktatott hidegalakítás mértékével növelhető a megeresztés után elért keménység.

A Cu-Ni-P ötvözetek oldó hőmérséklete 700–800 °C, öregítés hőmérséklete 425–475 °C 1–3 óra hőn tartással.

Cu-Cr (1-2%Cr) ötvözetek oldó hőmérséklete 950–1010 °C, gyorsűtés, öregítés hőmérséklete 400–500 °C ~4 óra hőn tartással.

Cu-Zr ötvözetek oldó hőmérséklete 900–925 °C, gyorsűtés vízben, öregítés hőmérséklete 500–550 °C ~1–4 óra hőn tartással.

Cu-Ti ötvözetek oldó hőmérséklete 900 °C, gyorsűtés, öregítés hőmérséklete 350–450 °C ~10–20 óra hőn tartással.

7. HŐKEZELŐ BERENDEZÉSEK

A hőkezelési műveletek végrehajtásában különböző méretű, felépítésű berendezések terjedtek el. Jelenleg a gyakorlatban leginkább használatos berendezésekkel foglalkozunk.

Működésük alapján megkülönböztetünk :

- szakaszos üzemű kemencéket,
- folyamatos üzemű kemencéket.

7.1. Szakaszos üzemű kemencék

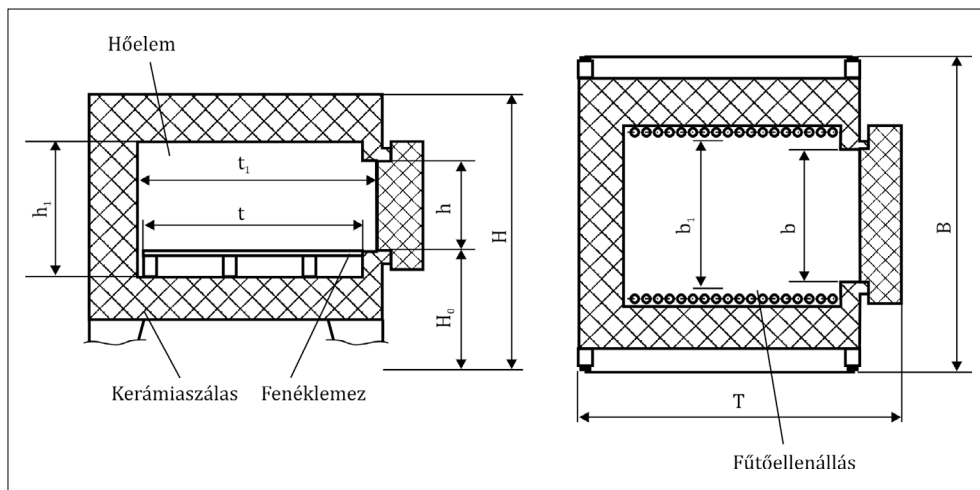
Ezek a kemencék egy – egy hőkezelési művelet végrehajtására, ill. többszöri ismétlésére alkalmasak. Kivitelük alapján az alábbi gyakori típusokat különböztethetjük meg:

- kamrás kemence;
- aknás kemence;
- retortás kemence;
- sófürdőös kemence;
- kihúzható fenekű kemence;
- vákuum kemence.

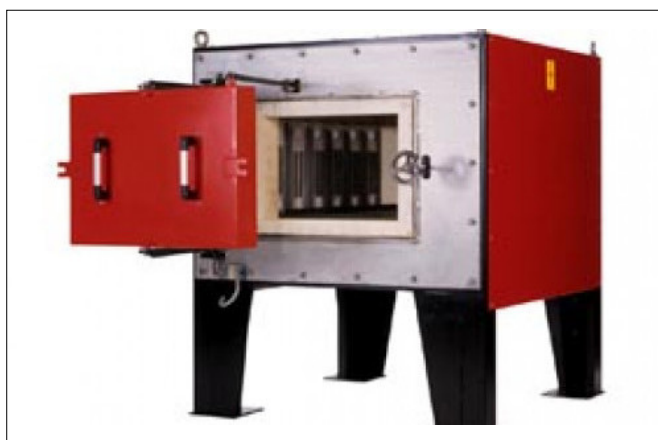
a) Kamrás kemencék

A hőkezelési műveletek klasszikus berendezései. A kemencék leggyakrabban 700 °C, 900 °C, és 1200 °C maximális térhőmérséklettel készülnek (**7.1 ábra** és **7.2 ábra**). A hőmérséklettől függően lágyításokra, edzésre, megeresztésre használatosak. A kemencék általában oxidáló atmoszférájúak, ezért olyan alkatrészek hőkezelésére alkalmasak, amikor hőkezelés után még felületi megmunkálás következik, amely során az oxidálódott, dekarbonizálódott réteget eltávolítják. Nagyobb méretű darabok esetén, amelyek közel kerülnek a hőforráshoz, esetleges túlhevülés is előfordulhat.

Alkalmazható még színesfémek és alumíniumötvözetek hőkezelésére is.



7.1. ábra. A kamrás kemence metszete



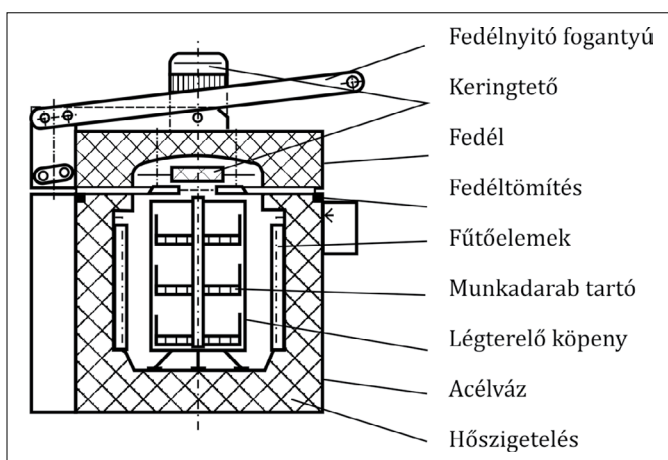
7.2. ábra. A kamrás kemence

Kamrás kemencéket szokás két kamrával is építeni. A két kamra egymás fölött helyezkedik el. Az ilyen kemence kimondottan ajánlott nemesítésre. Az egyik kamrából elvégezhető az edzés, míg a másik kamrában közvetlen az edzés után elvégezhető a megeresztés is.

A kamrás kemencét légcirkulációval ellátva különösen alacsonyabb hőmérsékleten javul a hőátadás és egyenletesebb lesz a hőmérséklet a kemencében. Ezeket a kemencéket általában megeresztésre, vagy alumínium hőkezelésére használják.

b) Aknás kemencék

A hőkezelések egyik jellegzetes kemencetípusa az aknás kemence. Alacsonyabb hőmérséklettartományban a hőátadás elsősorban hőáramlással történik, amely viszonylag lassú. A hőátadás gyorsítására, a hőmérsékleteloszlás egyenletesebbé tételére az atmoszférát keringtetik. A kemencében a megfelelő cirkuláció kialakítását légtelítő köpennyel biztosítják. Az ilyen aknás kemencék elsősorban hosszú, karcsú munkadarabok vetemedésmentes hőkezelésére alkalmas, de jól hasznosítható tömeggáru kosarakban történő elhelyezésével megeresztésre, az anyag belső feszültségeit csökkentő hőkezelésre, lágyításra, illetve alumíniumötvözetek hőkezelésére. A kemence szerkezeti felépítése a 7.3. ábrán látható.



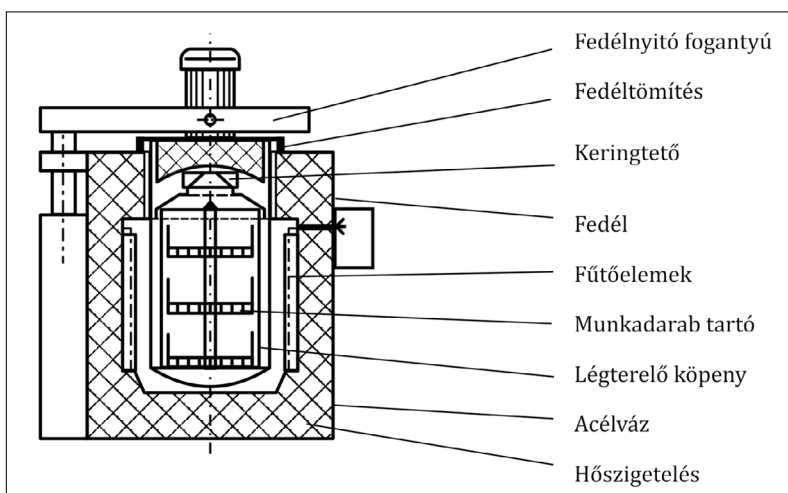
7.3. ábra. Légcirkulációs aknás kemence metszete



7.4. ábra. Légcirkulációs aknás kemence

c) Retortás aknás kemence

A retortás kemencék abban különböznek az aknás kemencétől, hogy itt a munkateret egy hőálló acéllemezről készített, légmentesen zárható ún. retortá veszi körül. A retortában tetszőleges a hőkezelési eljárásoknál szükséges atmoszféra megvalósítható. Ez az atmoszféra legtöbb esetben robbanásveszélyes, így a megfelelő biztonsági rendszabályok, előírások betartására fokozottabban ügyelni kell. A retortás kemencék felhasználási területe acélok cementálása, nitrocementálása, karbonitridálása, nitridálása, semleges közegből történő edzése. A kemence felépítését a **7.5. ábrán** mutatjuk be.



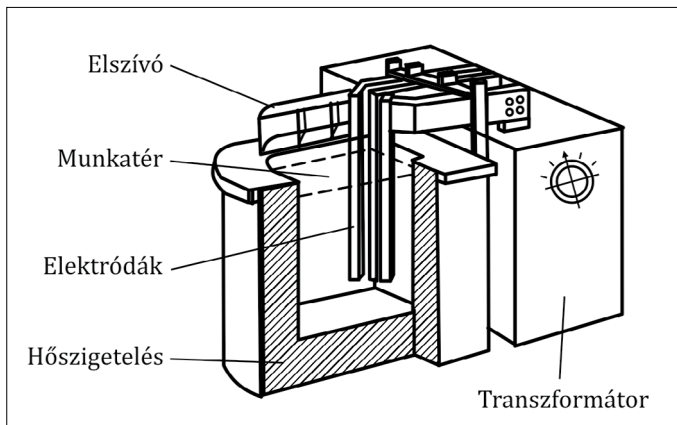
7.5. ábra. Légcirkulációs retortás kemence metszete



7.6. ábra. Légcirkulációs retortás kemence

d) Sófürdő kemencék

A szerszámacélok hőkezelésénél gyakran alkalmaznak sófürdő kemencéket. Ezekben a kemencékben a megolvasztott só öntöttvas, acél samott, vagy titán tégelyben helyezkedik el. A felhevítendő munkadarabokat a megfelelő hőmérsékletű sóba mártják. A sófürdőnek jó a hőátadása, gyorsan és egyenletesen hevíti fel a munkadarabot. Szerkezeti acélok sófürdőben cementálhatók, nitridálhatók, nitrocementálhatók és karbonitridálhatók. A fűtésük lehet külső fűtésként olaj, gáz, ill. elektromos. Gyakran alkalmaznak a sók fűtésére közvetlen ellenárlásfűtést. Ebben az esetben a sófürdőn átfolyó nagy áramerősség (500–2000 A) fűti a sót a szükséges hőmérsékletre. Ezek az elektródás sófürdő kemencék (7.7. ábra). A kemencék háromfázisú transzformátorral csatlakoznak a hálózatra. A szekunder oldali feszültség általában 9-18 V-ig több fokozatban állítható.



7.7. ábra. Sófürdő kemence metszete

e) Kihúzható fenekű kemence

Elsősorban a kohászatban használatos kemence. Nagy méretű, nagy tömegű munkadarabok esetén előnyös a használata. A kemence feneké síneken mozgatható. Kihúzott állapotba a munkadarabok daruval fel-, le pakolhatók. Általában lágýtásra, normalizálásra használatosak.

f) Vákuum kemence

A közepesen ötvözött, illetve az erősen ötvözött acélok hőkezelésére legjobb megoldás a vákuum kemence. A vákuumot egy vastagfalú acéltartályban hozzák létre. A tartályon belül helyezkednek el a fűtőelemek. A fűtőelemek grafit, moli-

bdén vagy MoSi_2 Vákuum alkalmazásával megszüntethető a levegő oxigénjének káros hatása, a dekarbonizáció, de problémaként jelentkezik a felületi ötvözőelemek párolgásának a veszélye. Az alkalmazott vákuum nagysága 10^{-5} – 10^{-7} bar nagyságrendű. A munkadarabok felmelegedése sugárzással történik. A felhevítés idejének csökkentésére újabban a vákuumozás után a kemencét alacsony nyomáson feltöltik semleges gázzal – legtöbbször nitrogénnel – és ezen gáz cirkuláltatásával a felhevítés ideje egyharmaddal csökkenthető. Az utóbbi években semleges gáz helyett aktív gázokat alkalmaznak, így ismert az alacsony nyomású cementálás, ill. nitridálás is. A hőkezelt darabok edzését a kemencében oldják meg. A hűtőközeg nagynyomású nitrogén (5–6 bar), amelyet a hűtés periódusában nagy teljesítményű ventilátor cirkuláltat. A nitrogénnel való hűtés lassúbb, mint az olajban való hűtés, így csak olyan acélok edzhetők vákuumkemencében, amelyekre ez a hűtési sebesség edző hatású. Elsősorban szerszámacélok, korrózióálló acélok hőkezelésére alkalmasak.

7.2. Folyamatos üzemű kemencék

Nagy mennyiségben, sorozatban gyártott tömegcikkék esetén a szakaszos üzemű kemencék nem elég termelékenyek. Ilyen esetekben alkalmazzák a folyamatos üzemű kemencéket. Ezen kemencék esetén a hőkezelendő munkadarabokat egyik oldalon beadagolják, majd a kemence különböző zónáin áthaladva a kész, hőkezelt munkadarab jön ki. A kemencén belüli mozgásra a munkadarabok méretétől, alakjától függően különböző megoldásokat alkalmaznak.

Jellemző darabmozgatási megoldások:

- Rázófenekű kemence, amikor a kemence fenéke lejtős elrendezésű, és annak rezgetésével továbbítják a hőkezelendő alkatrészeket. Alkalmas nagyszilárdságú csavarok edzésére, megeresztésére.
- Szállítószalagos kemence, a munkadarabokat a hőálló hevederre pakolják és így haladnak végig a kemencén.
- Tolórudazatos kemence, ebben az esetben a hosszú karcsú munkadarabokat egy tolórúddal a kemencében levő síneken szakaszos tolással továbbítják.
- Gördülő fenekű kemence, hengeres munkadarabok hőkezelésénél alkalmazható, a lejtősen elhelyezett kemencefenéken a hengeres darabok saját súlyuk következtében gurulnak előre. A végén keresztirányú kitolással távolítható el a hőkezelt munkadarab.

7.3. Hőkezelő kemencék légköre

Hőkezelésnél az adott célnak, feladatnak megfelelően különböző légköröket alkalmaznak. A légkörök lehetnek semlegesek és aktívak is az adott munkadarabra nézve.

- **Levegő.** A levegő olcsó egyszerű légkör, alkalmazása során plusz költségek nem merülnek fel, de a munkadarabra nézve káros hatása lehet. Acélok esetén a munkadarabokra oxidáló, dekarbonizáló hatást fejt ki. Olyan esetekben alkalmazzák, amikor a munkadarab felületén keletkező oxidréteg, vagy dekarbonizálódott réteg a további megmunkálások során eltávolításra kerül. Alkalmazható lágyításoknál, normalizálásnál, kis hőmérsékletű megeresztéseknél.
- **Semleges gázok.** Semleges gázokként elsősorban a nitrogént és az argont alkalmazzák. Az argon tökéletes gáz, de alkalmazása jelentősen megemeli a hőkezelés költségeit. Nagyobb mennyiségben a nitrogént alkalmazzák, de ügyelni kell az alkalmazott nitrogén tisztaságára. Az előállított nitrogént a benne előforduló oxigéntől és vízgőztől felhasználása előtt meg kell tisztítani. Előállítható a levegő cseppfolyósításával, amely eljárás viszonylag drága, illetve ammónia bontásából, vagy szénhidrogének levegőhiányos elégetésével. Ebben az esetben az előállítás olcsóbb, de a keletkező égéstermékektől meg kell tisztítani. A tiszte nitrogént felhasználják C-acélok fényesre izzításánál, fekete temperöntvények előállítására, vákuumos hőkezelésnél mint edzőközeg, illetve robbanékony elegyet felhasználó kemencék, retorták öblítésére.
- **Vákuum, mint légkör.** A vákuum alkalmazása hőkezeléseknél drágasága ellenére az egyik legjobb megoldás. Vákuum esetén nincs kitéve a munkadarab oxidációs, dekarbonizációs veszélynek. A légkör hiányában kezdetben a munkadarabok nagyon lassan melegednek fel, ezért kis mennyiségű nitrogén adagolásával gyorsítják a felmelegítést. Az alkalmazott vákuum a legtöbb esetben 20 – 0.1 P, de egyes esetekben nagyobb vákuum is szükséges. A hűtés nagy nyomású nitrogénnel történik. Alkalmazása ötvözött, illetve erősen ötvözött szerszámacélok, gyorsacélok hőkezelésére, amelyek a nitrogén hűtés hatására is beedződnek.
- **Redukáló gázlégkör.** A hidrogén, mint redukáló légkör kerülhet alkalmazásban a hőkezelések során. Szintelen, szagtalan legkönnyebb gáz. A levegővel keveredve 4 – 95% közt alkot robbanóképes elegyet, ami megnehezíti a

felhasználását. Helyette az ún. formáló gázokat használják, amelyek 5 vagy 10% hidrogén tartalmú nitrogén gáz. Felhasználható oxidmentes izzításokra, lágyításnál, edzésnél stb.

- **Aktív gázlégekörök.** Az aktív gázok a hőkezelési eljárás során reakcióba lépnek a hőkezelendő munkadarabbal, ennek megfelelően lehetnek cementáló nitridáló nitrocementáló, karbonitridáló stb. hatásúak. Részletesen az egyes eljárásoknál kerültek ismertetésre.

7.4. Hőmérséklet mérése

A hőkezelő eljárásoknál bizonyos folyamatok csak meghatározott hőmérsékleten, vagy hőmérséklet közben játszódhatnak le. Ezért fontos, hogy a kemence hőmérsékletét mérjük, illetve adott állandó hőmérsékletet biztosítsunk. A hőmérséklet mérésének egyik leggyakrabban alkalmazott eszköze a hőelem vagy termoelem. A hőelem mérésének elve: Két különböző fém, vagy fémötvözet érintkezési helyén ún. kontaktfeszültség jön létre, ha a vezeték két vége különböző hőmérsékleten van. Ez a feszültség függ az érintkezési hely hőmérsékletétől.

A hőelemek egyes típusait, illetve jelölésüket nemzetközi szabvány tartalmazza. A **2. táblázat**ban összefoglaljuk a platina alapú hőelemek jelöléseket, és megadjuk a hozzá tartozó alkalmazási hőmérséklettartományt is. Ezek a hőelemek nagyon pontosak, és magas hőmérsékleteken is használhatók. Oxidációra nem hajlamosak.

2. táblázat Az általában használ platina alapú hőelemek.

Nemzetközi típus jelölés	A vezető anyaga	Hőmérséklettartomány °C
R	Pt-13% Rh (+)	0 ... +1600
	Pt (-)	
S	Pt-10% Rh (+)	0 ... +1500
	Pt (-)	
B	Pt -30% Rh (+)	+100 ... +1600
	Pt -6% Rh (-)	

A hőelemek gyártásához felhasználnak nem nemes fémeket is. Az alábbi **3. táblázat**ban összefoglaltuk ezen jellemző hőelemek nemzetközi jelölését, alkalmazott vezetékpárok anyagát, illetve a hőmérséklettartományukat. A hőelemek mérési pontossága vezetékpároktól, hőmérséklettartománytól függően általában 0,5–4°C.

3. táblázat Gyakorlatban használt nem nemesfém tartalmú hőelemek.

Nemzetközi típus jelölés	A vezető anyaga	Hőmérséklettartomány °C
K	Ni-Cr (+)	0 ... +1100
	Ni-Al (-)	
T	Cu (+)	-185 ... +300
	Cu-Ni (-)	
J	Fe (+)	+20 ... +700
	Cu-Ni (-)	
E	Ni-Cr (+)	0 ... +800
	Cu-Ni (-)	
N	Ni-Cr-Si (+)	0 ... +1250
	Ni-Si (-)	

A kemencék hőmérsékletének szabályozására rengeteg féle szabályzó terjedt el. A korszerű szabályzók digitális beállíthatóságú mikroprocesszoros PID rendszerű szabályzással működnek. Ezekon lépcsős felhevítéseket lehet beprogramozni, illetve több előre megírt program lementhető.

Mozgó alkatrészek, illetve agresszív közegek hőmérsékletének mérésére optikai pirométerek használatosak. Ezek érintés nélkül mérik a hőmérsékletet, de pontosságban elmaradnak a hőelemektől.

7.5. Kemencék falazata

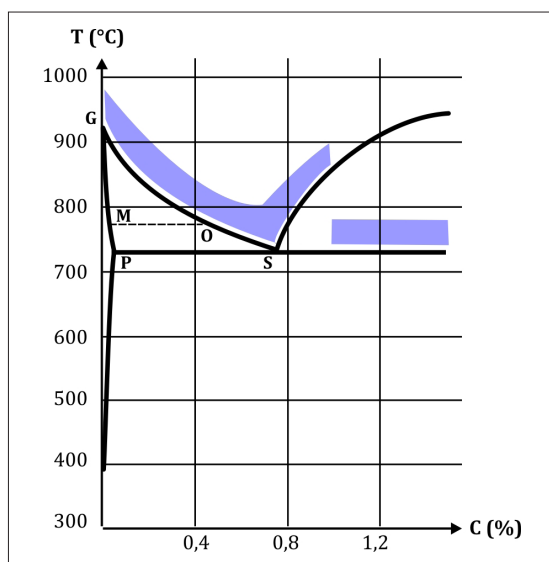
Régebben a kemencék falazata szilikát magnezit vagy samott téglából készültek, Ma már ezeket felváltották a különböző fantázianévre hallgató kerámiaszálas szigetelő anyagok. Ezek előnye, hogy könnyebben, kisebb hővezető képességgel rendelkeznek, így azonos mértékű hőszigeteléshez kisebb vastagságban is alkalmazhatók. A kis fajsúlyuk miatt a kemencék tömege lényegesen csökken,

KÍSÉRLETI HŐKEZELÉSEK

I. AZ AUSZTENITESÍTÉS MECHANIZMUSA

Az acélok nemesítése edzésből és nagy hőmérsékletű megeresztésből áll. Edzésnél nagyon fontos a megfelelő paraméterek megválasztása, részben az edzési hőmérséklet (általában a szabványokban megtalálható), másrészt a hőntartási idő. Az edzési hőmérsékleten a hőntartási idő erősen függ a kemence hőátadási paramétereitől, a munkadarab méreteitől. Úgy kell megválasztani a hőntartási időt, hogy a munkadarab közepe is átmelegedjen, elérje az edzési hőmérsékletet. Ha túl rövid a hőntartási idő, a munkadarab közepe csak részben lesz ausztenites szövetszerkezetű, így gyorshűtésnél csak részben edződik be, ami a szilárdsági tulajdonságokat csökkenti. Ha túl sok a hőntartási idő, ez szemcsedurvulást indít el. A durvaszemcsés szerkezet ugyan jobban edzhető, de rontja az edzett acél szilárdságát és szívósságát.

Ötvözetlen acélok esetén az edzési hőmérséklet a vas-szén állapotábra GOS vonala felett 20–50 °C-kal van (I.1. ábra).



I.1. ábra. Ötvözetlen acélok edzési hőmérséklet-tartomány

Az átmelegedési idő hőtechnikailag vékony test állandó hőmérsékletű kemplében való melegítése során matematikai úton levezethető, megoldható. A melegítési idő:

$$t_m = \frac{m \cdot c}{A \cdot \alpha} \ln \frac{T_k - T_0}{T_k - T_m}$$

ahol:

- T_k - a kemence hőmérséklete (°C)
- T_0 - a munkadarab kezdeti hőmérséklete (°C)
- T_m - a felhevítési (előírt) hőmérséklet (°C)
- m - a munkadarab tömege (kg)
- c - a fajhő (J/kg · °C)
- A - a munkadarab felülete (m²)
- α - felületi hőátadási együttható (W/m² · °C)

Hőtechnikailag vastag test esetén egy másodfokú differenciálegyenletet kell megoldani, amely számítógéppel végeelem-módszerrel megoldható.

Gyakorlatban a hőntartási időt legtöbb esetben első alkalommal, az alábbi ökölszabállyal határozzuk meg.

$$i = 20 + D/2 \text{ [min]},$$

ahol

- D - a munkadarab jellemző átmérője mm-ben.

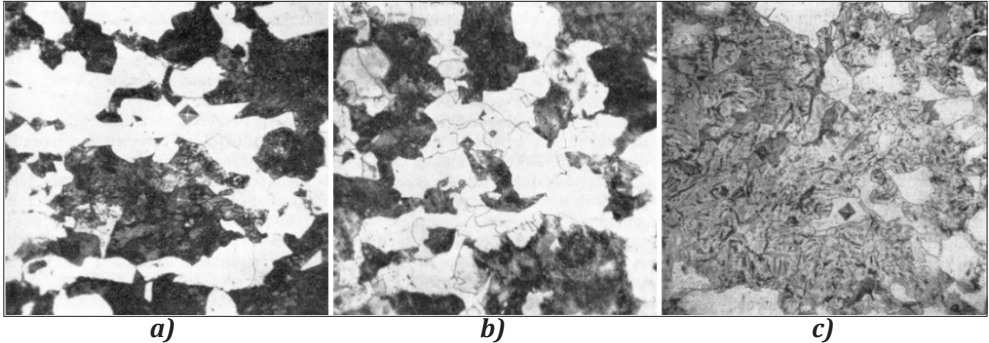
A gyakorlat azt mutatja, hogy ez az összefüggés biztos edzési eredményt ad. Gyakran előforduló hőkezelendő alkatrészek esetén, gyakorlati tapasztalatok alapján, ez az idő esetleg csökkenthető is.

Mérési gyakorlat

A gyakorlat célja ötvözetlen acél adott edzési hőmérsékletén az ausztenitesedéshez szükséges hőntartási idő meghatározása.

A vizsgálat elve: az ausztenitesítési hőmérsékletre behelyezett munkadarab esetén először a munkadarab kezd átmelegedni. Majd egy bizonyos hőmérsékleten megkezdődik az ausztenitesedés csíráképződéssel, csíranövekedéssel, és addig tart, míg a teljes keresztmetszet ausztenites nem lesz. Ez időigényes folyamat. Ha ezen idő során a munkadarabot kivesszük és gyorsan lehűtjük, csak az időközben képződött ausztenit alakul át martenzitté, míg az egyéb még meglévő szövetelemek (ferrit, perlit) változatlanok maradnak. A keletkező martenzit megnöveli a munkadarab keménységét. Minél több ausztenit keletkezik, annál

nagyobb gyorsítás hatására a martenzit mennyisége, ami egyre nagyobb keménységnövekedést okoz **(I.2. ábra)**. Az ábra 0,5% C tartalmú acél szövetszerkezeti változását mutatja. Az a) a kiinduló szövet, b) elkezdődött az ausztenitesezés, c) már nagy mennyiségben keletkezett ausztenit, amely a gyorsítás hatására martenzitté alakult.



I.2. ábra. Ausztenitesezés (Káldor-Verő: Vasötvözetek fémtana)

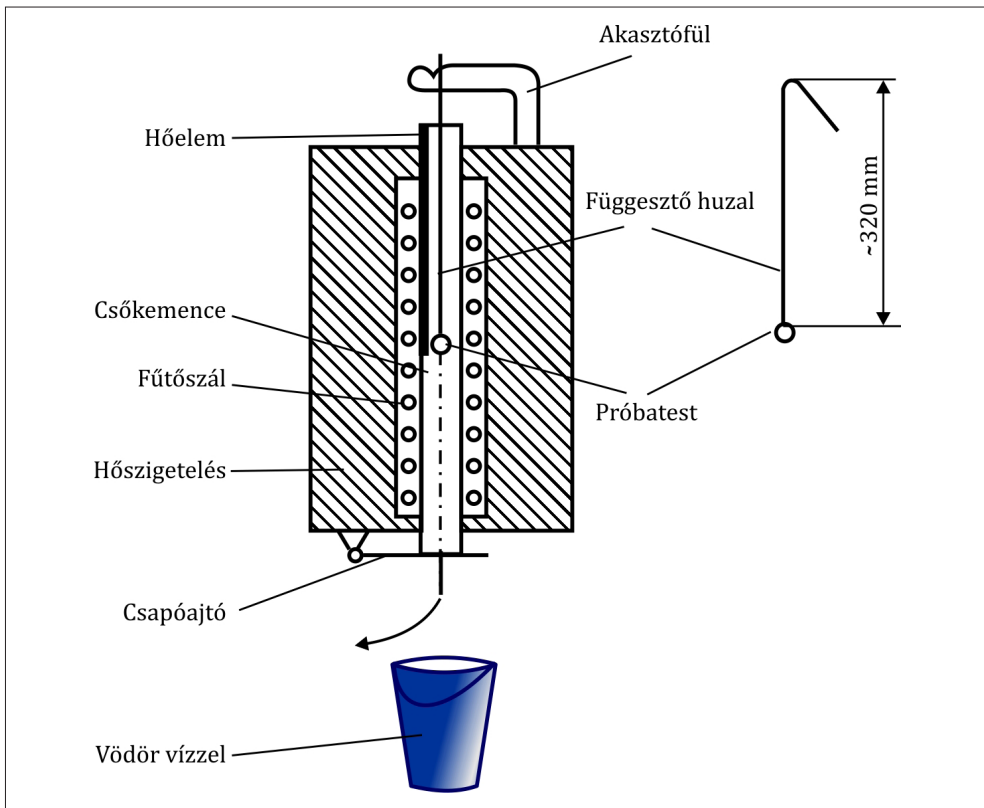
A kísérlethez szükséges eszközök:

- 8-10 darab próbatetest ötvözetlen nemesíthető acélból (C45, vagy C60).
- A próbatetest mérete $\phi 10 \times 2-3$ mm vastag tárcsa, $\phi 2$ mm-es furattal ellátva **(I.3. ábra)**. A próbatesteket előzetesen lágyítani szükséges!
- $\phi 0,8-1$ mm-es lágyacél kötöző drót,
- csőkemence **(I.3. ábra)**;
- hűtővíz (pl. fémvödörben);
- csiszolópapír;
- HRC keménységmérő gép;
- oldalcsípő fogó;
- hőálló kesztyű.

A mérés elrendezése: az I.3 ábra szerint.

A kísérlet menete:

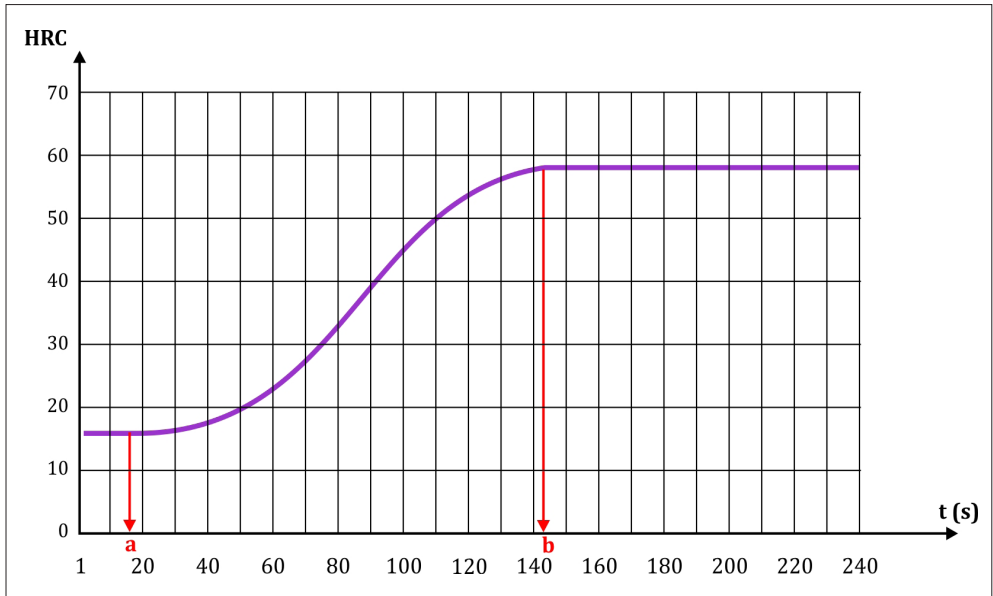
- Beállítjuk a csőkemence hőmérsékletét. C45 acél esetén javasolt $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, C60 acél esetén javasolt $830\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- A próbatesteket, a rajtuk lévő furat segítségével, egyenként felfűzzük 250–300 mm hosszú huzalra. A huzal hossza függ a csőkemence méretétől. Úgy kell megválasztani, hogy a csőkemence közepébe kerüljön, ahol a kemence hőmérsékletét szabályzó hőelem is van.
- Behelyezünk a kemencébe egy próbatestet a **I.3. ábra** szerint.



I.3. ábra. Csőkemence, próbatest

- Az egyes próbatesteket az alábbi ideig tartjuk hőn: 5 s, 10 s, 15 s, 20 s, 30 s, 45 s, 60 s, 90 s, 120 s, 240 s.
- A hőntartási idő letelte után kinyitjuk a kemence ajtaját (I.3. ábra).
- Az oldalcsípő fogóval elvágjuk a kötöző drótot, így a próbatest akadálytalanul az alatta elhelyezett hűtővízbe (vödörbe) esik.
- A próbatest vödörből való kivételénél vigyázzunk, mert a huzal vízbe nem érő vége forró lehet, ami égési sérüléseket okozhat. Csak a víz alatti részen fogjuk meg a kötöző drótot!
- A próbatesteket mindkét oldalán enyhén megcsiszoljuk.
- A próbatesteken 3 darab HRC keménységet mérünk. Ha a legkisebb és a legnagyobb keménység közt a különbség nagyobb, mint 5HRC, akkor még újabb két keménységet mérünk.
- Próbatestenként átlagot számolunk. 5 mérés esetén az átlagszámításba a legkisebb és a legnagyobb keménységet nem vesszük figyelembe.

- Megrajzoljuk a diagramot.
- A mellékelt **I.4. ábra** szerint meghatározzuk az ausztenitesedés kezdeti és végső időpontját.



I.4. ábra. Átalakulási időpontok
(*a* – átalakulás kezdeti időpontja, *b* – átalakulás befejező időpontja)

- **Kiértékeljük az eredményeket.** Volt-e kieső mért érték, mi lehetett az oka? A kísérletek elvégzése során a biztonsági előírásokat be kell tartani!

JEGYZŐKÖNYV

Címe:

Készült (dátum)

Készítette:

A mérés helyszíne:

A mérés célja:

A mérés elve:

A mérés eszközei:

– csőkemence, típusa:

– keménységmérő gép, típusa:

– csiszolópapír szemcsenagysága:

– oldalsípőfogó:

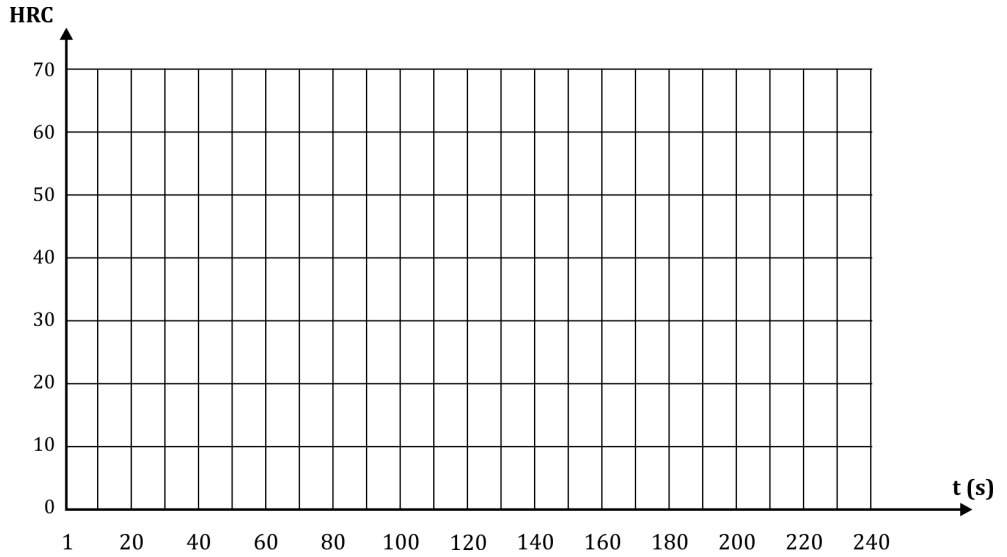
– hőálló kesztyű:

A mérés leírása:

.....

Mért eredmények:

	Hőntartási idő (s)									
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	240
1. mérés HRC										
2. mérés HRC										
3. mérés HRC										
4. mérés HRC										
5. mérés HRC										
Átlag										



I.5. ábra. Mért eredmények

A mérés kiértékelése:

.....

.....

.....

Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

.....

.....

.....

Mérést végzők aláírásai

II. AZ AUSZTENIT SZEMCSEMÉRETÉNEK MEGHATÁROZÁSA KÍSÉRLETI ÚTON

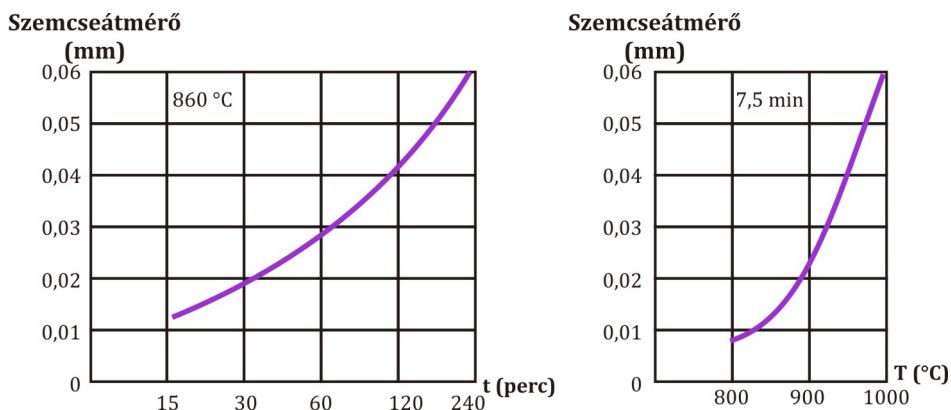
Szemcse alatt a fémek krisztallitjait értjük. A mikroszkópi csiszolatokon ezek a szemcsék sokszögekkel elhatároltan jelennek meg. Még a közel azonos szemcsenagyságú szövetségben is a csiszolaton különböző nagyságú krisztallitok láthatók, amelyek nagysága a közel nullától a valóságos szemcseméretig terjed. Ennek oka, hogy a csiszolat készítése során készített sík a szemcséket különböző helyeken metszi.

Az izzításkor létrejövő ausztenit tulajdonsága, hogy szemcsemérete nem állandó. Mindaddig, míg az acél ausztenites állapotban van, a szemcsemérete növekszik. Hőkezeléseknél általában törekedni kell a minimális szemcseméretre, mert ehhez kedvezőbb mechanikai tulajdonságok tartoznak. A fentiek miatt fontos a szemcsenagyság ismerete.

A keletkező ausztenit szemcsenagyságát az alábbi tényezők befolyásolják:

- az ausztenitesítés hőmérséklete,
- a hűtési ideje,
- a hevítés sebessége az ausztenitesítési hőmérsékletre,
- az acél eredeti szövetszerkezete,
- az acél vegyi összetétele,
- az acél kikészítési módja.

A fentiek közül legnagyobb hatása a hőmérsékletnek és a hűtési időnek van. Ezt jól szemlélteti a **II.1. ábra**, ahol a hőmérsékletnek és a hűtési időnek szemcseméretre gyakorolt hatása van feltüntetve egy 60SM1 minőségű rugóacélra. Az ábrából az is látszik, hogy hőmérséklet növelése hatására sokkal intenzívebb a szemcsenagyság növekedése, mint a hűtési idő növelésével.

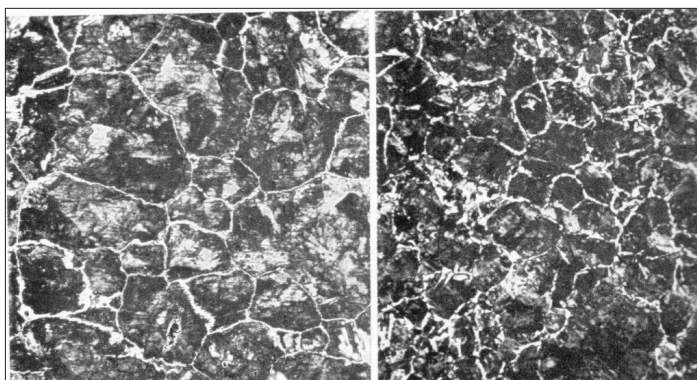


II.1. ábra. Hőmérséklet és hőntartási idő hatása az ausztenit szemcsenagyságára

Az ausztenit szemcsenagyságának láthatóvá tétele

a) Ferrithálós (cementithálós) módszer

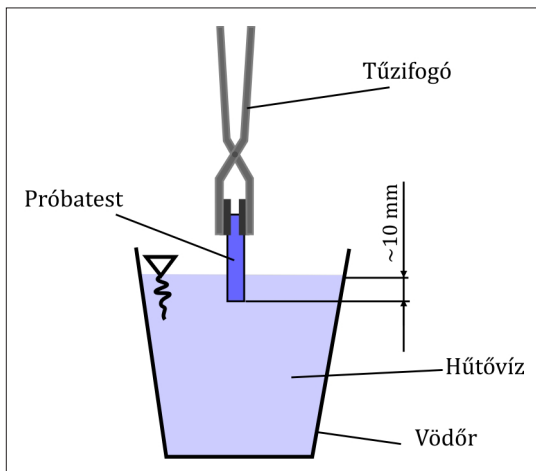
Ötvözetlen hipoeutektoidos, illetve 1,0% feletti hipereutektoidos acélok vizsgálatára alkalmas. A vizsgálat elve az, hogy ha egy ausztenites állapotú próbatestet az $A1 + (10-30) ^\circ\text{C}$ -ra lehűtjük és ott hűn tartjuk rövid ideig (3–15 min), elkezdődik a ferrit (cementit) képződése. Kezdetben ez a folyamat az ausztenitszemcsék határán indul meg. Ha gyorsan lehűtjük erről a hőmérsékletről, akkor a még meglévő ausztenit átalakul martenzitté. A jobb láthatóság biztosítása végett a keletkező martenzitet meg kell eresztetni, ezáltal jobban fog maródni (II.2. ábra).



II.2. ábra. Hálós szövetszerkezetű szekunder cementit (a) és ferrit (b)

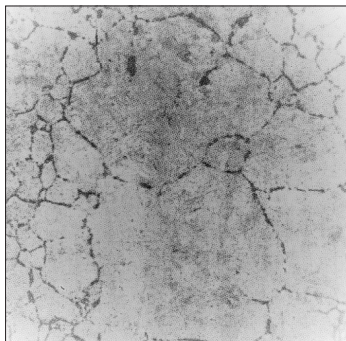
b) Perlithálás módszer

Ezzel a módszerrel még az eutektoidos összetételű ötvözetlen acélok is vizsgálhatók. A vizsgálathoz kb 5–10 mm átmérőjű, 80–100 mm hosszú acélpróbát az edzési hőmérsékletén ausztenitesítjük. Ausztenitesítés után a próbát részlegesen edzük, úgy, hogy fogóval megfogva függőleges helyzetben a próba végét 8–10 mm hosszan vízbe mártjuk, és addig hűtjük, míg teljesen le nem hűl (II.3. ábra).



II.3. ábra. A próbatest hűtése

A vizsgálat elve, hogy egy próbatestben különböző lehűtési sebességeket valósítunk meg. A vízbe érő rész teljesen átédződik, míg a víz szintjétől távolodva egyre lassúbb a lehűlési sebesség. A vízzel határos zónában csak részleges edződés következik be, és így a szemcsehatárokon megjelenik egy finomlemez perlitáló (II.4. ábra).



II.4. ábra. Finomlemez perlitáló

A hipoeutektoidos acélok esetén a próbatest-megfogási hely környezetében megjelenhet a ferritháló is.

A Jominy-próbatest szintén felhasználható szemcsenagyság meghatározására.

c) Maratási eljárás

Ez az eljárás a martenzites-bénites szövetszerkezetű edzett acélok edzés előtti ausztenit-szemcseméret meghatározására alkalmas.

A vizsgálandó próbákat homogén ausztenites állapotba kell hozni, majd gyorsan vízben lehűteni. A jobb maródás miatt 250–550 °C közt megereszteni.

Az edzett és megeresztett próbáról el kell távolítani az oxidált, dekarbonizálódott réteget, majd mikroszkópi csiszolatot kell készíteni. Az előkészített próbát 100 ml telített pikrinsav +0,5–1,0 ml zsíralkohol-szulfonát tartalmú marószerben kell maratni. Maratáskor a korábbi ausztenit-szemcsehatárok sötétre színeződnek (**II.5. ábra**).

A maratást esetleg többször meg kell ismételni. A marószer 50–70 °C-ra való melegítésével szintén aktívabbá tehetjük a marószeret. 1,5% Si felett a módszer nem alkalmazható.



II.5. ábra. Maratott martenzites szövet

A fenti szabványos eljárásokon kívül ismertek még a gyakorlatban nagyon jól alkalmazható módszerek is, amelyekkel az ausztenit szemcsenagysága láthatóvá tehető.

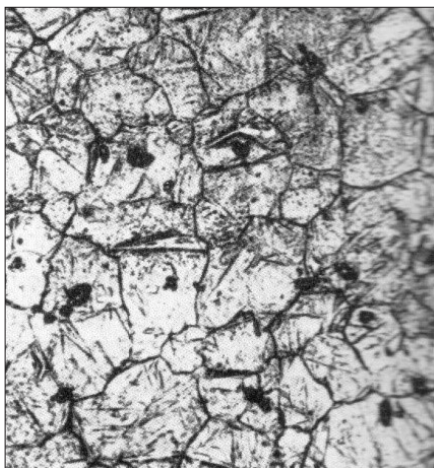
d) Nem szabványos, ferrit-, illetve cementithálós eljárások

A 0,6–0,7% C tartalmú hipoeutektoidos acélokat és a hipereutektoidos acélokat ausztenitesítés után kemencével együtt hűtjük le. A kisebb széntartalmú

(0,4–0,65% C) levegőn a 0,4% C alatti acélokot fűvott levegőn hűtjük. Ezekben az esetekben a kisebb mennyiségben kiváló ferrit (cementit) hálósan fog elhelyezkedni, amely alapján a szemcsenagyság megfigyelhető.

e) A martenzit térfogatváltozásán alapuló módszer

Két $\phi 15$ mm, 3 mm vastag próbatestet készítünk, amelyek egyik oldalát megcsiszoljuk, polírozzuk. A két próbát polírozzuk, oldalaikkal összeillesztjük, hőálló huzallal szorosan összekötjük. Így ausztenitesítjük, majd a kellő hőntartási idő letele után vízben eddük. A kemencében célszerű semleges atmoszférát biztosítani. Az edzett próbák polírozott oldalán a martenzit képződése során bekövetkező térfogatváltozás domborművi rajzot (reliefet) hoz létre. Az ausztenitzemcsék határa barázdaként tűnik elő (II.6. ábra).



II.6. ábra. *Domborművi rajzolat*

f) Ausztenit-szemcsehatár látathatóvá tétele könnyen olvadó fémmel

Az ausztenit szemcsehatárait oly módon is láthatóvá tehetjük, hogy könnyen olvadó fémet, pl. ólomot juttatunk a szemcsehatárhoz. A megolvadt ólom ugyanis gyorsabban oldja a szemcsehatárok anyagát, és az ilyen módon létrejövő részekbe hatol. Az elkészített csiszolatot meghatározott ideig az ausztenitesítési hőmérsékletre felhevített ólomfürdőbe nyomjuk. Ausztenitesítés után a csiszolatot újra polírozzuk és maratjuk. Az ólom a marószerben (pl. 3–5%-os Nital) nem maródik, ezért világos színnel rajzolódik ki a szemcsehatár. A keletkező ólomgőzök miatt mérgező, nem ajánljuk az elvégzését.

A szemcse nagyság mérése

A különböző mintákon különböző eljárásokkal létrehozott szemcse nagyságot az összehasonlíthatóság miatt meg is kell tudni mérni.

A szemcse nagyság mérésére a szabvány az alábbi eljárásokat ajánlja:

- etalonképpel való összehasonlítás,
- adott területre eső szemcsék számlálásával,
- adott mérőhosszra eső szemcsék számlálásával.

Az összehasonlító módszer szerint egy előre elkészített mesterséges szemcseháló-sorozattal hasonlítjuk össze a vizsgált próba szemcseméretét. Ez a sorozat általában 100×-os nagyításban ábrázolja a szemcséket. A módszer nagyon jól alkalmazható tiszta ferrites, illetve összefüggő ferrithálós, perlites, cementit-hálós acélok szemcse nagyságának meghatározására. Hidegen alakított, deformálódott szemcse nagyság meghatározására nem alkalmas.

Szemcsék méretének meghatározása szemcse számlálással. Ezáltal nagyobb pontosságú meghatározást végezhetünk. A mérést úgy végezzük el, hogy ismert területen (pl. a látómező egészében) megszámláljuk a szemcséket (n) – figyelembe véve azt a szabályt, hogy a látómezőbe teljes területével be nem eső szemcséket fél szemcsének kell tekinteni –, és a területek egyenlősége alapján meghatározzuk a gömbnek feltételezett szemcsék átlagos átmérőjét. Ha a látómező átmérőjét (D) tárgymikrométerrel meghatároztuk, akkor a szemcsék átlagos átmérője (d) a következőképpen számítható:

$$d = \frac{D}{\sqrt{n}} .$$

A számlálást végezhetjük vonal mentén is, amelyből szintén meghatározható egy szemcse átlagos átmérője.

A szemcseátmérőből kör alakúnak feltételezve a szemcse metszetét meghatározhatjuk egy szemcse területét, „ A ”-t. Ennek reciprokját véve megkaphatjuk az egy négyzetmilliméterre eső szemcsék számát, „ S ”-t.

$$S = 1/A \text{ db szemcse/mm}^2$$

Az 1 mm²-re eső szemcsék számát a szemcse nagyság fokozatszámával, „ G ”-vel is kifejezhetjük:

$$S = 2^{G+3}$$

A szemcse méret meghatározása akkor a legpontosabb, ha a látómezőben kb. 50 darab szemcse látható. Ezért durva- vagy finomszemcsés acélokat 100-szo-

rosnál kisebb vagy nagyobb nagyításon kell vizsgálni. A látómező átmérője 80 mm legyen.

A pontosság növelése érdekében a vizsgálatot célszerű több különböző nagyítással is elvégezni. Ebben az esetben a szemcsenagyság fokozatszámát (amit 100x nagyításban kell megadni) az alábbi átszámítással lehet megadni:

$$N_{100} = N_x + 2 \log_2 x/100$$

ahol:

- x – az aktuális nagyítás;
- N_x – az aktuális nagyításhoz tartozó fokozatszám;
- N_{100} – a százszoros nagyításhoz tartozó fokozatszám.

Mérési gyakorlat

A gyakorlat célja az ausztenit szemcsenagyságának különböző eljárásokkal való láthatóvá tétele.

A fent felsorolt eljárások közül az a), b) és d) eljárások elvégzését ajánljuk.

A kísérletekhez szükséges eszközök:

- csókemence (lásd I.3. ábra),
- 3 db kamrás kemence,
- $\varnothing 0,8$ –1 mm-es lágyacél huzal,
- hűtővíz (pl. fém vödörben),
- csiszolópapírok,
- polírozókorong,
- fémmikroszkóp,
- tűzifogó,
- oldalcsípőfogó,
- hőálló kesztyű,
- Nital marószert (3% HNO_3 + 87% alkohol),
- hideglevegős hajszárító.

a) Szabványos ferrithálás módszer

Ebben az esetben a próbatest $\varnothing 20 \times (10-15)$ mm C45 anyagminőségű. Javasoljuk több próbatest alkalmazását (3–5 db).

A kísérlet menete:

- A próbatesteket behelyezzük az ausztenítési hőmérsékletű (jelenleg 840 °C) kamrás kemencébe.
- A hőtartási idő 30 min.

- Hőntartási idő letelte után áthelyezzük a próbatesteket egy 740 °C-ra felfűtött kamrás kemencébe.
- Itt a hőntartási idő a próbák darabszámától függően 3, 5, 8, 10, 12 min. A ferritháló megjelenése ugyanis függ az áthelyezés gyorsaságától, a kemencék hőkapacitásától stb.
- Az adott idő letelte után a próbatestet kivesszük, és gyorsan vízben hűtjük.
- Az edzett próbákat 250°C-on fél órát megeresztjük a harmadik kamrás kemencében.
- Csiszolatot készítünk, polírozzuk.
- Megmaratjuk a próbatestet Nital marószerral.
- Mikroszkóp alatt megmérjük a szemcsenagyságot.

b) Perlithálás módszer

Ebben az esetben javaslunk egy $\phi 20 \times 100$ mm C45 anyagminőségű próbatest. A nagyobb átmérőjű próbatestet könnyebb mikroszkópi előkészítéshez kezelni. A próbatesten a palástja mentén ~4–5 mm mélyen leköszörüljük, ezáltal egy 8–10 mm széles sík felületet hozunk létre. A további vizsgálatok helye ez lesz.

A kísérlet menete:

- A próbatesteket behelyezzük az ausztenitési hőmérsékletű (jelenleg 840 °C) kamrás kemencébe.
- A hőntartási idő 35 min.
- Hőntartási idő letelte után a próbatestet tűzi fogóval megfogjuk, és vízben részlegesen eddük (**II.3. ábra**).
- Hűtési idő 10 min, majd lehűtjük az egész próbatestet.
- A köszörült felületen mikroszkópi csiszolatot készítünk. Figyelem! Csak kézzel szabad csiszolni, forgó korongra tenni a balesetveszély miatt tilos!! Polírozni nem kell, mert a finom fokozatú papíron megcsiszolt próbatesten is jól kirajzolódik a szemcsehatár.
- Megmaratjuk a próbatestet Nital marószerral.
- A mikroszkópi látképen megmérjük a szemcsenagyságot.

c) Nem szabványos ferrithálás módszer

Ebben az esetben a próbatest $\phi 10 \times 3$ mm C45 anyagminőségű acél. Javasoljuk több próbatest alkalmazását is.

A kísérlet menete:

- A próbatestet kötöző drótra felfűzzük (**I.3. ábra**)
- Behelyezzük az előzetesen 850 °C-ra felfűtött kemencébe.

- Hőntartási idő 4 perc (függ a csökemence hőkapacitásától).
- A hőntartási idő letelte után a próbatestet a kötöző drótnál fogva visszahúzzuk, és kiakasztva nyugvó levegőn hagyjuk lehűlni.
- Ajánlatos egy másik próbatesttel az ausztenitesítést megismételni, és azt fűvott levegőn lehűteni (fűvott levegőnek megfelel egy hideg levegőt is biztosító hajszáritó).
- Csiszolatot készítünk, polírozzuk.
- Megmaratjuk a próbatestet Nital marószerrel.
- Mikroszkóp alatt megmérjük a szemcsenagyságot.

Csiszolatkészítés

A csiszolást csiszolópapírokon végezzük. A csiszolópapírokat P betűvel és számmal jelölik. Az alábbiakban ezen sorozatból megadunk néhányat a durvább fokozattól kezdve a finomabbak felé haladva: P40, P60, P100, P150, P240, P400, P1000.

A csiszolást kézzel és géppel is végezhetjük. A műveletet durvább fokozaton kell kezdeni, majd egyre finomabbak felé kell haladni. Az egyes fokozatok közt le kell mosni a darabokat, hogy az esetleg rajtamaradt szemcséket eltávolítsuk. Az egyes fokozatok közt a munkadarabot 90 fokkal el kell fordítani, hogy így végezzük a következő fokozaton a csiszolást. Egy-egy fokozaton addig kell csiszolni, míg az előző csiszolás nyomai, karcai el nem tűnnek.

A polírozást forgó korongon alumínium-oxid szuszpenzióval végezzük.



II. 7. ábra. Forgókorongos polírozó

Ma már megjelentek a gyémántszemcsés csiszoló- és polírozótárcsák, amelyeken nagyon hatékony és gyors a csiszolatkészítés.



II. 8. ábra. Forgótárcsás csiszoló, polírozó gyémántszemcsés tárcsákkal

Csiszolás után lemoszuk a darabot, alkohollal öblítjük és megszáritjuk. Ha közvetlen maratunk, akkor az alkoholos öblítés és szárítás elmaradhat. A maratást jelen esetben 3%-os Nital oldatban végezzük. (Megjegyezzük, hogy számos marószerszám-összetétel ismert különböző szövetelemek, fázisok láthatóvá tételére.) Maratás után a próbatestet le kell mosni, alkohollal le kell öblíteni és meg kell szárítani.

Az így előkészített próbatesteket vihetjük mikroszkópi mérésre.

Meghatározzuk a szemcsenagyságot elsősorban százszoros nagyításban összehasonlító módszerrel, illetve ha szükséges, kisebb vagy nagyobb nagyításban is elvégezzük a mérést. A nem százszoros nagyításban végzett méréseket átszámítjuk az ismert összefüggéssel százszoros nagyításra.

JEGYZŐKÖNYV

Címe:

Készült (dátum)

Készítette:

A mérés helyszíne:

A mérés célja:

.....

A mérés elve:

.....

.....

A mérés eszközei:

- csókemence (lásd I.3. ábra)
- 3 db kamrás kemence
- $\phi 0,8$ - 1mm-es lágyacél huzal
- hűtővíz (pl. fém vödörben)
- csiszolópapírok
- polírozó korong
- fémmikroszkóp
- tűzifogó
- oldalcsípő fogó
- hőálló kesztyű
- Nital marószer (3% HNO_3 + 87% alkohol)
- Hideglevegős hajszártó

A mérés leírása:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Mért eredmények:

Szabványos ferrithálós módszerrel mért eredmények:

Mérések száma	Szemcse nagyság fokozatszáma (G)	Egy négyzetmilliméterre eső szemcsék száma (db)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		
Átlag		

Perlithálós módszerrel kapott eredmények

Mérések száma	Szemcse nagyság fokozatszáma (G)	Egy négyzetmilliméterre eső szemcsék száma (db)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		
Átlag		

Nem szabványos ferrithálós módszerrel kapott eredmények

Mérések száma	Szemcse nagyság fokozatszáma (G)	Egy négyzetmilliméterre eső szemcsék száma (db)
1. mérés		
2. mérés		
3. mérés		
4. mérés		
5. mérés		
Átlag		

A mérés kiértékelése:

.....

.....

.....

II. Az ausztenit szemcseméretének meghatározása kísérleti úton

Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

.....
.....
.....

Mérést végzők aláírásai

III. AZ ÁTEDZHETŐSÉG VIZSGÁLATA KÍSÉRLETTEL ÉS SZÁMÍTÁSSAL (JOMINY-VIZSGÁLAT)

Az edzhetőség meghatározása

Az acélok egyik jelentős szilárdságnövelő eljárása a nemesítés. A nemesítés edzésből és azt követő magas hőmérsékletű megeresztésből álló folyamat. Jellemző szilárdságnövelés a nemesítésnél csak akkor érhető el, ha edzéssel a szövetszerkezetet nagyrészt martenzitté tettük. A martenzites szövetszerkezet elérésére a munkadarabot át kell edzeni. Átedződött szelvényátmérőnek nevezük azt az átmérőt, amely esetében a magban min. 50% martenzit alakul ki. Megeresztéssel csak ebben az esetben tudjuk biztosítani a megfelelő $R_{p0,2}/R_m$ arányt. Ezért különböző számítási és kísérleti eljárások fejlődtek ki, amelyek segítségével az átedződő szelvényátmérő (amely a magban 50% martenzitet tartalmaz) meghatározható.

Az átedződő szelvényátmérő meghatározása számítással:

Ötvözetlen acélra az ideális kritikus átedződő szelvényátmérő számítását régebben Grossmann dolgozta ki az alábbiak szerint:

$$D_i = 1,08^{8-n} \cdot 8\sqrt{C\%}$$

ahol:

- n - az ausztenit-szemcsenagyság fokozatszám
- C% - az acél széntartalma %-ban.

Az ideális kritikus átedződő szelvényátmérő azt jelenti, hogy végtelen gyors hűtési sebességgel hűtve a munkadarabot, a magjában 50% martenzit található. Ötvözött acél esetén figyelembe kell venni az ötvözők mennyiségét is különböző faktorokkal.

$$D_{\text{ötv}} = D_i(1 + f_{\text{Cr}} \text{Cr}\%) (1 + f_{\text{Mn}} \text{Mn}\%) (1 + f_{\text{Si}} \text{Si}\%)$$

ahol:

– Cr, Mn, Si – az ötvözőelemek százaléka

$$- 1 + f_{Cr} \cdot Cr\% = F_{Cr}$$

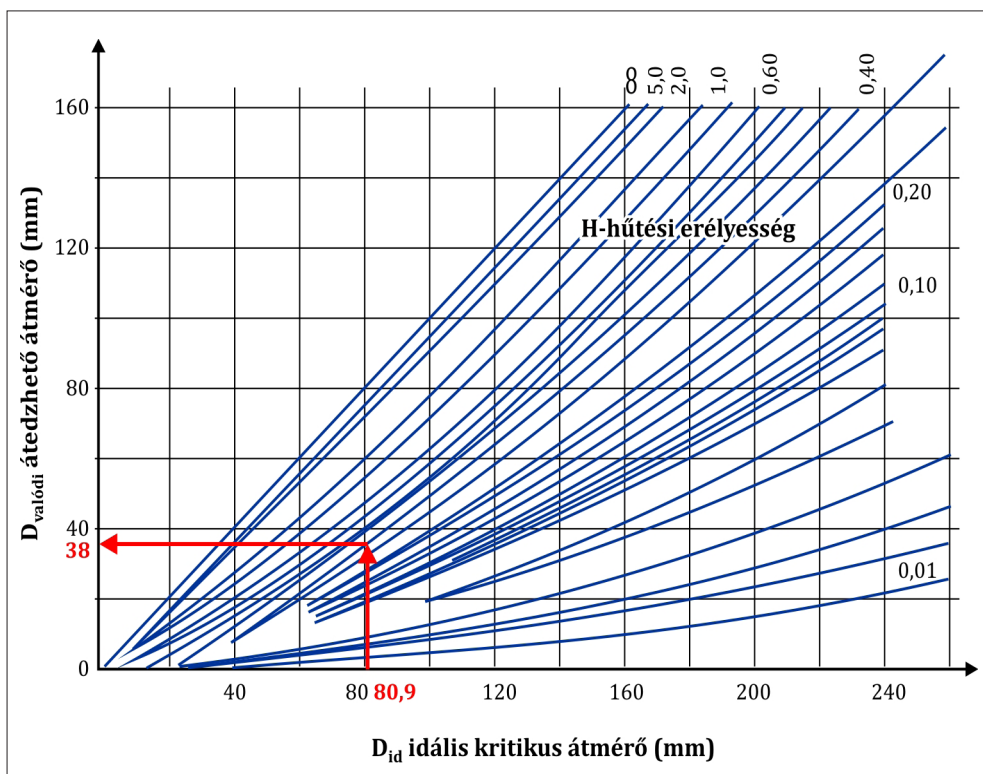
$$- 1 + f_{Mn} \cdot Mn\% = F_{Mn} \text{ stb.}$$

Az f_{Mn} , illetve F_{Mn} faktorok nomogramokból vehetők.

Moser-Legat (1969) szerint a karbontartalom jobban növeli az ideális kritikus átmérőt, míg az ötvözőelemek az edzhetőségre gyakorolt ötvözőelemek hatása szerintük kisebb, mint a Grossmann-féle számításnál. Ezért ők az ötvözőelemek faktorainak kisebb értékeket tulajdonítanak.

Az ideális átedződő szelvényátmérőből a valós átedződő szelvényátmérő meghatározására különböző nomogramok állnak rendelkezésünkre (III.1. ábra).

Pl. ha a hűtőközegolaj, amely hűtési erélyessége $H = 0,4 \text{ mm}^{-1}$ a számított ideális átmérő $D_{id} = 80,9 \text{ mm}$, a valódi átedzhető átmérő $D_{valódi} = 38 \text{ mm}$.



III.1. ábra. A tényleges átedzhető szelvényátmérő meghatározása az ideálisból

A valós átedződő szelvényátmérő jól meghatározható az alábbi tapasztalati összefüggésekkel is:

- vízhűtésre $D_v = 0,7 D_{iötv}$
- olajhűtésre $D_0 = 0,45 D_{iötv}$

Átedzhető szelvényátmérő meghatározása E. Just módszerével

E. Just a Jominy-kísérletek alapján olyan módszert dolgozott ki, amelynek segítségével a keménység számszerű értékeit kapjuk meg a véglaptól mért távolság függvényében.

Ha az ausztenit szemcsenagyság: 5–7, a véglap keménysége:

$$H_{\max} = 60 \cdot \sqrt{C\%} + 20[HRC]$$

A Jominy-görbe egyenlete 6–40 mm véglaptávolság esetén:

$$H_{6...40} = 78 \cdot C\% + 22 \cdot Cr\% + 21 \cdot Mn\% + 6,9 \cdot Ni\% + 33 \cdot Mo\% - 16,11 \cdot \sqrt{E} + 1,17 \cdot E + 18[HRC]$$

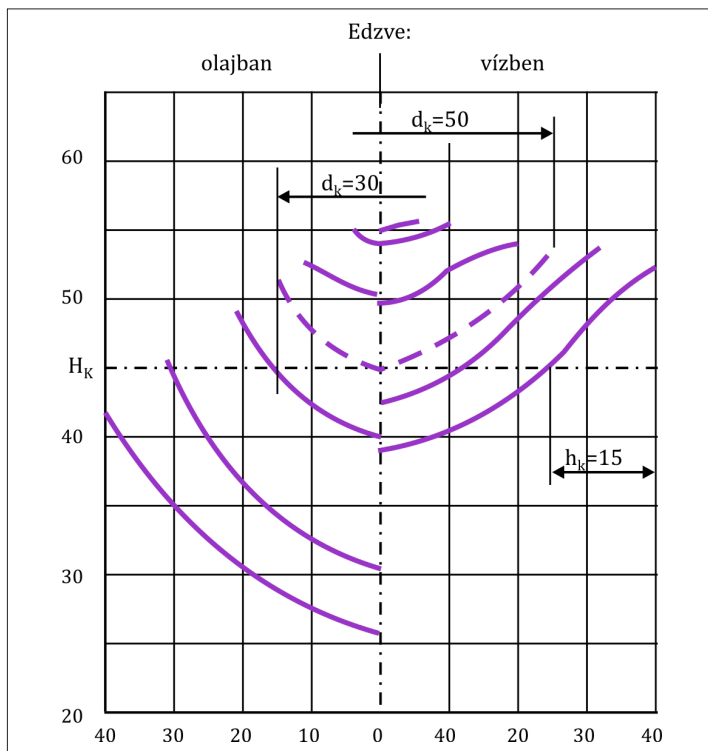
ahol E a véglaptól való távolság (mm).

A képletek segítségével tehát meg tudjuk határozni a Jominy-görbét.

Az átedződő szelvényátmérő meghatározása kísérlettel

a) Keménységtraverz felvétele

Többféle kísérleti eljárás ismert az átedződő szelvényátmérő meghatározására. Egyik ilyen módszer a keménységtraverz felvétele. A vizsgálat során $L=(3...4) \times \phi$ hosszúságú, különböző átmérőjű acélrudakat edzünk vízben és olajban a vizsgált paraméterekkel. Az edzett rudakat kettévágjuk, felületét megköszörüljük, majd keménységet mérünk rajta az átmérő mentén. A keménységeket ábrázolva az átmérő függvényében megkapjuk a keménységtraverzet. Ilyen keménységtraverz látható a **III.2. ábrán** víz- és olajhűtésre. A H_k az 50% martenzithez tartozó keménységet jelöli. Az ábra szerinti anyag vízben 50 mm átmérőben edződik át úgy, hogy a közepében 50% a martenzit, míg olajban hűtve csak 30 mm az átedzhető átmérő.

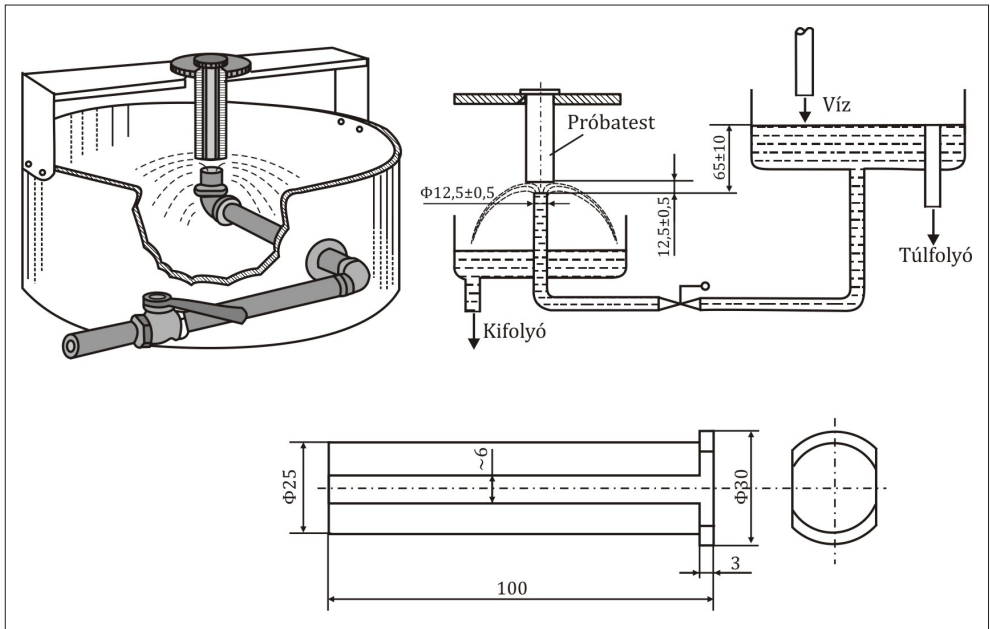


III.2. ábra. A tényleges átedzhető szelvényátmérő meghatározása az ideálisból

b) Véglapedző módszer, Jominy-vizsgálat

A leginkább elterjedt kísérleti módszer a Jominy-vizsgálat (véglapedző próba), amelynek kísérleti körülményeit az EN ISO 642:1999 szabvány rögzíti.

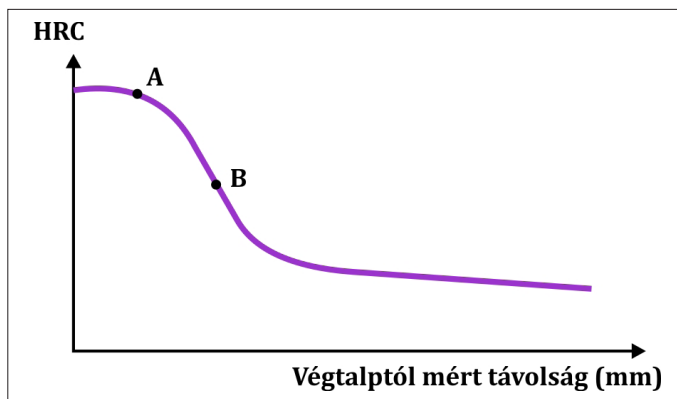
A vizsgálat elve, hogy egy ausztenitesített állapotú hengeres próbatestet az egyik véglapjára irányított vízszugárral hűtünk. A próbatestet vízzel hűtött része igen gyorsan (kb. 700 °C/s) hűl, míg a véglaptól távolodva a lehűtési sebesség folyamatosan csökken. A véglaptól 50 mm-re lévő felületi pont már csak (kb. 2,5 °C/s) sebességgel hűl. Így a próbatestet alkotója mentén megtaláljuk a legkülönbözőbb lehűlési sebességgel keletkező szövetelemeket. A próbatestet két egymással szemben lévő alkotója mentén megköszörüljük kb. 0,4 mm mélyen, hogy egy ~6–8 mm széles felület keletkezzen. Ezen a felületen a véglaptól kezdve HRC vagy HV30 keménységet mérünk. Vickers keménység mérésénél a felületet csiszolással jobban elő kell készíteni. A keménységet a véglaptól mért távolság függvényében ábrázolva kapjuk a Jominy-görbét. A hűtőkészülék vázlatát és a próbatestet a III.3. ábrán mutatjuk be a fő paraméterek megadásával.



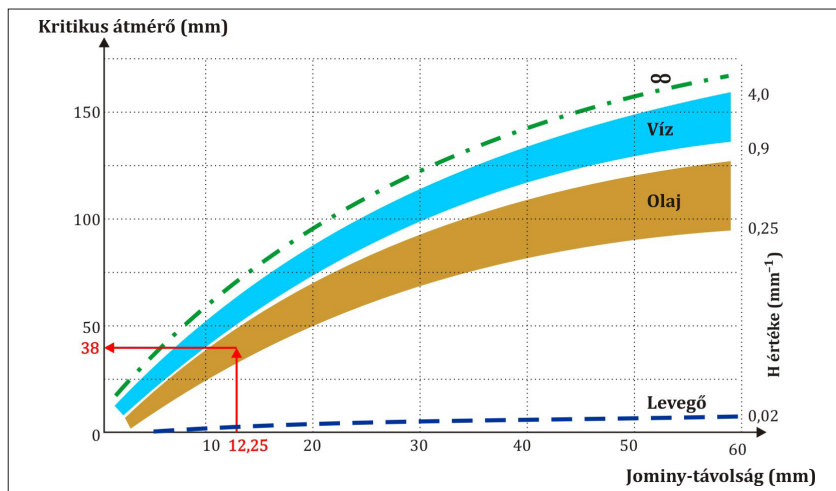
III.3. ábra. Hűtőkészülék a véglapozó próbához

A Jominy-görbe a III.4. ábrán látható. A görbe A pontjában ~95% a martenzit mennyisége, míg a legjellegzetesebb pontja az inflexió pont (az ábrán B pont), amelyben a szövetszerkezet közel 50%-ban tartalmaz martenzitet. Ebből a pontból nomogramok segítségével határozzuk meg az átedződő szelvényátmérőt különböző erélyességű hűtőközegekre.

Ha a B pont véglaptól mért távolsága 12,5 mm, akkor olajhűtésre az ideális kritikus átmérfő 38 mm.



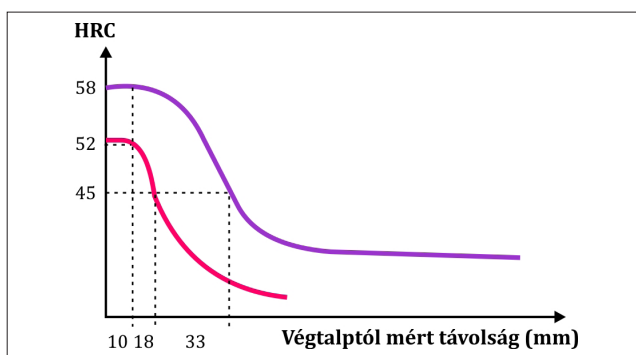
III.4. ábra. Jominy-görbe



III.5. ábra. A kritikus átmérő meghatározása a Jominy-görbe és a hűtőközeg relatív hűtőképességének ismeretében

A Jominy-görbe pontjait szabványosan is megadhatjuk. Pl. a J54-26 jelentése az, hogy a véglaptól 26 mm távolságra a keménység 54 HRC.

Az acélok összetétele az anyagszabványokban megadott szabványos intervallumon belül változhat. Minden azonos anyagminőségű szabványos acélhoz tartozik egy Jominy-görbe. Ezeknek a görbéknek az összessége egy Jominy-sávot ad, amelyben az adott anyag Jominy-görbéje megtalálható. Az acélszabványok a Jominy-sávot adják meg. Egy ilyen Jominy-sávot mutatunk be a III.6. ábrán. A felhasználók arra törekednek, hogy minél szűkebb legyen ez a Jominy-sáv, mert hőkezeléssel jobban kézben lehet tartani a mechanikai tulajdonságokat, kisebb ezek szórása. A Jominy-sáv pontjainak szabványos megadása az ábra alapján J 52/58-10 vagy J45-18/33 (III.6. ábra).



III.6. ábra. Jominy-sáv

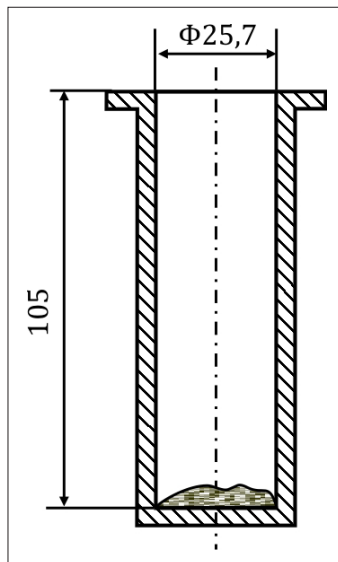
A Jominy-görbe felvétele

A mérés célja:

Különböző összetételű acél Jominy-görbéjének felvétele, ezek összehasonlítása, a B pont ismeretében a kritikus átedződő szelvényátmérő meghatározása olaj és víz hűtőközrege.

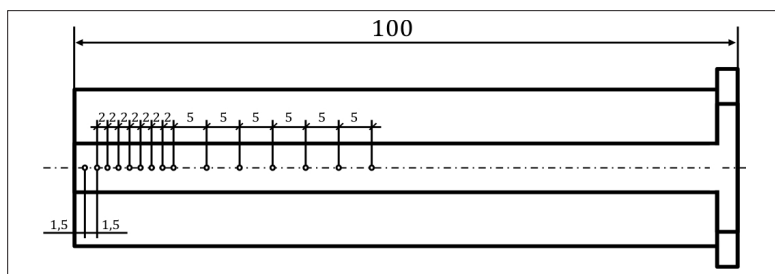
A kísérlet menete:

- A kapott próbatetek anyagminőségének ismeretében meghatározzuk az edzési hőmérsékletüket (szabvány alapján). A próbatetek egyike ötvöztelen acélból, pl. C45, a másik ötvözött acélból készült, pl. CrV3 vagy 42CrMo₄ stb.
- Biztosítani kell a próbatetek hevítés közbeni dekarbonizálódás elleni védelmét. Semleges közegben kell hevíteni, vagy lágyacél tokba kell helyezni, amely alján dezoxidálószer helyezkedik el (pl. öntöttvas forgács, faszén stb.), lásd a **III.7. ábrát**.
- A próbatestet a védőtokkal behelyezzük az előzetesen edzési hőmérsékletre felfűtött kemencébe. A védőtök átmelegedését is figyelembe véve a hőntartási idő 35 min.
- Beállítjuk az edzőkészülékben a megfelelő víznyomást. A beállítás a túlfolyó magasságával állításával lehetséges. A víznyomás akkor megfelelő, ha a kifolyónyílás alatt 60 mm-re a keletkező harang átmérője ~210 mm.



III.7. ábra. Védőtök

- A hőntartási idő leteltével a próbatestet a kemencéből a védőtokkal kivesz-
szük. A próbatestet kihúzva a védőtokból a hűtőkészülékbe helyezzük (III.3.
ábra). A vízcsap gyors kinyitásával az előre beállított erősségű vízugarat a
hűtendő véglapra eresztjük. A kemencéből való kivétel és az edzés megkez-
dése között 5s-nál hosszabb idő nem telhet el. Esetünkben a védőtok csök-
kenti a szabad levegőn való hűtés mértékét, így pár másodperccel több idő
is megengedhető. A hűtővíz hőmérséklete 5–30 °C között legyen. A mérés
közben a készüléket huzatmentes helyen kell tartani. A hűtést legalább 10
percig kell végezni, majd a próbatest hideg vízben lehűthető.
- A próbatest két ellentétes palástja mentén megköszörüljük, hogy 6–8 mm
széles sík felület keletkezzen. Köszörülésnél intenzíven kell hűteni, mert az
esetleges felmelegedése a próbatesten – különösen a véglapja felől – befo-
lyásolhatja a mérési eredményeket. Ha HV30 keménységet mérünk, akkor a
próbatest felületét egyre finomabb csiszolópapírokon tovább kell csiszolni.
- Az előkészített próbatesten a véglaptól kiindulva 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16,
18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, (60, 70, 80, 90) mm távolságokban keménysé-
get mérünk (III.8. ábra).
- A keménységi adatok alapján megrajzoljuk a Jominy-görbét.
- A fenti vizsgálatokat mindkét, különböző anyagú próbatesten elvégezzük.
- Összehasonlítjuk az általunk felvett Jominy-görbéket az adott acélokra szab-
ványban megadott Jominy-sávval, hogy megnézzük, a görbéink beleesnek-e
a sávba.
- Megkeressük a Jominy-görbék inflexiós pontjait, a B pontot.
- A B pont ismeretében meghatározzuk a kritikus átedződő szelvényátmérőt
a III.5. ábra alapján mindkét acélminőségre.
- Értékelésben összehasonlítjuk az ötvöztelen és az ötvözött acél Jominy-gör-
béjét, illetve az átedzhető szelvényátmérőket.
- A mérésről elkészítjük a jegyzőkönyvet.



III.8. ábra. Keménységmérési pontok helye az előkészített próbatestenen

JEGYZŐKÖNYV

Címe:

Készült (dátum)

Készítette:

A mérés helyszíne:

A mérés célja:

.....

A mérés elve:

.....

.....

A mérés eszközei:

– ötvözetlen és ötvözött acélból készített Jominy próbatest

– véglapedző készülék

– hőkezelő védőtok

– kamrás kemence, típusa:

– keménységmérő gép, típusa:

– síkköszörűgép, típusa:

– csiszolópapír szemcsenagysága:

– tűzi fogó

– hőálló kesztyű

A mérés leírása:

.....

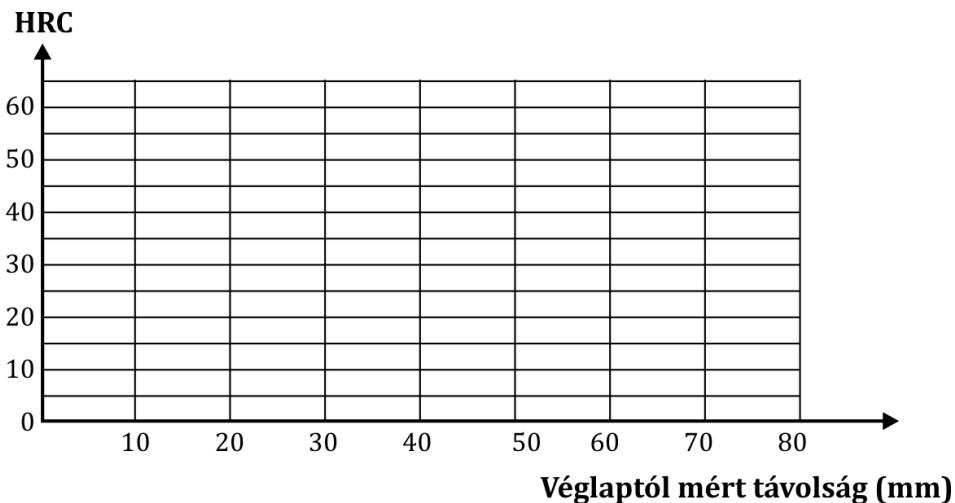
.....

.....

Mért eredmények:

	Véglaptól mért távolság [mm]																
	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50
Ötvözetlen acél próba HRC																	
Ötvözött acél próba HRC																	

Jominy-görbék:



III.9. ábra. Felvett Jominy-görbék

A B pont távolsága és a hozzá tartozó keménység:

Ötvözetlen próba esetén:

B pontmm távol a véglaptól

Keménység a B pontnálHRC

Ötvözött próba esetén:

B pontmm távol a véglaptól

Keménység a B pontnálHRC

Ideális átedződő szelvényátmérő

vízhűtésre

ötvözetlen acélramm

ötvözött acélra.....mm

olajhűtésre

ötvözetlen acélramm

ötvözött acélra.....mm

A mérés kiértékelése:

.....

.....

.....

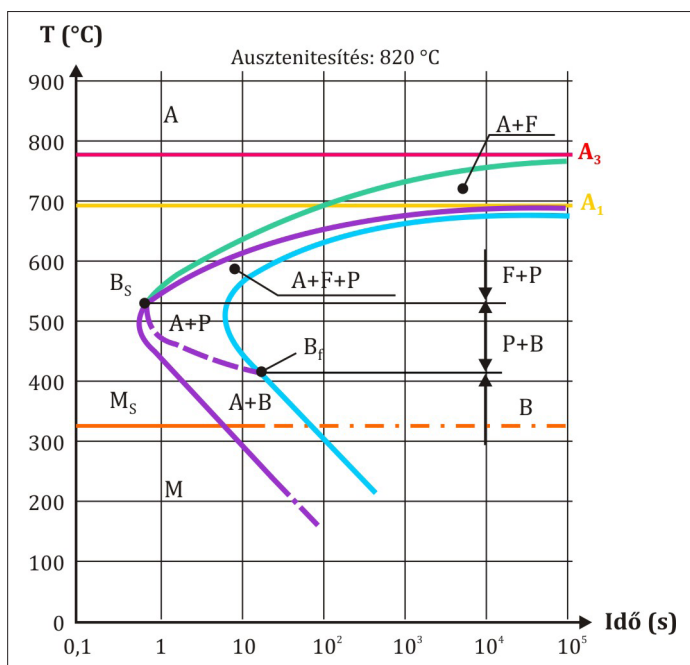
Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

.....
.....
.....

Mérést végzők aláírásai

IV. AZ AUSZTENIT IZOTERMIKUS ÁTALAKULÁSÁNAK VIZSGÁLATA

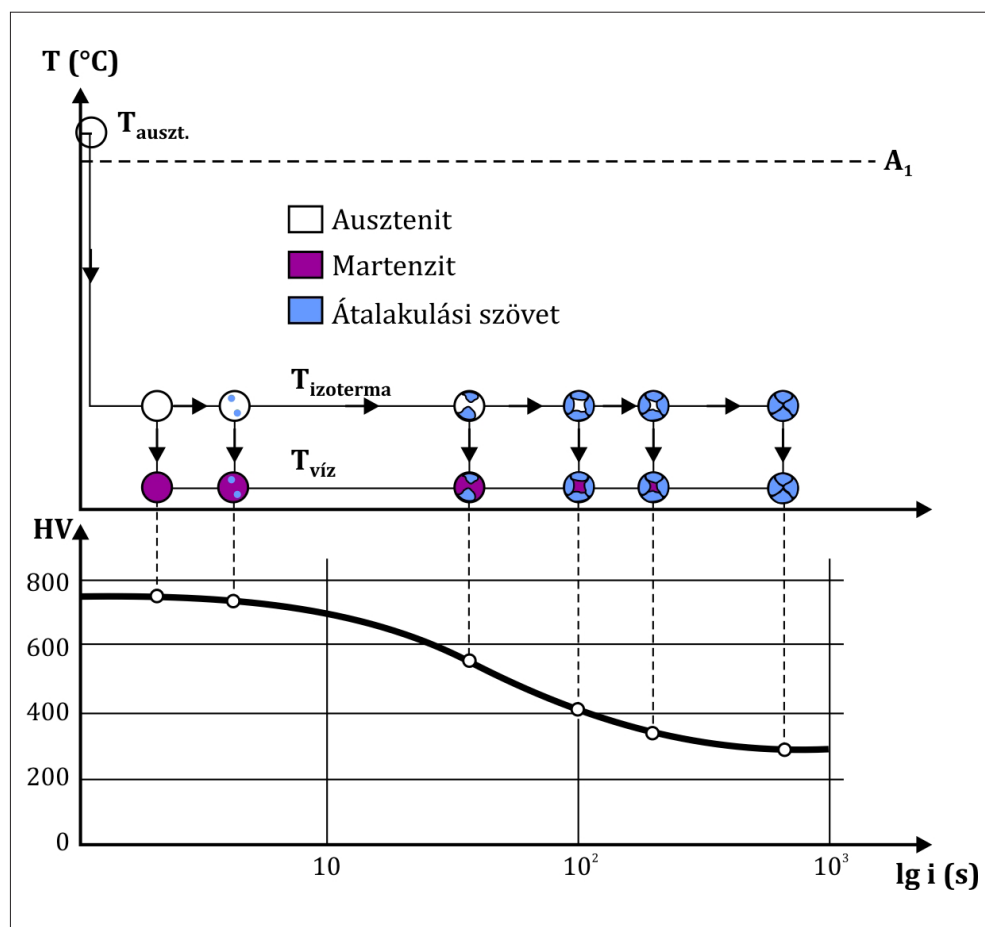
Az egyensúlyi A1 hőmérséklet alatt az ausztenit nem állandó. Csíráképződéssel és diffúzióval járó folyamat révén elbomlik, a hőmérséklettől függően perlité vagy bénitté (IV.1. ábra)



IV.1. ábra. C45 acél izotermás átalakulási diagramja

Az izotermikus átalakulás vizsgálata során a próbát először az A₃ hőmérséklet fölé kell hevíteni, teljesen ausztenites állapotba hozni, majd gyorsan le kell hűteni a vizsgálni kívánt hőmérsékletre. A gyors hűtést fém- vagy sófürdőben kell végezni. Ezen a hőmérsékleten a próbatesteket egyre növekvő ideig tartjuk hűn, majd az adott idő letelte után vízben gyorsan lehűtjük. Ezáltal rögzítet-

tük az izotermán kialakult állapotot. Az izotermán a hőntartási idő növelésével egyre nagyobb mennyiségben megy végbe az átalakulás. A gyorshűtéssel a még át nem alakult ausztenit átalakul martenzitté. Az átalakult szövetelemek és a martenzit aránya alapján következtetünk az átalakulás mértékére (IV.2. ábra).

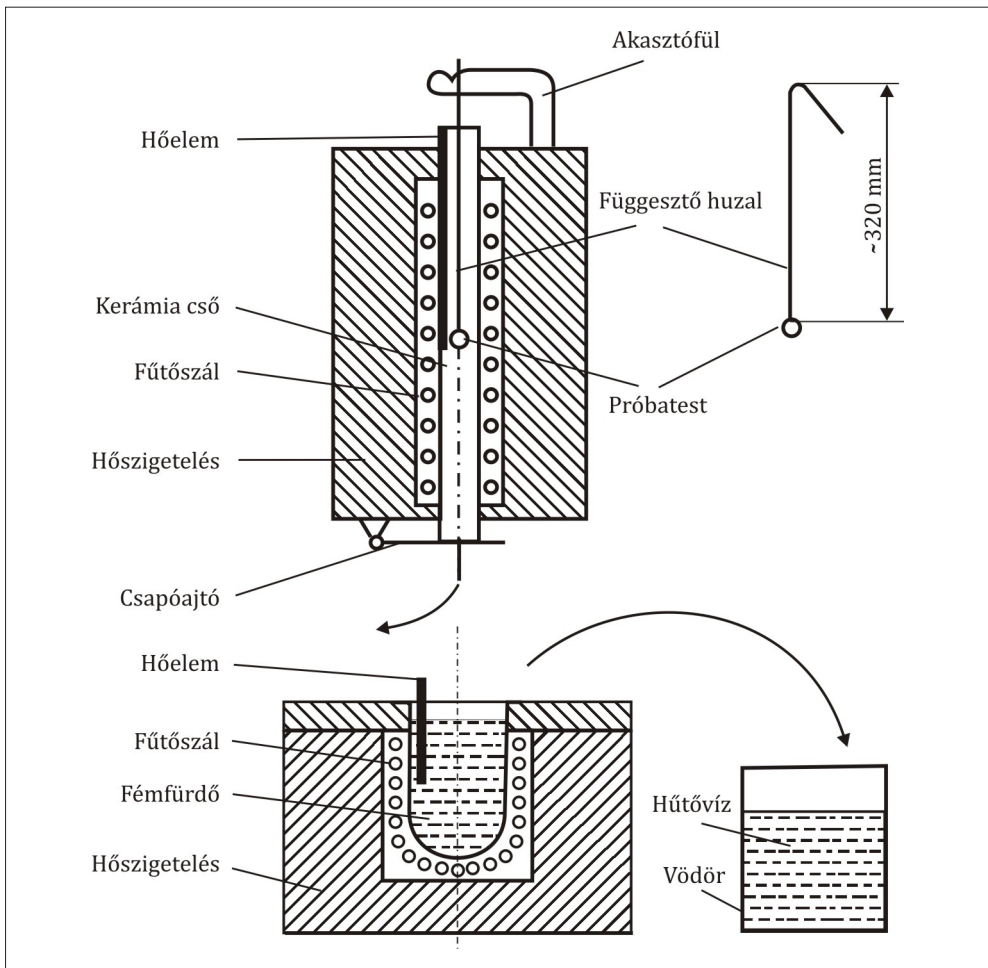


IV.2. ábra. Izotermás átalakulás megfigyelése

A mérési berendezés leírása

A mérések elvégzéséhez egy csőkemencéből, fémfürdős kemencéből és hűtővízből álló egység szükséges (IV.3. ábra).

A gyorshevítés és -hűtés biztosítása miatt lehetőleg kisméretű próbatesteket kell alkalmazni.



IV.3. ábra. A mérés elrendezési vázlata

A kísérlethez szükséges eszközök:

- 8-10 darab próbatest ötvözetlen nemesíthető acélból (C45);
- a próbatest mérete $\phi 10 \times 2-3$ mm vastag tárcsa, $\phi 2$ mm-es furattal ellátva; a próbatesteket előzetesen lágyítani szükséges;
- $\phi 0,8-1$ mmes lágyacél huzal;
- csókemence (lásd IV.3. ábra);
- fémfürdős kemence;
- hűtővíz (pl. fémvödörben);
- csiszolópapír;

- HRC keménységmérő gép;
- oldalcsípő fogó;
- hőálló kesztyű.

A mérés menete:

- A próbatesteket (kb. 10 darab) egyesével kb. 380 mm hosszú huzalra felerősítjük, és a huzal végét ~320 mm-nél visszahajlítjuk. (**IV.3. ábra**).
- A csőkemence hőmérsékletét beállítjuk 850 °C-ra.
- Behelyezünk egy darab próbatestet a csőkemencébe a **IV.3. ábra** szerint. Ezen méretek alkalmazásával a próbatest a csőkemence közepébe kerül, oda, ahol a hőfokszabályzó hőeleme is méri a kemence hőmérsékletét.
- Hőntartjuk a próbatestet ezen a hőmérsékleten, javasolt idő 4 min.
- Kinyitjuk a kemence alján lévő csapóajtót.
- A hőntartási idő letelte után a függesztő huzalt az akasztó kampó alatt elvágjuk, ezáltal a próbánk a csőkemence alatt lévő fémfürdőbe esik.
- A fémfürdő hőmérséklete a felvenni kívánt izoterma hőmérsékletére beállított. Javasoljuk a 450–500 °C közti hőmérsékletet.
- Az izotermán javasolt hőntartási idők: 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480; 900 s.
- Az első próbatestet 2 s ideig hagyjuk a fémfürdőben, majd gyorsan kivesszük és vízben lehűtjük. Vigyázat! A fémfürdőből kiálló huzal forró lehet, fogóval vagy kesztyűvel fogjuk meg!
- A fenti műveleteket a további próbatestekkel megismételjük, úgy, hogy a fémfürdőben való tartózkodás idejét a fentiek szerint növeljük.
- A hőkezelt próbákat durva fokozaton megcsiszoljuk.
- HRC-eljárással keménységet mérünk. Minden darabon min 3 mérést, nagyobb szórás esetén 5 mérést végzünk.
- Megrajzoljuk a keménység változását a hőntartási idő függvényében.
- Kiértékeljük a mérést.

JEGYZŐKÖNYV

Címe:

Készült (dátum)

Készítette:

A mérés helyszíne:

A mérés célja:

.....

A mérés elve:

.....

.....

.....

A mérés eszközei:

- csőkemence (lásd **IV.3. ábra**)
- fémfűrdős kemence
- hűtővíz (pl. fémvödörben)
- csiszolópapír
- HRC keménységmérő gép
- oldalcsípő fogó
- hőálló kesztyű

A próbatest mérete, anyagminősége:

A mérés leírása:

.....

.....

.....

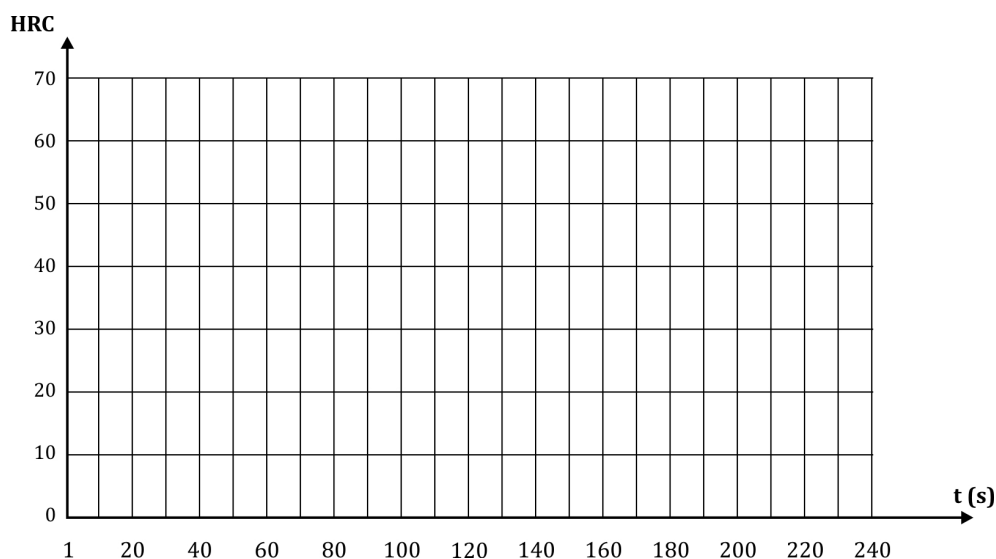
.....

.....

.....

Mért eredmények:

	Hőntartási idő (s)								
	2	4	8	15	30	120	240	480	900
1. mérés HRC									
2. mérés HRC									
3. mérés HRC									
4. mérés HRC									
5. mérés HRC									
Átlag									



IV.4. ábra. Átalakulás vizsgálata adott izotermán

A mérés kiértékelése:

.....

Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

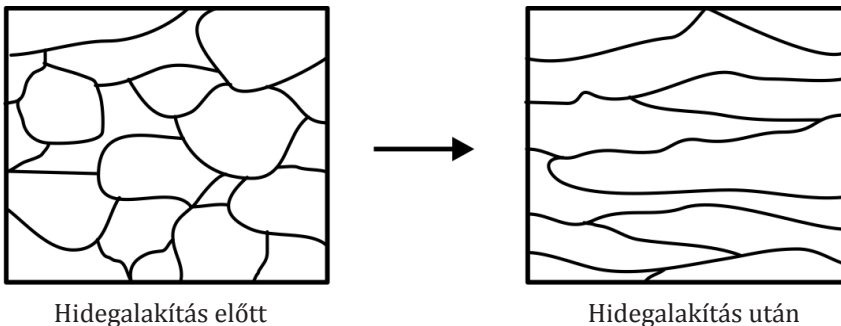
.....

Mérést végzők aláírásai

V. HIDEGEN ALAKÍTOTT ALUMÍNIUM ÚJRAKRISTÁLYOSÍTÓ IZZÍTÁSA

Képlékeny hidegalakítás során az alakított anyag fizikai és mechanikai tulajdonságai megváltoznak. A szerkezetérzékeny tulajdonságok (szilárdság, nyúlás stb.) nagymértékben, míg a szerkezetérzéketlen tulajdonságok (villamos vezetőképesség, visszarugózás, termoelektromos erő stb.) kisebb mértékben változnak. Van eset, amikor előnyös az alakítási keményedés, mert megnöveli az anyag szilárdságát, keménységét, amely a felhasználás szempontjából előnyös lehet. Egyes esetekben az alakítási keményedés hátrányos, mint például tubusok esetén, amelyek használata megköveteli a lágy állapotot. Kis keresztmetzetű termékek gyártása hidegalakítással egy lépésben nem végezhető, mert a keményedés miatt az anyag alakváltozó képessége kimerül, és megakadályozza a további hidegalakítást (pl. fóliagyártás, huzalhúzás stb.). A további hidegalakítás végett be kell iktatni egy lágyítási műveletet, amely során az anyag visszanyeri az alakítás előtti tulajdonságait.

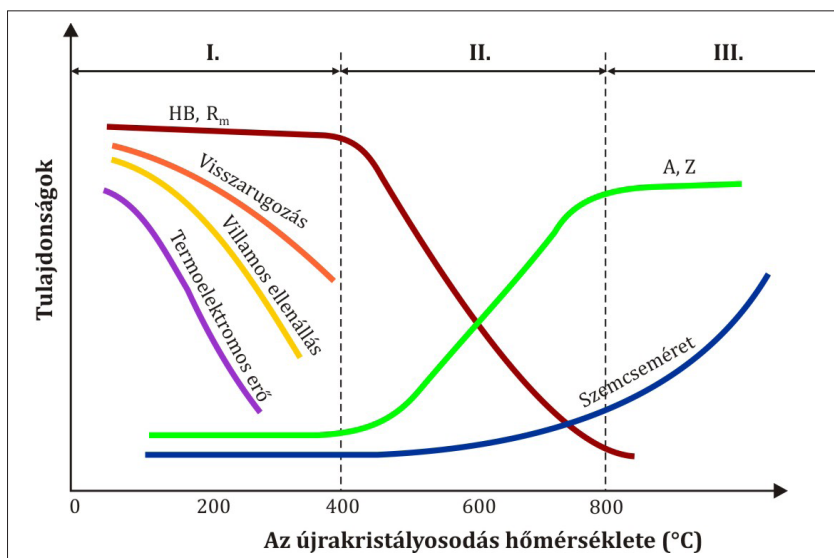
Hidegalakítás hatására az anyagban eredetileg 10^6 – 10^7 cm^{-2} diszlokációsűrűség lényegesen megnövekszik, elérheti a 10^{10} – 10^{11} cm^{-2} értéket is. Ennek hatására az anyag alakváltozó képessége kimerül, további alakítás előtt ezért ki kell lágyítani. A szemcsék az alakítás hatására elnyúlnak (V. 1. ábra).



V. 1. ábra. Szemcseszerkezet az alakítás hatására

Az újrakristályosító lágyításnak a **V. 2. ábra** alapján három szakaszt különböztetjük meg:

- I. Megújulás szakasza.
- II. Újrakristályosodási szakasz.
- III. Szemcsedurvulás szakasza.



V. 2. ábra. Mechanikai tulajdonságok változása az újrakristályosodás során

I. A megújulás szakasza

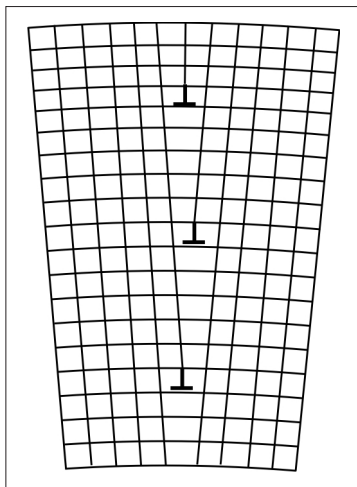
Képlékeny hidegalakítás során az alakított fémre ható külső erő munkája (W) két részre bontható. Az alakítás során egyrészt hő fejlődik (Q), míg a befektetett munka másik részének kb. 10%-a az alakított fémbe tárolódik (W_t).

$$W = Q + W_t$$

Hidegalakítás után, ha nem lennének rácsrendezetlenségek, minden atom ismét valamely minimális energiájú rácspontba kerülne, vagyis $W_t = 0$ volna. Valós fémek esetén viszont az alakítás során megnő a diszlokációsűrűség és az üres rácshelyek száma, így a fém energiája W_t értékkel megnő.

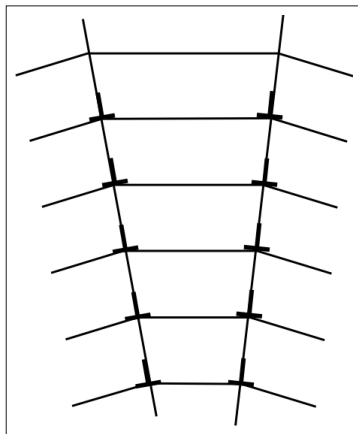
A megújulás során az üres rácshelyek száma a hőmérsékletnek megfelelően az egyensúlyi érték felé közeledik, a diszlokációk pedig átrendeződnek, alacsonyabb energetikai állapotba igyekeznek. Az üres rácshelyek vagy kiduffundálnak a felületre, vagy a diszlokációk extrasíkjaéhoz csatlakozva megindítják a diszlokációk mozgását. Ezen mozgások következtében a szemcsén belül látszó-

lagos szemcsehatárok ún. szubszemcsehatárok alakulnak ki. A szubszemcsehatárok egymáshoz pár fokkal helyezkedő rácsrészletek közti határ (**V. 3. ábra**).



V. 3. ábra. Szubszemcshatár

Az azonos előjelű diszlokációk számára az a legkisebb energiájú helyzet, ha a diszlokációk egymás alatt helyezkednek el, így a szubszemcsehatárok megteremtik a poligonizációt (**V. 4. ábra**)



V. 4. ábra. Poligonizáció

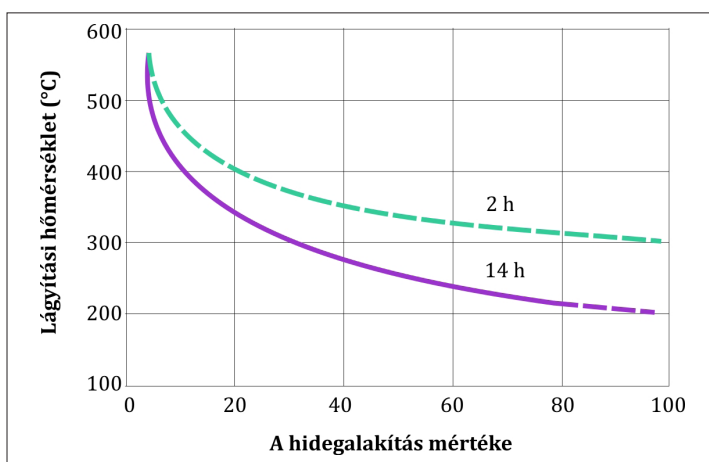
A megújulás során a szemcseméret és a diszlokációk száma nem változik, csak a diszlokációk elrendeződése. Az alakítással bevitt tárolt energia csökken, de nem éri el az egyensúlyi állapotot.

II. Az újrakristályosodási szakasz

A poligonizáció az újrakristályosodás bekövetkezésének alapfeltétele. Az újrakristályosodás során kialakuló új feszültségmentes szemcsék csíráit a szubszemcsék adják. Ha a szubszemcsék határainak hajlásszöge kicsi, akkor a szubszemcsehatárokon a diszlokációk távolsága nagy, tehát kevés diszlokáció van a szemcsehatáron. Hő hatására megindul a szubszemcsehatárok mozgása, és csatlakoznak egyik vagy másik szubszemcsehatárhoz. Ezáltal olyan szubszemcse alakul ki, amely már nagy hajlásszögű szemcsehatárral, tehát a határokon nagy diszlokációsűrűséggel rendelkezik. Ezek a „csírák” a többi szubszemcse rovására növekedésnek indulnak, és így új feszültségmentes kristályok keletkeznek.

Az újrakristályosodás és a vele járó mechanikai lágyulás a maradó alakváltozás következményeit a deformált fémekben és ötvözetekben teljesen megsemmisíti. Újrakristályosodáson azt a folyamatot értjük, amely során az alakított fém deformált kristályaiból csírák képződésével, majd azok fokozatos növekedésével olyan új kristallitok fejlődnek, amelyek a hidegalakítás nyomaitól, főleg a keményedéstől teljesen mentesek.

Az újrakristályosító lágyítás hőmérséklete erősen függ a hidegalakítás mértékétől. Nagyobb mértékű hidegalakítással több energiát viszünk be a fémbe, több diszlokáció keletkezik, így az újrakristályosodás alacsonyabb hőmérsékleten be tud következni. Jól látható az **V. 5. ábrán**, ahol különböző mértékben alakított alumínium újrakristályosodási hőmérséklete van feltüntetve.

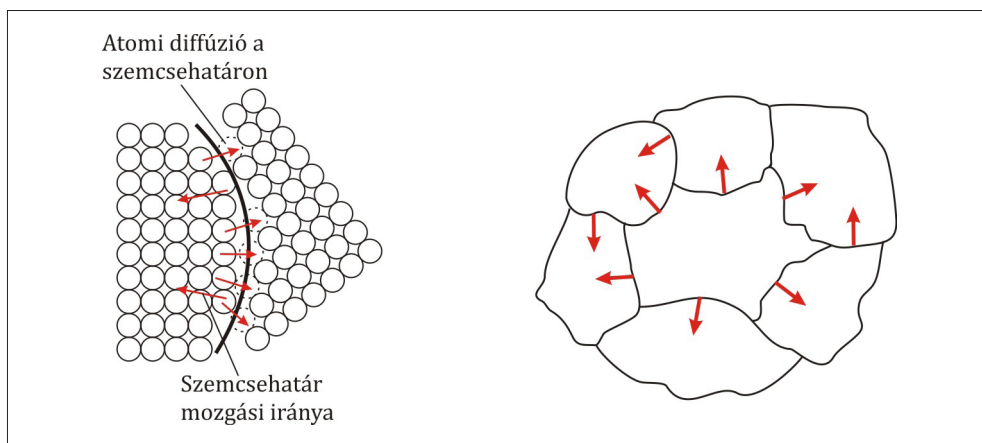


V. 5. ábra. Alumínium újrakristályosodása az alakítás mértékének függvényében 2 és 14 órai hőn tartással

III. A szemcsedurvulás szakasza

Az újrakristályosodás akkor fejeződik be, amikor az új kristallitok a teljes anyagterefogatot kitöltik. Ha tovább hűn tartjuk az anyagot, a kialakult szemcsék elkezdnek növekedni. Az újrakristályosodás hőfoknál nagyobb hőmérsékleten állandó ideig történő hűn tartás esetén a szemcseméret a hőmérséklettel exponenciálisan növekszik.

A szemcsehatáron lévő atomok nem illeszkednek szorosan egyik szemcse rácsához sem, így az energiaszintjük magasabb. A konkáv határokon az atomok helyzete stabilabb, energiaszintjük alacsonyabb, mint a konvex határokon lévőké. A külső aktiválási energia hatására a konvex határon lévő atomok a konkáv határu szemcsék felé mozdulnak el. A szemcsehatár ezáltal vándorol, amely a **V.6. ábra** szerint úgy folyik le, hogy a szemcsehatárok görbületi középpontjai felé tolódnak el.

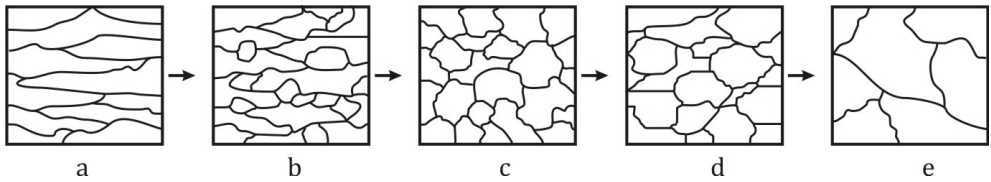


V. 6. ábra. Szemcsenövekedés iránya

A szemcsék fokozatos eldurvulása és a szekunder újrakristályosodás már nem okoz mechanikai lágyulást, általában nem kívánatos.

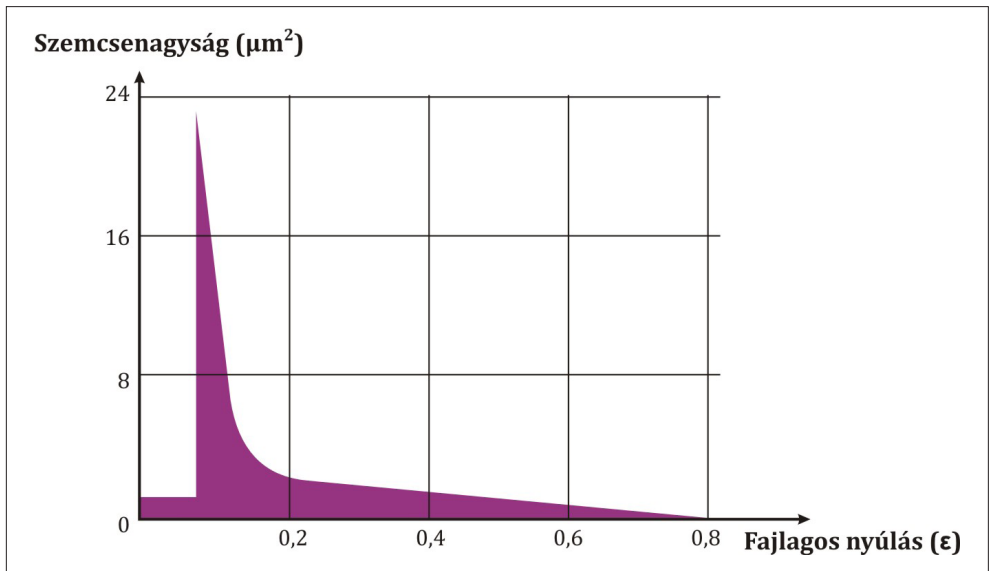
A szemcseszerkezet változása alakítás és újrakristályosodás során (**V.7. ábra**):

- alakított, elnyúlt szemcsék;
- új kristálycsírák megjelenése;
- új szemcsék keletkezése;
- az újrakristályosodás befejeződött;
- szekunder rekrisztallizáció, szemcsedurvulás.



V. 7. ábra. A szemcseszerkezet változása újrakristályosodás révén

Az újrakristályosodás egyik alapfeltétele a poligonizáció végbemenetele, amely által szubszemcsék keletkeznek. Ha az előzetes alakítási mérték kicsi, az alakítási folyamatok jellegéből következően csak kevés helyen alakul ki olyan mértékű diszlokációsűrűség, amely következtében megújulás során végbemehet a diszlokációk rendeződése, a poligonizáció. Az újrakristályosodás ilyen esetekben csak néhány szubszemcsén indulhat meg, aminek következménye, hogy durva szemcsés lesz a szerkezet (az újonnan kialakuló szemcsék ritkán helyezkednek el és ezért sokáig nőhetnek, amíg egymással találkoznak). Az ilyen kismértékű alakítást kritikus alakításnak nevezzük, és a kedvezőtlen mechanikai tulajdonságai miatt igyekezünk elkerülni (V. 8. ábra).

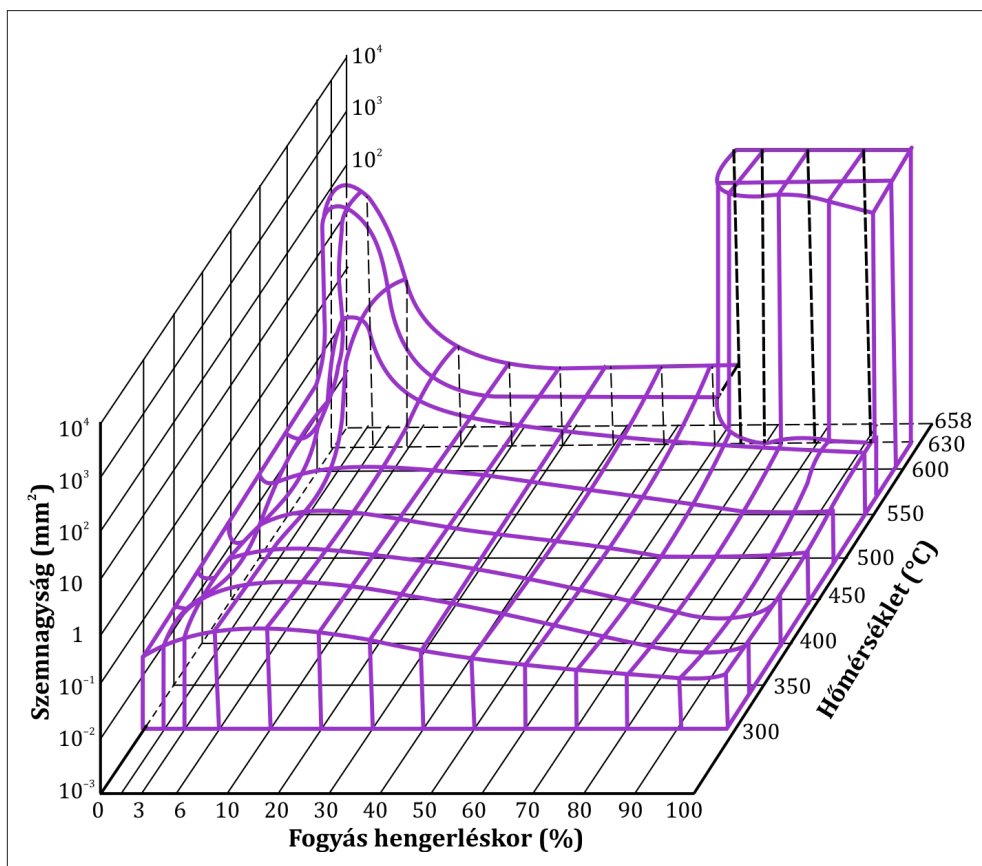


V. 8. ábra. A teljes újrakristályosodási diagram izotermás metszete

A kritikus alakítás mértéke ötvözettypustól függően 3–15% alakváltozási tartományba esik. Ha az előzetes alakítás mértéke nagyobb, akkor sok erősen de-

formált, nagy diszlokációsűrűségű tartomány fog kialakulni, nagy tartományban megy végbe a poligonizáció, sok új kristallit keletkezik, az újrakristályosodott tartomány finomszemcsés lesz.

A hidegalakítás mértékének és az újrakristályosítás hőmérsékletének hatását a szemcse nagyságra az újrakristályosító diagram foglalja össze. Az **V. 9. ábrán** bemutatjuk az alumínium újrakristályosító diagramját.



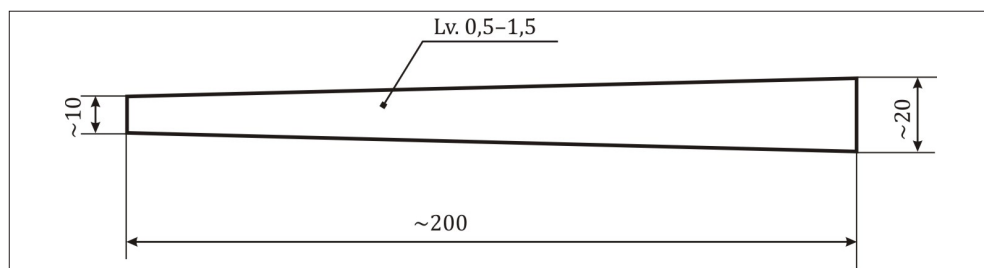
V. 9. ábra. Alumínium újrakristályosodási diagramja

Mérési gyakorlat

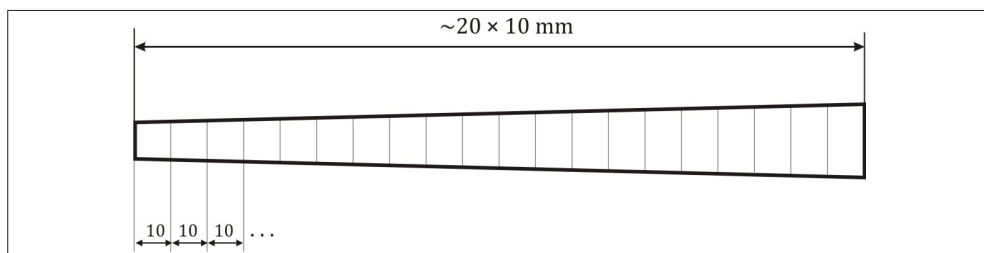
A gyakorlat célja hidegen alakított alumínium különböző mértékű alakítás hatására adott hőmérsékletű újrakristályosodás során kialakult szemcse nagyságának vizsgálata

A kísérlethez szükséges eszközök:

- 1 mm vastag lágyított alumíniumlemezből az **V. 10. ábra** szerint készített próbatest.
- A próbatest trapéz alakú, így szakításánál a különböző keresztmetszetű részek más-más mértékben nyúlnak meg. Ezáltal egy próbatesten több alakítási mértéket tudunk biztosítani.
- szakítógép (500–1000 N)
- kamrás kemence
- mérőmikroszkóp
- tűzi fogó
- hőálló kesztyű
- karctű
- vonalzó
- tolmérő
- marószer (HF, HCl, HNO₃)
- vegyi fülke

**V. 10. ábra.** *Próbatest***A kísérlet menete**

- A trapéz alakú lágyított próbatestet az **V. 11. ábra** szerint 10 mm-enként karctűvel beosztjuk. A karctűvel óvatosan bánjunk, gyengén nyomjuk rá az anyagra!

**V. 11. ábra.** *Bejelölt próbatest*

- Szakítógépen elszakítjuk a próbatesteket.
- A szakadás helyétől kezdve beszámozzuk az egyes szakaszokat (a szakadás helyén a két részt összehelyezve az első szakasz lesz)
- Lemérjük az egyes szakaszok megváltozott hosszát (l_n , ahol n a szakasz száma)
- A próbatest nagyobb keresztmetszetű, nem jelölt oldalára karctűvel azonosító jelzéseket helyezünk.
- Behelyezzük a próbatesteket az újrakristályosító hőmérsékletre (~500–530 °C) felfűtött kamrás kemencébe, 30 percig hőn tartjuk.
- Míg a munkadarabok a kemencében vannak, meghatározzuk az egyes szakaszok fajlagos nyúlását.

$$\varepsilon = \frac{l_n - l_o}{l_o} ,$$

ahol

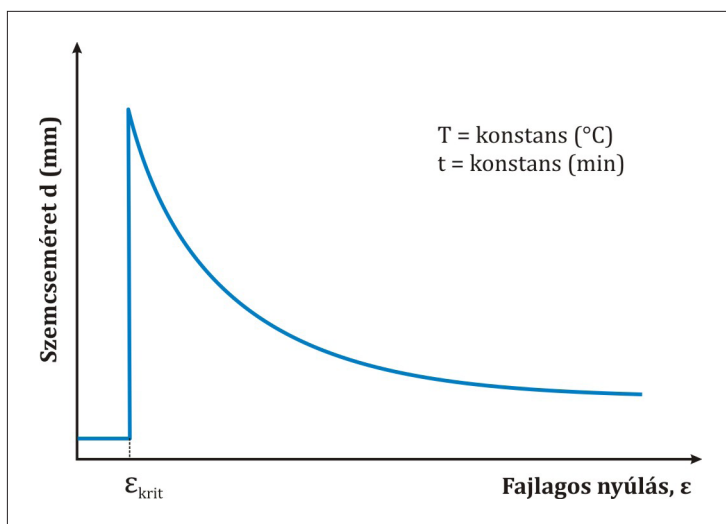
l_n – az n sorszámú szakasz megnyúlt hossza (mm)

l_o – az eredeti felmért szakasz hossza (mm)

- Kivesszük a próbatesteket, majd vízben lehűtjük. Célja a várakozási idő csökkentése.
- Vegyi fülkében megmaratjuk az előzetesen elkészített és ~40–50 °C-ra felmelegített marószerbe. A marószer ajánlott összetétele 20–30 cm³ víz, ~15 cm³ HF (hidrogén-fluorid), ~15 cm³ HNO₃ (salétromsav), valamint 4,5 cm³ HCl (sósav). Mind a marószer összekeverésénél, mind a maratásnál fokozottan ügyeljünk a balesetveszélyre!
- Megmérjük az egyes szakaszokban láthatóvá vált szemcséket. A nagyobb méretű szemcsék tolómérővel is mérhetőek, a kisebbeket Brinell-leolvasóval mérjük! Egy-egy szakaszban lehetőleg három szemcsét mérünk, ha van rá lehetőség.
- A szemcseméreteket átlagoljuk, ahol több mérést sikerült végezni.
- Elkészítjük a mérési táblázatot.
- Megkeressük és bejelöljük a kritikus alakítási mértéket (újrakristályosító küszöb)
- Kiértékelést készítünk a mérésről.
- Megrajzoljuk a **V.12. ábrán** látható diagramot

Mérési táblázat

Osztások száma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
l_o	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
l_n																			
ε																			
d1 (mm)																			
d2 (mm)																			
d3 (mm)																			
$d_{\text{átlag}}$ (mm)																			



V.12. ábra. Szemcse nagyság változása a fajlagos alakváltozás függvényében

JEGYZŐKÖNYV

Címe:
Készült (dátum)
Készítette:
A mérés helyszíne:
A mérés célja:
.....

A mérés eszközei:

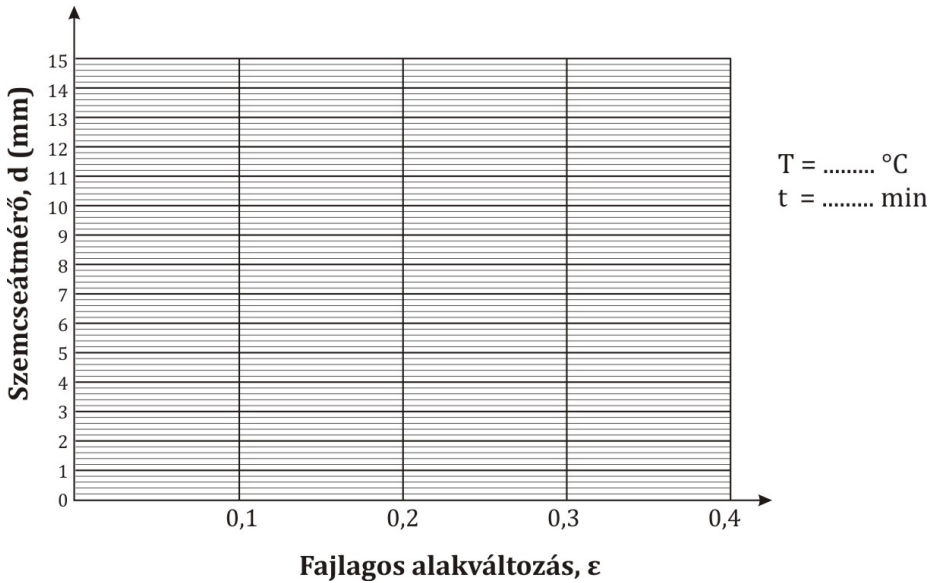
- 1 mm vastag lágyított alumínium lemez
 - szakítógép (500 – 1000N) típusa
 - kamrás kemence típusa
 - Brinell mérőmikroszkóp típusa
 - tűzi fogó
 - hőálló kesztyű
 - karctű
 - vonalzó
 - tolómérő
 - marószer (HF, HCl, HNO₃)
 - vegyi fülke típusa
- A próbatest mérete, anyagminősége:

A mérés leírása:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Mért eredmények:

Osztások száma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
l_o																				
l_n																				
ε																				
d1 (mm)																				
d2 (mm)																				
d3 (mm)																				
$d_{\text{átlag}}$ (mm)																				



V.13. ábra. Szemcseméret változása hidegalakítás hatására

A mérés kiértékelése:

.....

.....

.....

Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

.....

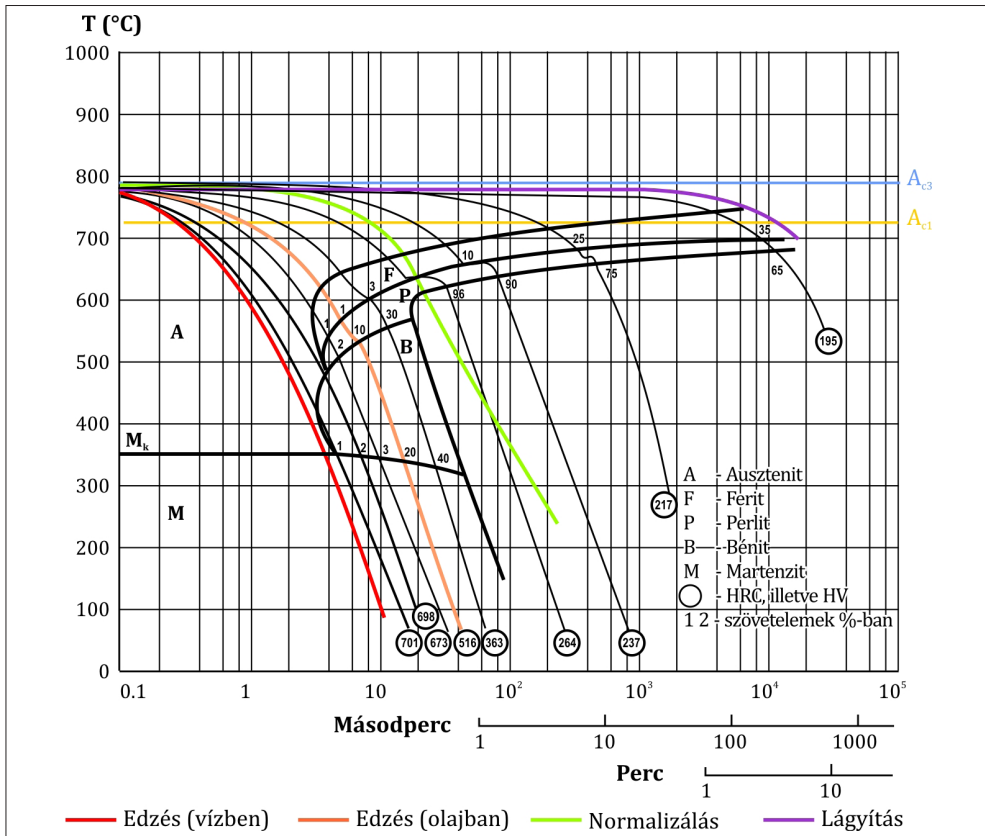
.....

.....

Mérést végzők aláírásai

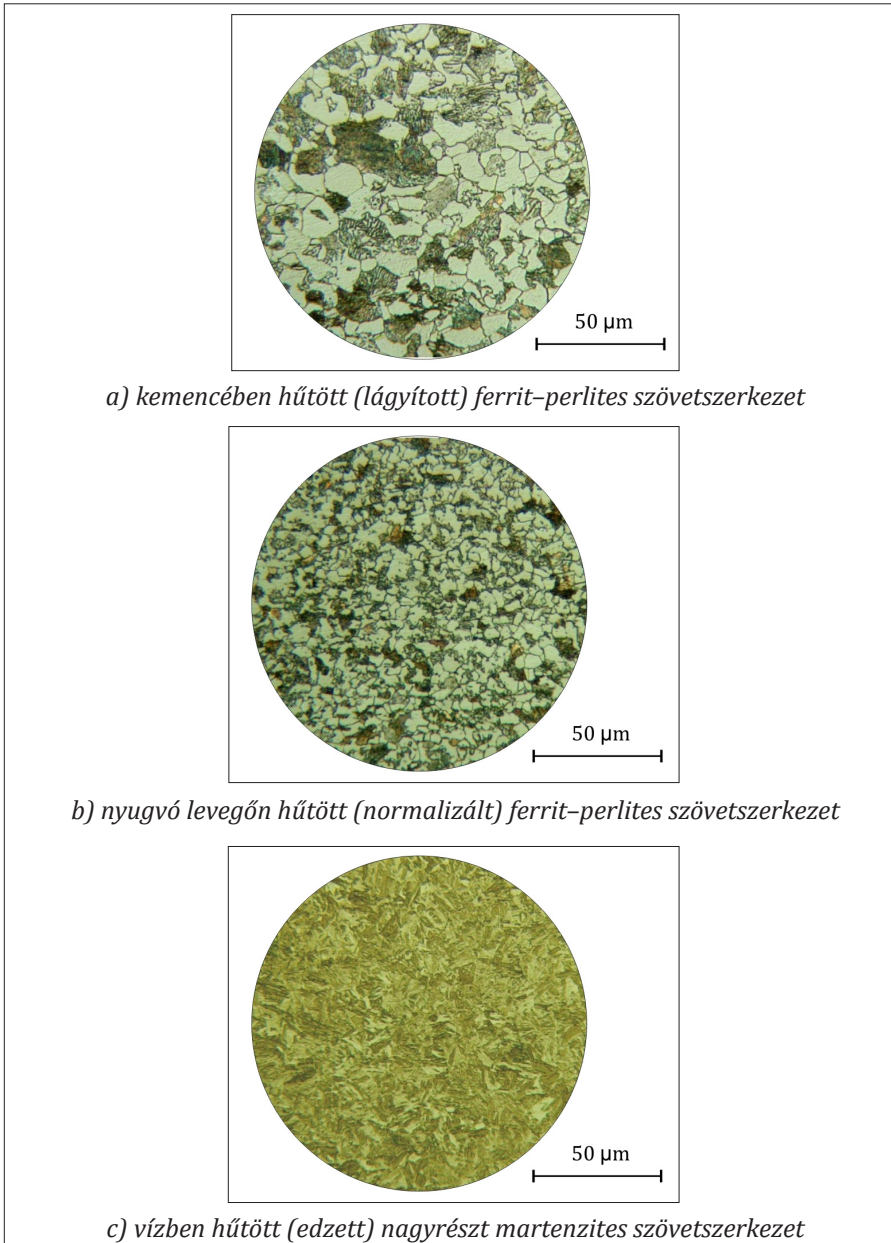
VI. HIPOEUTEKTOIDOS ACÉL FOLYAMATOS HŰTÉSE

Az iparban alkalmazott acélok jelentős része a kedvezőbb mechanikai tulajdonságok elérése végett hőkezelt állapotban kerülnek beépítésre. Ezen hőkezelések egy részénél az ausztenitesítési hőmérsékletről folyamatos hűtéssel történik a lehűtés. A folyamatos hűtés nagymértékben befolyásolja a kapott szövetszerkezetet, ezáltal a mechanikai tulajdonságokat is. Míg lassúbb hűtés esetén egy hipoeutektoidos acélban ferrit, perlit szövetszerkezet alakul ki, de



VI. 1. ábra. Hipoeutektoidos acél folyamatos hűtése

ahogy gyorsítjuk a lehűtési sebességet, kezd eltűnni a ferrit, megjelenik a bénit, illetve a martenzit is. A v_{krit} felső lehűtési sebességnél gyorsabban hűtve már csak martenzites szövetszerkezetet kapunk (VI.1. ábra).



VI. 2. ábra. Különböző hűtés alapján keletkező szövetelemek szemléltetése egy C45 acélnál

Mérési gyakorlat

A gyakorlat célja ötvözetlen acél adott edzési hőmérsékletéről különböző sebességgel való lehűtése, a kapott szövetszerkezet tulajdonságainak vizsgálata

A vizsgálat elve:

Az ausztenitesített próbatestet különböző sebességgel hűtjük le szobahőmérsékletre. A különböző lehűtési sebességet vízben, olajban, fűvott levegőn, illetve kemencében történő hűtéssel valósítjuk meg. Az így lehűtött próbatesteknek mérjük a keménységét, illetve mikroszkópi csiszolatot készítve megtekintjük a kialakult szövetszerkezetet.

A kísérlethez szükséges eszközök:

- 4 darab próbatest ötvözetlen nemesíthető acélból (C45 vagy C60);
- a próbatest mérete $\phi 20 \times (15-20)$ mm; a próbatesteket előzetesen lágyítani szükséges;
- $\phi 0,8-1$ mm-es lágyacél kötöző drót;
- kamrás kemence;
- hűtővíz (pl. fém vödörben);
- edzőolaj;
- hajszáritó (hideg levegős funkcióval);
- csiszolópapír;
- marószer (Nital);
- alkohol;
- HRC keménységmérő gép;
- fémmikroszkóp;
- hőálló kesztyű;
- tűzifogó.

A kísérlet menete:

- A kamrás kemencét felfűtjük az edzési hőmérsékletre. C45 acél esetén 850 °C-ra.
- Behelyezzük a 3 db próbatestet. A kemencével való hűtést már előzetesen el kell végezni, mivel ez akár 24 óra is lehet.
- Hőntartási idő 30 min.
- A próbatesteket tűzi fogóval egyenként kivéve a kemencéből leeddzük vízben, olajban, majd a harmadikat lehűtjük fűvott levegőn a hajszáritóval.

Hőálló kesztyűt használjunk!

- Megcsiszoljuk a darabokat.
- HRC keménységet mérünk, min. 3 darabot, de szórás esetén 5 mérést végzünk.
- Tovább csiszoljuk a darabokat egészen P1000 finomságú papírig. Gyémánt-tárcsás csiszolás esetén a legfinomabb fokozatig.
- Polírozzuk a darabokat. Történhet posztón alumínium-oxid (timföld) szuszpenzió adagolásával, illetve elektrolitikusan is.
- Vízzel leöblítjük a darabokat a polírozószertől, majd közvetlen maratjuk azokat.
- Maratás Nital marószerral (3%-os).
- Alkoholos öblítés.
- Szárítás.
- Mikroszkópi vizsgálat.
- Kiértékeljük a mérési eredményeket (keménység, szövetelem).

JEGYZŐKÖNYV

Címe:
Készült (dátum)
Készítette:
A mérés helyszíne:
A mérés célja:
.....

A mérés eszközei:

- Kamrás kemence, típusa:
- Hűtővíz (pl. fémvödörben)
- Edzőolaj
- Hajszáritó (hideg levegős funkcióval)
- Csiszolópapír
- Marószer (Nital)
- Alkohol
- HRC keménységmérő gép
- Fémmikroszkóp
- Hőálló kesztyű
- Tűzifogó

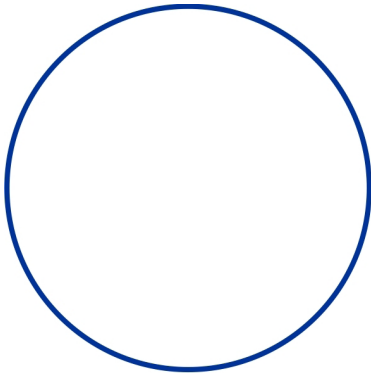
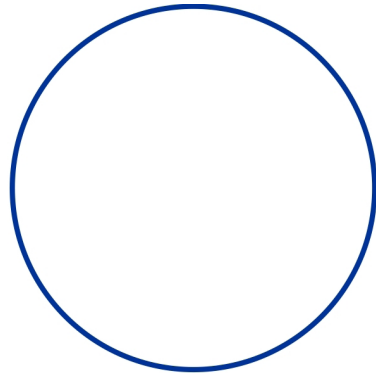
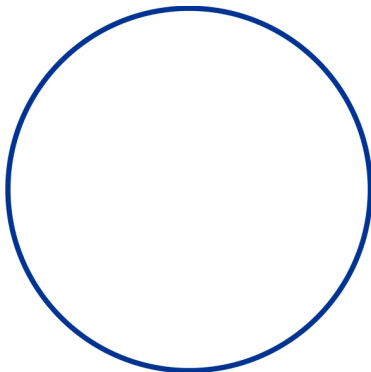
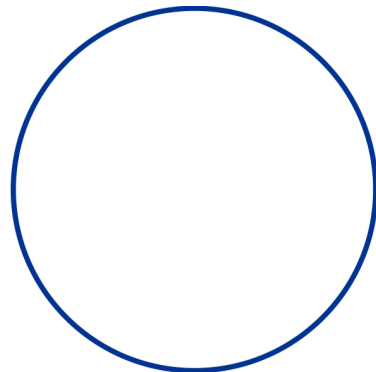
A mérés leírása:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Mért eredmények:

	Hűtőközegek			
	Víz	Olaj	Fúvott levegő	Kemencében hűlt
1. mérés HRC				
2. mérés HRC				
3. mérés HRC				
4. mérés HRC				
5. mérés HRC				
Átlag				

Rajzolja le a látott szövetképeket:

*Vízben hűtve**Olajban hűtve**Fúvott levegőn hűtve**Kemencével hűtve*

A mérés kiértékelése:

.....

.....

.....

Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

.....

.....

.....

Mérést végzők aláírásai

VII. EDZETT ACÉLOK MEGERESZTÉSE

Az edzett acélok tulajdonságai felhasználás szempontjából igen kedvezőtlenek, nagy keménység és szilárdság mellett nagyon kicsinyek a képlékenységi tulajdonságai (nyúlás, ütőmunka). Ezért felhasználás előtt minden esetben indokolt a megeresztésük. Megeresztés hatására a szilárdsági jellemzők csökkennek, a képlékenységi jellemzők növekednek.

A megeresztés edzést követő művelet. Hőmérséklet-intervalluma 100–650 °C-ig terjed. Ezen intervallumon belül megkülönböztetünk:

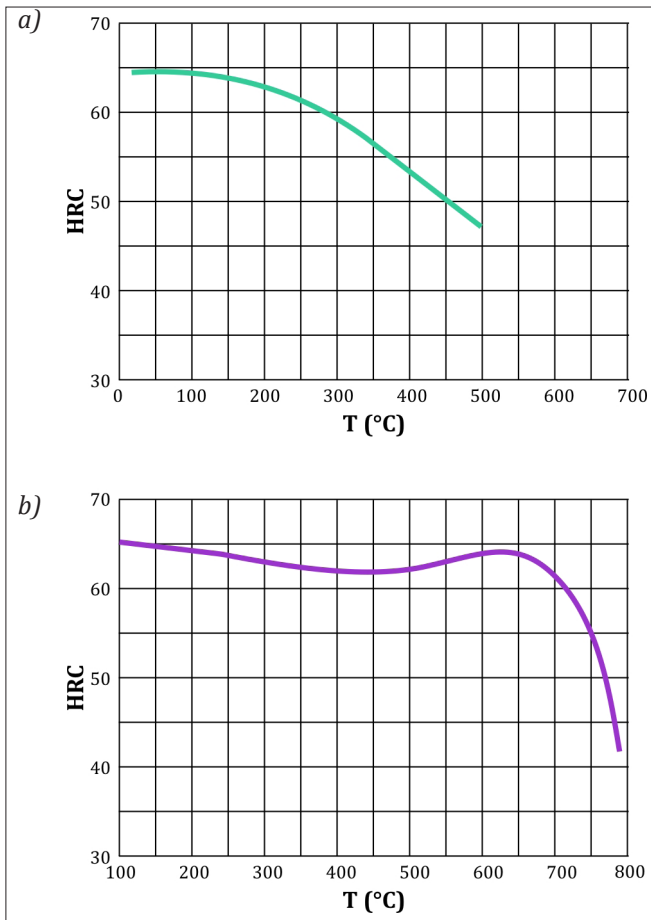
- kis hőmérsékletű megeresztéseket (100–300 °C)
- nagy hőmérsékletű megeresztéseket (400–650 °C)

a) **Kis hőmérsékletű megeresztés** (100–300 °C). Célja az edzéskor keletkező feszültségek csökkentése az edzési keménység megtartása mellett. Ilyen hőmérsékletű megeresztés hatására az edzési keménység legfeljebb 4–5 HRC-t csökken.

b) **Nagy hőmérsékletű megeresztés** (400–650 °C). Célja a feszültségcsökkentés mellett a szívósság fokozása. A keménységcsökkenés jelentős, a kívánt szilárdság, szívósság elérése végett elérheti a 10–30 HRC-t is.

A megeresztés esetén a hőn tartás ideje általában 1-2 óra. A megeresztés után általában lassú, levegőn való hűtést alkalmazunk, de a megeresztési ridegségre hajlamos acélokat gyorsan, olajban kell lehűteni.

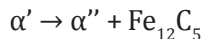
Az edzett acél szövetszerkezete nagyrészt martenzitet (fázisa α'), emellett bénitet (fázisa $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$), valamint maradék ausztenitet (fázisa a γ szilárd oldat) tartalmaz. Megeresztés során a bénit gyakorlatilag alig változik, a martenzit és az ausztenit lényeges változáson megy keresztül. A hőmérséklet növekedésével 3, illetve 4 szakaszt különböztetünk meg.



VII.1. ábra. Az acél jellemző megeresztési diagramjai
a) ötvöztelen b) ötvözött

I. szakasz 200 °C alatti hőmérsékleten

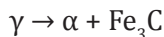
Az acél martenzitjéből a hőmérséklet hatására hexagonális rácsszerkezetű ϵ -karbid válik ki nagyon finom diszperz eloszlásban. Az ϵ -karbid Fe_{12}C_5 típusú, a Fe_3C -nél nagyobb széntartalmú vas-karbid. A kiválás során a martenzit széntartalma csökken, mintegy 0,1–0,2%-ra. A csökkent széntartalmú martenzitet α'' fázisnak szokás nevezni. A folyamat egyenlete:



A karbidkiválás miatt az edzett acél termék anyagának keménysége kismértékben nő, méretei csökkennek.

II. szakasz 150–280 °C hőmérséklet-tartományban

Ebben a szakaszban az edzés után visszamaradt ausztenit alakul át. Régebben úgy találták, hogy bénitté, az alábbi folyamat révén:



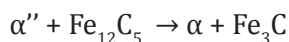
A mai ismeretek szerint a γ szilárd oldat martenzitté alakul, ugyanis a rácstorzultság enyhülése csökkenti a belső nyomást, amely a martenzitképződés kezdeti és vég hőmérsékletét emeli. A maradék ausztenit széntartalma is csökken, ami szintén emeli az átalakulási hőmérsékleteket. A folyamat egyenlete:



Mindkét esetben a folyamat keménységnövekedéssel jár (a γ szilárd oldat a leglágyabb), illetve a térfogat növekszik.

III. szakasz 280 °C felett

Az első szakaszban keletkezett ε -karbid nem stabil karbid. Nagyobb hőmérsékleten átalakul stabil vas-karbiddá (Fe_3C). Ebben a szakaszban az α'' fázis széntartalma tovább csökken, kezdi megközelíteni az egyensúlyi állapotot. A folyamat egyenlete:



A keletkező vas-karbid apró korongokat, gömböket képez (attól függően, hogy milyen hőmérsékleten keletkezik), amelyek α szilárd oldatba vannak ágyazva. Ezt a szövetelemet szferoiditnek nevezzük (gömbszemcsésedés).

A folyamat során az edzett acél keménysége lényegesen csökken, a mérete szintén csökken, a darab zsugorodik (**VII.1. a. ábra**).

IV. szakasz 450 °C felett

Ötvözött acélok esetében nem minden esetben fejeződik be a megeresztés a harmadik szakaszban, hanem jelentkezik egy negyedik szakasz is. Az eleinte képződött vas-karbidot az ötvözőfém karbidjai vagy komplex karbidjai váltják fel. Ezen a hőmérsékleten már diffúzióképesek az α szilárd oldatba beépült ötvözőelemek, és létrehozzák az ötvöző fém-karbidokat, esetenként intermedier fémes vegyületeket. Ez a folyamat néhány ötvöző esetén (Mo, W, Cr) jelentős keménységnövekedéssel jár.

Ezt másodlagos vagy szekunder keménységnek nevezzük. Egy ilyen W-Cr-Mo ötvözésű acél megeresztési diagramja látható a **VII.1. b. ábrán**.

Az edzést és az azt követő magas hőmérsékletű megeresztést nemesítésnek nevezzük.

Mérési gyakorlat

A gyakorlat célja a megeresztés paramétereinek hatásának vizsgálata az edzett acél keménységére.

A kísérletek során vizsgáljuk a megeresztés hőmérsékletének hatását, illetve a megeresztés hőntartási idejének hatását az edzett acél keménységére.

a) Megeresztés hőmérsékletének hatása az edzett acél keménységére

A kísérlet célja egy ötvözetlen nemesíthető acél (pl. C45, vagy C60) megeresztési diagramjának felvétele.

A kísérlethez szükséges eszközök:

- ötvözetlen nemesíthető acél (C45, vagy C60). A próbatest mérete $\phi 15 \times 15$ mm vagy $\phi 20 \times 20$ mm;
- kamrás kemence;
- HRC keménységmérő gép;
- csiszolópapír;
- tűzi fogó;
- hőálló kesztyű;
- karctű.

A kísérlet menete

- Előzetesen már leedzett próbatestekből indulunk ki. Az edzési paraméterek C45 acél esetén $840\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min hűtés után hűtés vízben, C60 acél esetén $820\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min hűtés után hűtés vízben. 6 darab edzett próbatestre van szükség.
- A próbatesteket azonosító jelzéssel látjuk el karctű segítségével
- Megmérjük az edzett darabok keménységét (min. 3 mérés)
- A megeresztést az alábbi hőmérsékleteken végezzük: $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $700\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Hőntartás ideje minden hőmérsékleten 30 min.
- A hűtést nyugvó levegőn végezzük.
- A próbatesteket homlokfelületükön megcsiszoljuk, hogy az esetlegesen keletkező revét, illetve dekarbonizálódott réteget eltávolítsuk.
- A homlokfelületeken HRC keménységet mérünk. Minimum 3 mérés. Ha a legkisebb és a legnagyobb keménység közt a különbség nagyobb, mint 5HRC, akkor még újabb két keménységet mérünk.

- Próbatestenként átlagot számolunk. Öt mérés esetén az átlagszámításba a legkisebb és a legnagyobb keménységet nem vesszük figyelembe.
 - Megrajzoljuk a megeresztési diagramot.
 - Kiértékeljük az eredményeket.
 - Esetleges kieső pontok esetén megkeressük a hiba okát.
- A kísérletek végzése során a biztonsági előírásokat be kell tartani!

JEGYZŐKÖNYV

Címe:

Készült (dátum)

Készítette:

A mérés helyszíne:

A mérés célja:

.....

A mérés eszközei:

- kamrás kemence, típusa:
- HRC keménységmérő gép, típusa:
- csiszolópapír szemcsenagysága:
- tűzi fogó
- hőálló kesztyű
- karctű

A mérés leírása:

.....

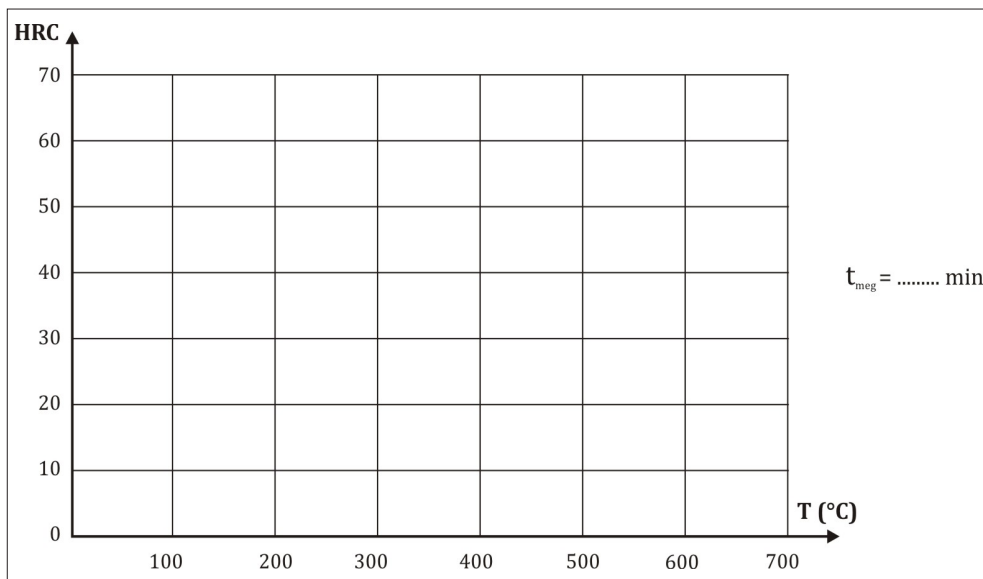
.....

.....

.....

Mért eredmények:

	Megeresztés hőmérséklete °C					
	200	300	400	500	600	700
1. mérés HRC						
2. mérés HRC						
3. mérés HRC						
4. mérés HRC						
5. mérés HRC						
Átlag						



VII.2. ábra. Készített megeresztési diagram

A mérés kiértékelése:

.....

.....

Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

.....

.....

.....

Mérést végzők aláírásai

b) Megeresztés hőntartási idejének hatása különböző megeresztési hőmérsékleten az edzett acél keménységére.

A kísérlet célja egy ötvözetlen nemesíthető acél (pl. C45, vagy C60) megeresztési idejének hatása adott hőmérsékleten a keménységre.

A kísérlethez szükséges eszközök:

- ötvözetlen nemesíthető acél (C45, vagy C60). A próbatest mérete $\phi 15 \times 15$ mm vagy $\phi 20 \times 20$ mm;
- kamrás kemence;
- HRC keménységmérő gép;
- csiszolópapír;
- tűzi fogó;
- hőálló kesztyű;
- karctű.

A kísérlet menete

a) Előzetesen már leedzett próbatestekből indulunk ki. Az edzési paraméterek C45 acél esetén 840 °C, 30 min hőn tartás után hűtés vízben, C60 acél esetén 820 °C, 30 min hőn tartás után hűtés vízben. 9 darab edzett próbatestre van szükség.

- A próbatesteket azonosító jelzéssel látjuk el karctű segítségével
- Megmérjük az edzett darabok keménységét (min. 3 mérés)
- A megeresztést 400 °C -on végezzük:
- Hőn tartás ideje az alábbi:

A szükséges hőn tartás idő függ a próbatest méreteitől. Nagyobb méretű próbatest rövid idő alatt nem képes felvenni a beállított kemencehőmérsékletet, ezért a rövidebb idők feltételeesen kezelendők. Javasolt hőntartási idők 2 min, 4 min, 6 min, 8 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min,

- A hűtést nyugvó levegőn végezzük.
- A próbatesteket homloklfelületükön megcsiszoljuk, hogy az esetlegesen keletkező revét, illetve dekarbonizálódott réteget eltávolítsuk.
- A homloklfelületeken HRC keménységet mérünk. Minimum 3 mérés. Ha a legkisebb és a legnagyobb keménység közt a különbség nagyobb mint 5HRC, akkor még újabb két keménységet mérünk.
- Próbatstenként átlagot számolunk. Öt mérés esetén az átlagszámításba a legkisebb és a legnagyobb keménységet nem vesszük figyelembe.

- Megrajzoljuk a HRC keménység, megeresztési idő diagramot..
- Kiértékeljük az eredményeket.
- Esetleges kieső pontok esetén megkeressük a hiba okát.

A kísérletek végzése során a biztonsági előírásokat be kell tartani!

JEGYZŐKÖNYV

Címe:

Készült (dátum)

Készítette:

A mérés helyszíne:

A mérés célja:

.....

A mérés eszközei:

- kamrás kemence, típusa:
- HRC keménységmérő gép, típusa:
- csiszolópapír szemcse nagysága:
- tűzi fogó
- hőálló kesztyű
- karctű

A mérés leírása:

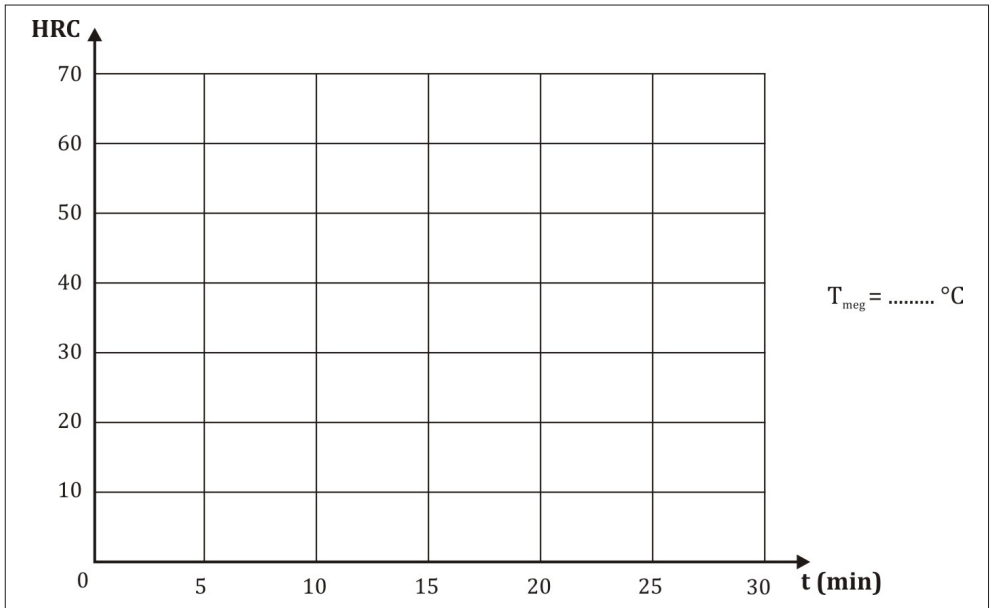
.....

.....

.....

Mért eredmények:

	Megeresztés időtartama [min]								
	2	4	6	8	10	15	20	25	30
1. mérés HRC									
2. mérés HRC									
3. mérés HRC									
4. mérés HRC									
5. mérés HRC									
Átlag									



VII.3. ábra. Megeresztés idejének hatása a keménységre adott hőmérsékleten

A mérés kiértékelése:

.....

.....

Esetleg előforduló mérési hibák és ennek lehetséges okai:

.....

.....

Mérést végzők aláírásai

MELLÉKLET

A KÖNYVBEN SZEREPLŐ HŐKEZELÉSI SZAKKIFEJEZÉSEK ELNEVEZÉSE MAGYAR, ANGOL, ROMÁN ÉS NÉMET NYELVEN

A hőkezelési szakkifejezések, eljárások elnevezése az ISO 4885-ös szabvány különféle kiadásaira támaszkodva szerepel a táblázatban.

Fejezet / alfejezet/ ábra	Magyar elnevezés	Angol elnevezés	Román elnevezés	Német elnevezés
4.3.	Alítálás	Aluminizing	Aluminizare	Aluminisieren
VII.	Átalakulási hőmérséklet	Transformation temperatur	Temperatură de transformare	Umwandlungstemperatur; Umwandlungspunkt
I.; II.; IV.	Auszténitesítés	Austenitizing	Austenitizare	Austenitisieren
I.; II.; VI.	Auszténitesítési hőmérséklet	Austenitizing tem- perature	Temperatură de austenitizare	Austenitisiertem- peratur
4.3.1.	Betétedzés	Case hardening	Durificare prin cementare	Einsatzhärten
4.3.	Boridálás	Boriding	Borurare	Borieren
4.3.1.1.	Cementálás	Carburizing	Carburare	Aufkohlen
III.; VII.	Dekarbonizálódás	Decarburization	Decarburare	Entkohlung
III.; VII.	Dekarbonizálás	Decarburizing	Tratament pentru decarburare	Entkohlen
4.1.6.	Edzés	Quench hardening	Durificare prin călire	Härtung
1.4.; 1.6.; 4.1.6.; 4.1.8.; 4.2.; 4.3.; I.; II.; III.; VI:	Edzési hőmérséklet	Quenching temper- ature	Temperatură de călire	Abschrecktempe- ratur
4.2.	Edzett felületi réteg	Quench hardened layer	Strat durificat prin călire	Einhärtungs- schicht
III.	Edzhetőség	Hardenability	Călibilitate	Härtbarkeit
1.4.3.	Felhevítés	Heating up	(Prima etapă de) Încălzire	Anwärmen
1.4.	Felhevítési idő	Heating-up time	Timp de încălzire	Aufheizendauer

Fejezet / alfejezet/ ábra	Magyar elnevezés	Angol elnevezés	Román elnevezés	Német elnevezés
4.2.	Felületi edzés	Surface hardening treatment	Tratament de durificare superficială	Randschichthärten
4.2.; 4.23. ábra	Felületi edzés utáni tényleges kéregvastagság	Effectiv case depth after surface hardening	Adâncime convențională de cimentare după călire superficială	Einhärtungstiefe nach Randschicht-härten
2.; 4.1.5.; 4.4.1	Feszültségcsök- kentő izzítás	Stress relieving	Recoacere pentru detensionare (relaxare)	Spannungsarm- glühen
1.3.; 4.1.7.; 4.4.1.; 6.3.; VII.	Feszültségcsök- kentő megeresztés	Stress relief tempering	Revenire pentru detensionare	Spannungsarm- glühen
4.1.7., 4.7.ábra VI.; VI.1. ábra	Folyamatos hű- tésre érvényes át- alakulási diagram (CCT-diagram)	Continuous-cool- ing- transforma- tion diagram (CCT diagram)	Diagrama de transformare de la răcire continuă (Diagrama TRC)	Zeit-Tempera- tur-Umwand- lungsschaubild für kontinuierliches Abkühlen-; ZTU- Schaubild für kontinuierliches Abkühlen
VII.	Gömb szemcsé- edés	Spheroidization	Globulizare	Einformung
4.1.4.; 4.3.	Gömb szemcsésítés	Spheroidizing	Recoacere de glo- bulizare	Glühen auf kugeli- ge Carbide
3.4.2.1.; 4.29. ábra	Grafitosítás	Graphitizing	Tratament grafi- tizare	Graphitisieren
1.4.	Hevítés	Heating	Încălzire	Wärmen
1.1.	Hevítési folyamat	Heating function	Funcție de încăl- zire	Wärmeverlauf
1.1.	Hevítési görbe	Heating curve	Curbă de încălzire	Wärmkurve
1.1.	Hevítési idő	Heating time	Durată de încălzire	Wärmdauer
1.1.	Hevítési program	Heating schedule	Grafic de încălzire	Wärmvorschrift; Wärmprogramm
1.1.	Hevítési sebesség	Heating rate	Viteză de încălzire	Wärmgeschwin- digkeit
4.1.1.; 5.2.	Homogenizálás	Homogenizing	Omogenizare	Diffusionsglühen
1-6	Hőkezelés	Heat treatment	Tratament termic	Wärmebehandlung
1.1.	Hőkezelési ciklus	Thermal cycle	Ciclu termic	Zeit-Tempera- tur-Folge
1.5.	Hőn tartás	Soaking	Menținere	Halten

Fejezet / alfejezet/ ábra	Magyar elnevezés	Angol elnevezés	Román elnevezés	Német elnevezés
1.2.; 1.6.; 4.1.; 4.2.; 4.4.; 3.4.; 6.3.; I; III; IV.; VI.; VII.	Hűtés	Cooling	Răcire	Abkühlen
1.1.	Hűtési időtartam	Cooling time	Durată de răcire	Abkühldauer
1.6.; 1.4. ábra	Hűtési mód	Cooling conditions	Condiții de răcire	Abkühlbedingungen
IV.; IV.1.ára	Idő-hőmérséklet átalakulási diagram (TTT-diagram)	Time-temperature-transformation diagram (TTT Diagram)	Diagramă Timp-Temperatură-Transformare (diagramă TTT)	Zeit-Zemperatur-Umwandlungsschaubild für isothermisches Umwandeln; ZTU Schaubild für isothermisches Umwandeln (TTT-diagram)
4.2.4.	Impulzusos hevítés	Impulse heating	Încălzire prin impuls	Impulswärmen
4.2.4.	Impulzusos edzés	Impulse hardening	Durificare prin impulsuri	Impulshärten
4.2.3.	Indukciós edzés	Induction hardening	Durificare prin curenți de inducție	Induktionshärten
2.; 4.1.1.; 4.1.2.; 4.1.5.; 4.4.1.; 6.; II.	Izzítás	Annealing	Recoacere	Glühen
III.	Jominy-vizsgálat	Jominy test	Încercare Jominy	Stirnabschreckversuch
4.3.3.	Karbonitridálás	Nitrocarburizing	Nitrocarburare	Nitrocarburieren
4.3.1.1.	Karbonpotenciál	Carbon potential	Potențial de carbon	Kohlenstoffpegel
4.3.1.1.	Kettős hűtéssel végzett edzés (kettős edzés)	Double quench hardening treatment	Tratament de durificare prin călire dublă	Doppelhärten
5.2.	Kiválásos keményedés	Precipitation hardening	Durificare prin recipitare	Aushärtung
5.2.	Kiválásos keményítés	Precipitation hardening treatment	Tratament de durificare prin recipitare	Aushärten

Fejezet / alfejezet/ ábra	Magyar elnevezés	Angol elnevezés	Román elnevezés	Német elnevezés
1.1.; 1.5.; 4.1.6.; 4.2.4.; 4.3.; III.	Közeg (atmoszfé- ra)	Medium	Mediu	Mittel; Medium
4.3.1.1.	Közvetlen edzés	Direct hardening treatment	Tratament de du- rificare prin călire directă	Direkthärten
4.3.1.1.	Közvetlen hűtés	Direct quenching	Călire directă	Direktabschrecken
4.1.6.; 4.7. ábra	Kritikus hűtési görbe	Critical cooling funktion	Funcție de răcire critică	Kritischer Abkühl- verlauf
4.1.6.	Kritikus hűtési sebesség	Critical cooling rate	Viteză critică de răcire	Kritische Abkühl- geschwindigkeit
4.3.	Kromálás	Chromizing	Cromizare	Chromieren
4.1.4.	Lágyítás	Softening	Înmuiere	Weichglühen
4.2.2.	Lángedzés	Flame hardening	Călire cu flacăra	Flammhärten
1.6.; 1.4. ábra	Lehülési görbe	Cooling curve	Curbă de răcire	Abkühlkurve
4.1.3.; 4.1.5.; 4.1.6.; 4.4.; II.; III.; VI.	Lehülési sebesség	Cooling rate	Viteză de răcire	Abkühlgeschwin- digkeit
1.6.	Lehűtés	Quenching	Călire	Abschrecken
1.6.	Lépcsős edzés	Step quenching	Călire în trepte	Gestuftes Abschre- cken
4.1.7.; 4.1.8.; 4.2.3.; 4.3.; 5.2.; 6.3.; I.; III.; VII.	Megeresztés	Tempering	Revenire	Anlassen
4.1.7.; 4.11. ábra	Megeresztési gör- be (megeresztési diagram)	Tempering curve	Curbă de revenire	Anlass-Schaubild
4.1.7.; VII.	Megeresztési ridegség	Temper embrittle- ment	Fragilitate de revenire	Anlass-Sprödigkeit
1.1.; 4.1.; 4.3.; 5.2.; II.; IV.; V.; VII.	Művelet	Operation	Operație	Wärmbehand- lungsschritt

Fejezet / alfejezet/ ábra	Magyar elnevezés	Angol elnevezés	Román elnevezés	Német elnevezés
4.1.8.	Nemesítés	Quenching and tempering	Tratament de durificare prin călire urmat de revenire	Vergüten
4.3.2.	Nitridálás	Nitriding	Nitrurare	Nitrieren
4.3.2.	Nitridált kéreg vastagsága	Depth of nitriding	Adâncime de nitrurare	Nitriertiefe
4.3.; 4.3.3.	Nitrocementálás	Carbonitriding	Carbonitrurare	Carbonitrieren
4.1.3.	Normalizálás	Normalizing	Normalizare	Normalglühen
5.2.; 6.3.	Öregítés	Ageing treatment	Tratament de îmbunătățire	Auslagern
4.1.2.; V.	Szemcsedurvító izzítás	Grain coarsening	Recoacere de creșterea a grăuntelui	Grobkornglühen
4.3.	Szulfonitridálás	Sulphidizing	Sulfonitrocarburare	Sulfonitrocarburiere
4.1.4.	Teljes lágyítás	Full annealing	Recoacere completă	Vollglühen
3.4.2.	Temperálás	Malleablizing	Maleabilizare	Tempnern
2.; 4.3.	Termokémiai kezelés	Thermochemical treatment	Tratament termochimic	Thermochemische Behandlung
2.	Termomechanikai kezelés	Thermomechanical treatment	Tratament termomecanic	Thermomechanische Behandlung
5.1.; V.	Újrakristályosító izzítás	Recrystallizing	Recristalizare	Rekristallisationsglühen
4.3.4.	Vegyületi réteg	Compound layer	Strat de compuși	Verbindungsschicht
1.6.; 4.2.2.; 4.2.4.; 4.3.2.	Vetemedés	Distortion	Deformare	Verzug (durch Wärmebehandlung)

SZAKIRODALOM

1. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés*. Műszaki Tudományos Füzetek 5., EME, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-05>
2. Bíró Attila: *Hőkezelő berendezések*. Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1979.
3. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. Műszaki Tudományos Füzetek 4., EME, Kolozsvár, 2007. <https://doi.org/10.36242/mtf-04>
4. Bitay Enikő: *Anyagtudományi laboratórium I. Tulajdonságminősítő vizsgálatok*. Műszaki Tudományos Füzetek 11., EME, Kolozsvár, 2011. <https://doi.org/10.36242/mtf-11>
5. Bolunduț, Ioan-Lucian: *Știința și ingineria materialelor*. Editura Tehnica – Info Chișinău, 2010. https://kupdf.net/download/stiinta-si-ingineria-materialelor_587212226454a7112b35c07c_pdf
6. Brândușan, L. et al.: *Tehnologia Materialelor. Îndrumător pentru lucrări de laborator*. Editura U. T. Pres, Cluj-Napoca, 1999.
7. Bryson, William E.: *Heat treatment. Master control manual*. Carl Hanser Verlag, Munich, 2015.
8. Colan, Horia: *Studiul metalelor și tratamente termice*. București, Ed. Didactică și Pedagogică, 1964.
9. Czerwinski, Frank (ed.): *Heat Treatment. Conventional and Novel Applications*. In-techOpen, 2012.
10. Dossett, Jon L. – Totten, George E. (ed.) *Steel Heat Treating Fundamentals and Processes*. ASM Handbook. Volume 4A., ASM International, USA, 2013.
11. Gălușcă, Dan-Gelu – Achiței, Dragoș – Perju, Manuela-Cristina – Nejneru, Carmen: *Tratamente termice și termochimice*. Vol. I, Editura Tehnopress, Iași, 2017.
12. Hluchy, Miroslav et al.: *Gyártástechnológia. Anyagismeret*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
13. Komócsin, M.: *Gépipari Anyagismeret*. Böhler, Miskolc, 2008.
14. Kovács István: *Tehnologia și utilajele tratamentelor termice. Tehnologia tratamentelor termice I*. Institutului Politehnic Cluj-Napoca (IPCN), Facultatea de Mecanică, Cluj, 1982.
15. Kovács István: *Tehnologia și utilajele tratamentelor termice. Utilajele tratamentelor termice II*. Institutului Politehnic Cluj-Napoca (IPCN), Facultatea de Mecanică, 1982.
16. Németh Emil: *Acélok és nemvasfémek hőkezelése a gyártástechnológiában*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.

17. Rajan, T. V. – Sharma, C. P. –Sharma, Ashok: *Heat Treatment Principles and Techniques*. PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2011.
18. Ray, Bankim Chandra – Prusty, Rajesh Kumar – Nayak, Deepak: *Phase Transformations and Heat Treatments of Steels*. CRC Press 6000 Broken Sound Parkway NW. 2020.
19. Szombatfalvy Árpád: *A hőkezelés technológiája*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
20. Suciú, Valeria – Suciú, Marcel-Valeriu: *Studiul Materialeleor*. Ed. Fair Partners, București, 2007. http://marcel.suciu.eu/Cartea_Std_Mater.pdf
21. Verő József – Káldor Mihály: *Vasötvözetek fémtana*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
22. Végvári Ferenc: *Gépipari technológiák II. Hőkezelés*. Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola, Kecskemét, 1999.
23. Tisza Miklós (szerk.): *Mechanikai technológiák*. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2006.
24. Totten, George E. (ed.): *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies*. Steel Heat Treatment Handbook, CRC Press, Broken Sound Parkway NW, 2007.
25. Totten, George E. (ed.): *Steel Heat Treatment: Equipment and Process Design*. Steel Heat Treatment Handbook. CRC Press, Broken Sound Parkway NW, 2007.

HEAT TREATMENT LABORATORY

Summary

Heat treatment is a technology developed for modifying the mechanical properties of pure metals or alloys according to specific requirements. Heat treatment is indispensable – as proven by the large number of procedures, the extended standard support and the possibilities for mechanization or automation. This book presents a basic knowledge of heat treatment with the purpose of assisting mechanical designers in their decisions regarding the requirements of material quality, and supports the assimilation of knowledge relating to materials technology. It is also a valuable asset for raising interest in a more thorough investigation of this scientific field.

The reader will be provided with a solid foundation in the various principles of heat treatment, its methods and the associated fields of application. In this way, it is a valuable tool for gaining a deeper knowledge of this area of technology.

This book summarizes the fundamental theory and main practical applications of heat treatment. It is divided in two parts: the first presents – in a concise and purposeful way – the theoretical foundation, while the second describes seven experiments perfectly suited for laboratory classes of the discipline of „Heat Treatment“. It may also be used effectively in a science class setting.

The first part containing the theoretical fundamentals is divided in six chapters:

Chapter one deals with the general theory of heat treatment. This is based on the principle and accompanying physical phenomena of heat treatment - heat transfer and the heat treatment cycle (heating, soaking, cooling) are presented in detail here.

Chapter two builds on the previously presented theoretical notions as procedures and procedure groups. This way the reader gains a synthesis on the processes in relation to the material and the desired mechanical properties.

Chapter three provides a reminder of the Fe-C/ Fe-Fe₃C phase diagrams.

Chapter four gives a full description of the heat treatment of iron alloys. This chapter is divided into four sections. The first deals with the through hardening and the associated preparative procedures. Section two presents the different

types of surface hardening. Section three deals with the thermo-chemical processes, while last section presents heat treatment procedures for cast iron.

Chapter five is divided into two sections, the first describing the recrystallization of cold forged aluminum and its alloys, the second the N separation.

Chapter six closes the theoretical part and refers to the heat treatment of copper and its alloys. It is divided into three sections. Section one deals with the treatment of pure copper, section two with the monophasic copper alloys, and section three the polyphasic copper alloys.

The second part of the book presents seven laboratory works: austenitisation, determination of austenite grain size, conditions of through hardening, isothermal transformations, continuous cooling, annealing and the annealing by recrystallization of aluminum and its alloys.

The book ends with an appendix – in Hungarian, Romanian, English and German – containing the key technical terms used here.

In conclusion, this book provides a basic knowledge in the field of heat treatment for anyone working – or intending to work – in mechanical design or materials technology. The information given is further supported by figures and illustrations to produce a more attractive and accessible text in this very exciting and important field of science.

CONTENTS

FOREWORD	7
THEORETICAL FOUNDAMENTS.....	9
1. The theory of heat treatment.....	11
1.1. Introduction. The cycles of the heat treatment.....	11
1.2. Heat transfer	13
1.3. The aim of the heat treatment.....	14
1.4. Heating	15
1.5. Soaking.....	15
1.6. Cooling.....	16
2. The taxonomy of heat treatment.....	17
3. The Fe-C diagram.....	19
4. Heat treatment of iron based alloys	20
4.1. Through section heat treatments	20
4.2. Surface hardening.....	30
4.3. Thermo-chemical treatment.....	40
4.4. Heat treatment of cast iron.....	48
5. Heat treatment of aluminum and its alloys.....	52
5.1. Recrystallizing of cold drawn aluminum and its alloys.....	53
5.2. N-segregation process	53
6. Heat treatment of copper and its alloys	56
6.1. Heat treatment of pure copper	56
6.2. Heat treatment of monophasic copper alloys.....	56
6.3. Heat treatment of multiphasic copper alloys	57
7. Heat treatment equipment.....	59
7.1. Batch-ovens	59
7.2. Continuous ovens.....	64
7.3. Atmosphere in heat treatment ovens.....	65
7.4. Temperature measurement.....	66
7.5. Oven masonry	67

HEAT TREATMENT EXPERIMENTS	69
I. The mechanism of austenitization.....	71
II. Experimental estimation of austenite grain growth.....	78
III. Numerical and experimental investigation of hardenability (the Jominy test).	91
IV. The isothermal transformation of austenite.....	102
V. Recrystallizing of cold drawn aluminum.....	108
VI. Continuous cooling of hypo eutectoid steel	120
VII. Annealing of hardened steels	127
ANNEX: The names of the presented procedures in Hungarian, Romanian, English and German	138
BIBLIOGRAPHY	143
HEAT TREATMENT LABORATORY (Summary)	145
Contents	147
LABORÜBUNGEN FÜR WÄRMEBEHANDLUNG (Zusammenfassung)	149
Inhalt	151
LABORATOR DE TRATAMENTE TERMICE (Rezumat).....	153
Cuprins	155

LABORÜBUNGEN FÜR WÄRMEBEHANDLUNG

Zusammenfassung

Die Wärmebehandlung umfasst die mechanische Eigenschaften ändernde Technologien der verschiedenen Metalle und Legierungen. Wärmebehandlung ist unentbehrlich, wie es die durch die zahlenmäßigen Erfahrungen, die entwickelte Standardisierung und die vorhandene Möglichkeit der Mechanisierung und Automatisierung unterstützt ist. Dieses Buch stellt die Grundkenntnisse der Wärmebehandlung dar, mit dem Ziel der Entscheidung des Konstrukteurs über die Wahl der Werkstoffqualität und die Erwerbung der Kenntnisse im Rahmen der Werkstofftechnologien zu helfen. Es ist auch nützlich für alle, die einen tieferen Eingang in dem entsprechenden Wissenschaftsgebiet möchten.

Nach einem sorgfältigen Studium, der Leser werden Kenntnisse über die vielfältigen Prinzipien, Methoden und Anwendungsbereiche der Wärmebehandlung erwerben. Es ist ein außer- gewöhnliches Mittel für Vertiefung in dem entsprechenden Wissenschaftsgebiet.

Dieses Buch umfasst die Theoretischen Grundlagen der Wärmebehandlung und seinen wichtigsten praktischen Anwendungen. Das Buch ist in zwei Teile verteilt: der erste Teil enthält eine klare und zielmäßige Darstellung der theoretischen Grundlagen, während der zweite Teil umfasst sieben praktische Experimente, die im Rahmen des Gebietes „Wärmebehandlungen“, an den Laboratoriumsstunden ausgezeichnet verwendet werden können. Außerdem, die können auch bei der Fachkreise und studentische wissenschaftliche Tätigkeiten verwendet werden.

Erster Teil des Buchs ist in sechs Abschnitten geteilt.

Erster Abschnitt entdeckt die theoretischen Grundlagen der Wärmebehandlungen. Es beschreibt die Wärmebehandlungen begleitende physische Phänomene. Hier den Schwerpunkt ist auf der Wärmeableitung und auf den Elementen des Zyklus (Erwärmung, Behalten und Abkühlung) gesetzt.

Zweiter Abschnitt ordnet die theoretischen Begriffe von den ersten Abschnitt in Erfahrungen und Erfahrungsgruppen. Dadurch wird der Leser ein synthetisches Bild über die Gruppen der Wärmebehandlungen, in Abhängigkeit mit der Werkstoffqualitäten und erzielten mechanischen Eigenschaften.

Abschnitt drei stellt einfach der Fe-C Phasendiagramm an, nur für Auffrischen der Kenntnisse.

Abschnitt vier beschreibt ausführlich die Wärmebehandlungen der Eisenlegierungen. Es ist auf vier Unterabschnitten verteilt. Der erste enthält die Prozeduren und die Vorbereitungen für Durchhärtenverfahren. Der zweite beschreibt den Randschichthärten, der dritte die thermochemische Behandlungen weil der vierte die Wärmebehandlungen der verschiedenen Eisengussqualitäten.

Der fünfte Abschnitt handelte die Wärmebehandlungen der Aluminium und Aluminiumlegierungen. Der erste Unterabschnitt beschreibt die Rekristallisation der kaltgezogener Werkstoffen während der zweite geht um die Aushärten.

Der theoretische Teil schließender sechstes Abschnitt umfasst die Wärmebehandlungen dem Kupfer und seinen Legierungen. Ersten Unterabschnitt geht um reines Kupfer, während der zweite um monophasisches, und der dritte um poliphasisches Kupferlegierungen.

Der zweite Teil des Buchs stellt sieben, in Laboratorium durchführbaren Experimenten dar. Diese gehen um Austenitisierung, Bestimmung der Korngröße der Austenit, Durchhärbarkeit, Zeit-Temperatur-Umwandlung, kontinuierliche Erkalten, Anlassen, und Anlassen der Aluminiumlegierungen durch Rekristallisation.

Die obengenannten Teilen folgt eine Anlage die die Benennungen der Fachbegriffe in Ungarisch, Rumänisch, Deutsch und English beinhaltet.

Schließlich kann man sagen dass dieses Buch Grundkenntnisse um Wärmebehandlungen dem Maschinenkonstrukteur und dem Werkstofftechnologieingenieure. Es ist unterstützt bei theoretische und praktische Beispiele, Abbildungen und Fotos, die alle zustimmen um dieses wichtiges und aufregendes Wissenschaftsgebiet mehr attraktiv machen.

INHALT

VORWORT	7
THEORETISCHE GRÜNDE	9
1. Theorie der Wärmebehandlung.....	11
1.1. Einführung. Die Wärmebehandlungszyklus.....	11
1.2. Wärmeleitung.....	13
1.3. Ziel der Wärmebehandlung.....	14
1.4. Wärmen.....	15
1.5. Halten.....	15
1.6. Abkühlen.....	16
2. Gruppen der Wärmebehandlungsverfahren	17
3. Der Fe-C Diagramm	19
4. Wärmebehandlung der Eisenlegierungen.....	20
4.1. Wärmebehandlungen des Gusseisens	20
4.2. Randschichthärten	30
4.3. Thermochemische Verfahren	40
4.4. Wärmebehandlung der Gusseisen.....	48
5. Wärmebehandlung des Aluminiums und seiner Legierungen	52
5.1. Rekristallisationsglühen des kaltgezogenen Aluminiums und seiner Legierungen	53
5.2. N Aushärten.....	53
6. Wärmebehandlung des Kupfers und seiner Legierungen	56
6.1. Wärmebehandlung des reinen Kupfers	56
6.2. Wärmebehandlung der monophasischen Kupferlegierungen	56
6.3. Wärmebehandlung der poliphasischen Kupferlegierungen	57
7. Ausrüstung für die Wärmebehandlung	59
7.1. Batch-Öfen	59
7.2. Kontinuierliche Öfen	64
7.3. Atmosphäre in Wärmebehandlungsöfen.....	65
7.4. Messung der Temperatur	66
7.5. Mauerwerk der Öfen	67

WÄRMEBEHANDLUNG ERZEUGENDE EXPERIMENTEN	69
I. Mechanismus der Austenitisierung.....	71
II. Experimentelle Bestimmung der Korngrösse des Austenits	78
III. Stirnabschreckversuch (Jominy-Test)	91
IV. Isothermische Umwandlung des Austenits	102
V. Rekristallisationsglühen des kaltgezogenen Aluminiums	108
VI. Kontinuierlichen Abkühlen des voreuthektoidischen Stahls	120
VII. Glühen der gehärtete Stahlen	127
ANNEXE: Die Benennungen der Verfahren in Ungarisch, Rumänisch, Englisch und Deutsch.....	138
LITERATUR.....	143
HEAT TREATMENT LABORATORY (Summary)	145
Contents	147
LABORÜBUNGEN FÜR WÄRMEBEHANDLUNG (Zusammenfassung)	149
Inhalt	151
LABORATOR DE TRATAMENTE TERMICE (Rezumat).....	153
Cuprins	155

LABORATOR DE TRATAMENTE TERMICE

Rezumat

Tratamentele termice reprezintă tehnologia de modificare a proprietăților mecanice ale metalelor și aliajelor, în funcție de cerințele impuse. Tratamentele termice sunt indispensabile – fapt atestat de numărul mare de procedee, de standardizarea extinsă și introducerea mecanizării respectiv a automatizării. Cartea de față prezintă bazele tratamentelor termice, cu scopul de a sprijini inginerul proiectant în construcția de mașini în alegerea materialelor, în aprofundarea cunoștințelor de tehnologia materialelor, și a trezi pofta în rândul celor interesați înspre o parcurgere mai amănunțită a domeniului de știință conex.

În urma parcurgerii minuțioase a cărții cititorul va dobândi cunoștințe legate de principiile de diversitate largă ale tratamentelor termice, metodele și ariile de aplicare ale acestuia. Ea reprezintă un mijloc ideal pentru aprofundare în specialitatea dată.

Prezenta lucrare însumează bazele teoretice și aplicațiile practice mai importante ale tratamentelor termice. Cartea se structurează în două părți: prima conține prezentarea clară și orientată a noțiunilor teoretice, pe când partea a doua descrie șapte aplicații practice, cu aplicație imediată la orele de laborator aferente disciplinei de „Tratamente termice”, dar poate fi de folos și în cadrul cercurilor științifice studențești pentru elaborarea unor lucrări tematice.

Prima parte a cărții, bazele teoretice, se divide în șase capitole.

Capitolul întâi descrie teoria generală a tratamentelor termice. Aceasta este realizată prin prezentarea detaliată a principiului fundamental, respectiv a fenomenelor fizice care conduc la înfăptuirea tratamentului termic. Sunt explicate aici transmiterea căldurii și elementele ciclului de tratament termic însemnând încălzirea, menținerea și răcirea.

Capitolul al doilea prezintă gruparea în procedee, respectiv grupe de procedee a noțiunilor teoretice prezentate în primul capitol. Prin aceasta cititorul primește o imagine clară asupra grupelor de procedee în funcție de calitățile de material și scopul propus.

Capitolul al treilea prezintă diagrama fier-carbon stabilă și metastabilă, doar cu scopul de a înprospăta cunoștințe deja existente ale cititorului.

Capitolul patru descrie în amănunțime tratamentele termice ale aliajelor fierului. Aceasta este divizată în patru subcapitole. Primul prezintă în opt puncte tratamentele termice în secțiune completă respectiv formele de pregătire ale acestora. Al doilea subcapitol prezintă tratamentul termic superficial. Al treilea subcapitol prezintă tratamentele termochimice, iar ultimul, tratamentele termice ale fontelor.

Capitolul cinci descrie tratamentele termice ale aluminiului respectiv ale aliajelor acestuia. Primul subcapitol prezintă recristalizarea aluminiului și a aliajelor de aluminiu, iar al doilea înnobilarea acestora prin segregare.

Capitolul șase încheie partea teoretică, și descrie tratamentele termice ale cuprului și aliajelor acestuia. Primul subcapitol se referă la cuprul tehnic pur, al doilea la aliajele monofazice iar cel de-al treilea la aliajele polifazice.

Partea a doua a cărții descrie șapte experimente efectuabile în cadrul orelor de laborator Acestea au ca subiect austenitizarea, determinarea experimentală a dimensiunii grăuntelui, călibilitatea, transformarea izotermică, răcirea continuă și recoacerea, respectiv recoacerea de recristalizare ale aluminiului.

Cartea mai conține și o anexă cu noțiunile tratamentelor termice în limbile maghiară, română, engleză și germană.

Se poate concluda că lucrarea de față oferă cunoștințe fundamentale pentru inginerul de tehnologia materialelor respectiv proiectant în construcția de mașini. Aceste cunoștințe sunt puternic susținute prin exemple teoretice și practice, figuri și fotografii, care fac ca această arie importantă și incitantă a științelor ingineresti să devină mai atractivă.

CUPRINS

PREFAȚĂ	7
BAZE TEORETICE	9
1. Teoria tratamentului termic	11
1.1. Introducere. Ciclul de tratament termic	11
1.2. Transferul de căldură	13
1.3. Scopul tratamentului termic	14
1.4. Încălzirea	15
1.5. Menținerea	15
1.6. Răcirea	16
2. Gruparea tratamentelor termice	17
3. Diagrama Fe-C	19
4. Tratamente termice ale aliajelor feroase	20
4.1. Tratamente termice pătrunse	20
4.2. Tratamente termice de suprafață	30
4.3. Tratamente termochimice	40
4.4. Tratamente termice ale fontelor	48
5. Tratamentele termice ale aluminiului și aliajelor acestuia	52
5.1. Recoacerea de recristalizare ale aluminiului și aliajelor de aluminiu trase la rece	53
5.2. Îmbunătățirea prin segregare intercristalină	53
6. Tratamentele termice ale cuprului și aliajelor sale	56
6.1. Tratamentul termic al cuprului tehnic pur	56
6.2. Tratamentul termic al aliajelor de cupru monofazice	56
6.3. Tratamentul termic al aliajelor de cupru polifazice	57
7. Echipamente de tratament termic	59
7.1. Cuptoare discontinue	59
7.2. Cuptoare continue	64
7.3. Atmosfera din cuptoarele de tratament termic	65
7.4. Măsurarea temperaturii	66
7.5. Pereții cuptoarelor	67

ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE.....	69
I. Mecanismul de austenitzare	71
II. Determinarea experimentală a dimensiunii grăuntelui de austenită	78
III. Studiul călibilității prin calcul și determinare experimentală (proba Jominy).....	91
IV. Studiul transformării izotermice a austenitei	102
V. Recoacerea de recristalizare a aluminiului tras la rece	108
VI. Răcirea continuă a oțelurilor hipoeutectoide.....	120
VII. Revenirea oțelurilor călite.....	127
ANEXĂ: Denumirea termenilor și procedeele menționate în lucrare în limbile maghiară, română, engleză și germană.....	138
BIBLIOGRAFIE.....	143
HEAT TREATMENT LABORATORY (Summary)	145
Contents	147
LABORÜBUNGEN FÜR WÄRMEBEHANDLUNG (Zusammenfassung)	149
Inhalt	151
LABORATOR DE TRATAMENTE TERMICE (Rezumat).....	153
Cuprins	155

A SZOROZAT EDDIG MEGJELENT KÖTETEI:

1. Jodál Endre: *Számítástechnika az ezredforduló küszöbén.* 1992.
2. Pálfalvi Attila: *Porkohászat.* 1993.
3. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába.* 2007.
4. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés.* 2007.
5. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés.* 2009.
6. Forgó Zoltán: *Bevezetés a mechatronikába.* 2009.
7. Tolvaly-Roşca Ferenc: *A számítógépes tervezés alapjai. AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek.* 2009.
8. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés.* 2010.
9. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika II. Berendezések és mérések.* 2010.
10. Máté Márton: *Műszaki mechanika – kinematika.* 2010.
11. Bitay Enikő: *Anyagtudományi laboratórium I. Tulajdonságminősítő vizsgálatok.* 2011.
12. Máté Márton: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámjai.* 2016.
13. Tolvaly-Roşca Ferenc: *Gépelemek.* 2019.
14. Papp István: *Mechanizmusok optimális kiegyensúlyozásának elmélete.* 2020.
15. Harangus Katalin – Kakucs András: *Valószínűségszámítás és statisztika a mérnöki gyakorlatban.* 2021.
16. Bitay Enikő: *Hegesztési alapismeretek.* 2021.

ELŐKÉSZÜLETBEN:

Gergely Attila: *Bevezetés a polimer anyagok feldolgozásába.*

Máté Márton: *Forgácsolószerszámok tervezése.*

Forgó Zoltán: *Ipari robotok kinematikája és dinamikája.*

Bitay Enikő: *Anyagtudományi laboratórium II. Anyagszerkezettani vizsgálatok.*

A hőkezelés az anyagtudomány és a technológia fontos része, a mechanikai technológiai eljárások meghatározója, amellyel az anyagok tervezett tulajdonságmódosítását érhetjük el. A könyv első részében a hőkezelés rövid elméleti alapjait, célját, illetve az ötvözetek az iparban leggyakrabban alkalmazott hőkezelési típusait ismerteti. A második, a kísérleti hőkezelésekről szóló részben, összesen hét gyakorlati ismerettel egészíti ki az elméleti részt, ezáltal teszi érthetőbbé, alkalmazóbaráttá e gyártási eljárásokat.

A szerzők arra törekedtek, hogy összefoglalják a hőkezelés technológiáinak főbb elméleti és gyakorlati vonatkozásait, röviden, tömören, gyakorlatiasan, remélhetőleg érthetően, élménygazdagon.

A kötet elsősorban a mérnökképzésben részt vevő egyetemi hallgatóknak és a gyakorló mérnököknek szól, valamint azoknak is, akik érdeklődnek a fémek hőkezelései iránt, hogy bátorítást, kedvet kapjanak e szakirányban való elmélyüléshez, gyakorlati alkalmazhatóságához, a szakmai élményhez.

ISBN 978-606-739-207-4



9 786067 392074