

Budapesti Műszaki Főiskola
Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar

AZ ACÉLOK HŐKEZELÉSÉNEK ALAPJAI

oktatási segédlet

Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet
Anyag- és Alakítástechnológiai Intézeti Tanszék

2004.

Összeállította:
Dr. Kisfaludy Antal és Borossay Béla

Tisztelt Olvasó!

Ez az oktatási segédlet nem a felsőoktatásban résztvevők számára készült! Célunk az volt, hogy a – szakirányú előképzettséggel nem rendelkező –, az acélok felhasználhatóságát alapfokon megismerni kívánó érdeklődők számára eligazodást nyújtsunk a leggyakrabban használt szerkezeti anyagok tulajdonságairól, valamint a tulajdonságok tudatos megváltoztatásának lehetőségeiről.

Az összeállítás során abból indultunk ki, hogy az Olvasó nem ismeri a fémtan alapjait. Nyomatékosan szeretnénk felhívni a figyelmet arra, hogy a szakirányú képzés során ennek éppen az ellenkezőjét kell feltételezni. Abban bízva, hogy maga a tárgyalásmód, az összefüggések keresésére való törekvés, azok számára is szolgálhat haszonnal, akik a témakört igényesebben kívánják feldolgozni, ajánljuk ezt a segédletet a BMF-BGK valamennyi hallgatójának figyelmébe.

T a r t a l o m

1. Az acélok hőkezelés szempontjából lényeges tulajdonságai.....	5
1.1. Az acélok keménysége	5
1.2. Acélok szilárdsága illetve alakíthatósága.....	5
1.3. Az acélok ridegtöréssel szembeni biztonsága	5
2. Az acélok tulajdonságait meghatározó tényezők	9
2.1. A kémiai összetétel.....	9
2.2. A hőkezelési állapot	9
2.2.1. Az allotróp átalakulás	9
2.2.2. Megeresztődés, kilágyulás	11
2.2.3. Az újrakristályosodás	11
2.2.4. A feszültségrelaxáció.....	11
2.3. A feszültségállapot	11
3. Acélminőségek, acéltípusok.....	13
3.1. Az acél fogalma.....	13
3.2. Az ötvöztelen acélok	13
3.3. Az ötvöztött acélok.....	13
4. Az acélok felhasználási szempontból csoportosítható típusai és hőkezelésük ellenőrző vizsgálatai	15
4.1. Ötvöztelen lágyacélok	15
4.2. Nemesíthető és rugóacélok.....	15
4.3. Hidegalakító szerszámacélok	15
4.4. Melegalakító szerszámacélok.....	15
4.5. Forgácsoló szerszámacélok	19
4.6. Hegesztett szerkezetek acéljai	19
4.7. Hidegalakításra optimalizált acélok	19
4.8. Forgácsolásra optimalizált acélok	19
4.9. Felületileg kérgesíthető acélminőségek.....	21
4.9.1. Indukciós edzésre alkalmas acélok.....	21
4.9.2. Betétedzésű acélok.....	21
4.9.3. Nitridálható acélok.....	21

4.10. Speciális korrózióálló, hőálló, stb. acélok	21
5. Hőkezelő technológiák	23
5.1. Lágyítások	23
5.1.1. Újrakristályosító lágyítás	23
5.1.2. Teljes lágyítás	23
5.1.3. A 700 °C fok alatti hőmérsékletű lágyítás	25
5.2. Feszültségcsökkentő hőkezelések	25
5.3. Normalizáló hőkezelés	27
5.4. Nemesítés	27
5.4.1. Edzés	29
5.4.2. Megeresztés	29
5.5. Szerszámacélok hőkezelése	31
5.5.1. Szerszámacélok edzése	31
5.5.2. A szerszámacélok megeresztése	33
5.6. Kérgesítő hőkezelések	33
5.6.1. Indukciós edzés	34
5.6.2. Betétedzés	35
5.6.3. Nitridálás	36
6. Hőkezelés közbeni felületvédelem illetve termokémikus és speciális technológiák	38
6.1. Gáz technológiák	38
6.1.1. Védőgázok	38
6.1.2. Aktív gázok	39
6.2. Vákuumtechnológiák	39
6.3. Só, fém, olaj stb. fürdők	40
6.4. Fluid technológiák	40
6.5. Speciális technológiák	41

1. Az acélok hőkezelés szempontjából lényeges tulajdonságai

1.1. Az acélok keménysége

A lágyított, képlékeny hidegalakításra, illetve forgácsolásra szánt termékek esetében a kis, illetve mérsékelt keménység elérése a lényeges. Tehát a megengedhető maximális keménységet illetve keménység intervallumot írják elő.

Edzett termékeknel a kopásállóság, éltartósság stb. miatt nagy keménység szükséges. Ezért az elérendő minimális keménység az előírás.

Nemesített alkatrészek megfelelő szilárdságát és törékenységgel szembeni ellenállását együttesen közepes szilárdsággal lehet biztosítani. Keménységméréssel történő minősítés esetén közepes nagyságú keménység intervallumot írják elő. /a keménység alapján átszámító táblázat segítségével a szilárdság becsülhető.

Keménységmérő módszerek:

HB Brinell keménység a lágy, vagy közepes keménységű acélok minősítésére szolgál.

HRC Rockwell keménység edzett, illetve nagy szilárdságúra nemesített acélok ellenőrzésére való.

HV Vickers keménység bármilyen keménységű acél vizsgálható vele. Lokális keménységek meghatározására a legalkalmasabb módszer, például kérgesített alkatrészek kéregkeménység eloszlásának meghatározására.

1.2. Acélok szilárdsága illetve alakíthatósága

Az acél alkatrészekkel szemben követelmény, hogy egységnyi keresztmetszetre nézve minél nagyobb terhelést elviseljen maradó alakváltozás vagy szakadás nélkül. Tehát minél nagyobb szilárdságúak legyenek. Ugyanakkor követelmény, hogy a szilárdság mellett túlterhelés esetén alakíthatósági tartalékkal rendelkezzenek, azaz inkább képlékeny alakváltozás, mint szakadás következzen be.

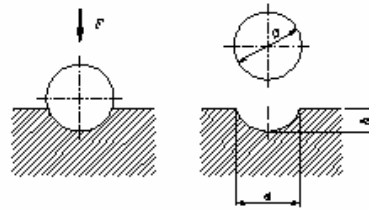
Az acélok szilárdságát és alakíthatóságát a szakítóvizsgálattal meghatározható jellemzőkkel minősítik. A megfelelő szilárdságot a minimálisan elérhető folyáshatár, egyezményes folyáshatár illetve szakítószilárdság előírásával biztosítják. Az alakíthatóság érdekében pedig a folyáshatár megengedhető maximális értékét illetve a szakadó nyúlás és a kontrakció minimálisan elérendő értékét írják elő.

1.3. Az acélok ridegtöréssel szembeni biztonsága

Az acélok megfelelő terhelhetősége (szilárdsága) mellett fontos az is, hogy szélsőséges környezeti hatások esetén (nagy hideg, nagy sebességű igénybevétel illetve kedvezőtlen feszültségállapot, például bemetszés jelenlétében) se forduljon elő ridegtörés. Ezt az

A Brinell keménység értelmezése

- Brinell keménységen az F terhelő erő és a lenyomat felületének hányadosát értjük.
- Jele: HB.



A gömbsüveg felülete $D\pi h$.

Ezzel a keménység

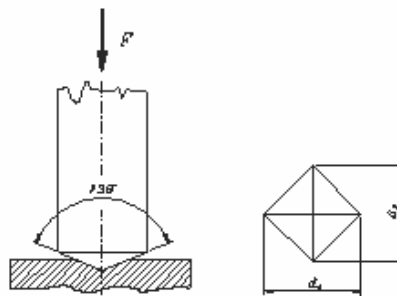
$$\text{számértéke: } HB = \frac{F}{D \cdot \pi h} \quad HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- A keménység mértékegység nélküli szám!

1.1. ábra: A Brinell keménységmérés elve. *Mérőszáma 100...400 közti érték.*

Vickers keménység mérőszáma

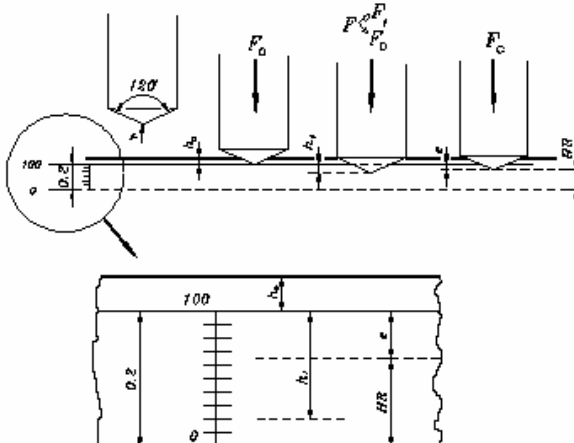
A Vickers keménység a Brinellhez hasonlóan a terhelő erő és a lenyomat felületének hányadosa. A lenyomat felületének meghatározásához a terhelés megszüntetése után a négyzet alakú lenyomat átlóit (d) mérjük.



$$HV = 0,102 \cdot 1,854 \cdot \frac{F}{d^2}$$

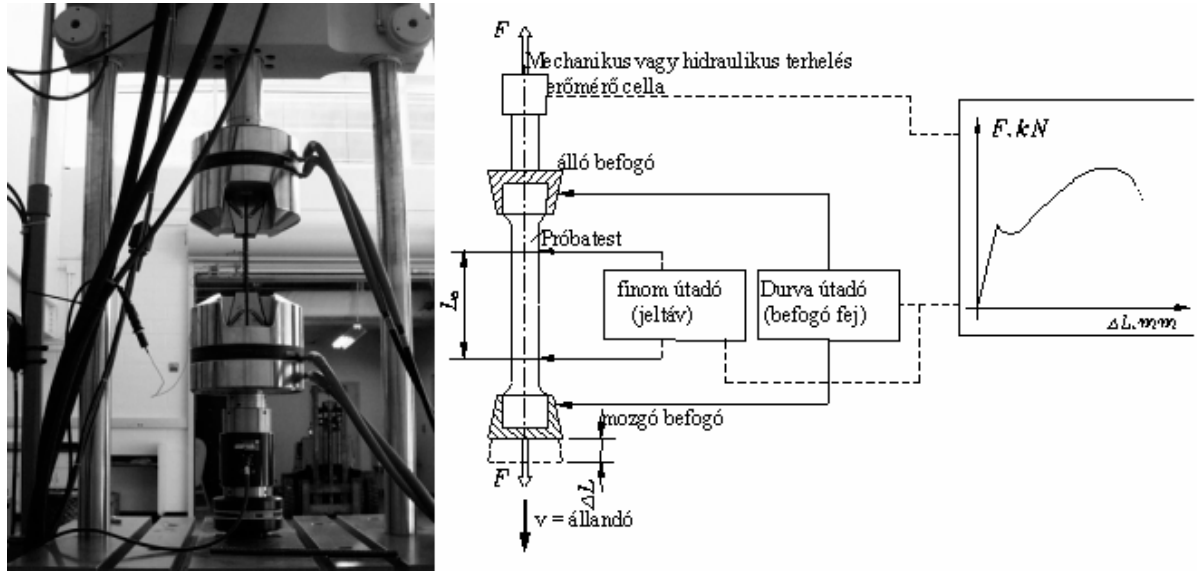
1.2. ábra: A Vickers keménységmérés elve. *Mérőszáma 100...1200 közti érték.*

A Rockwell keménységmérés elve

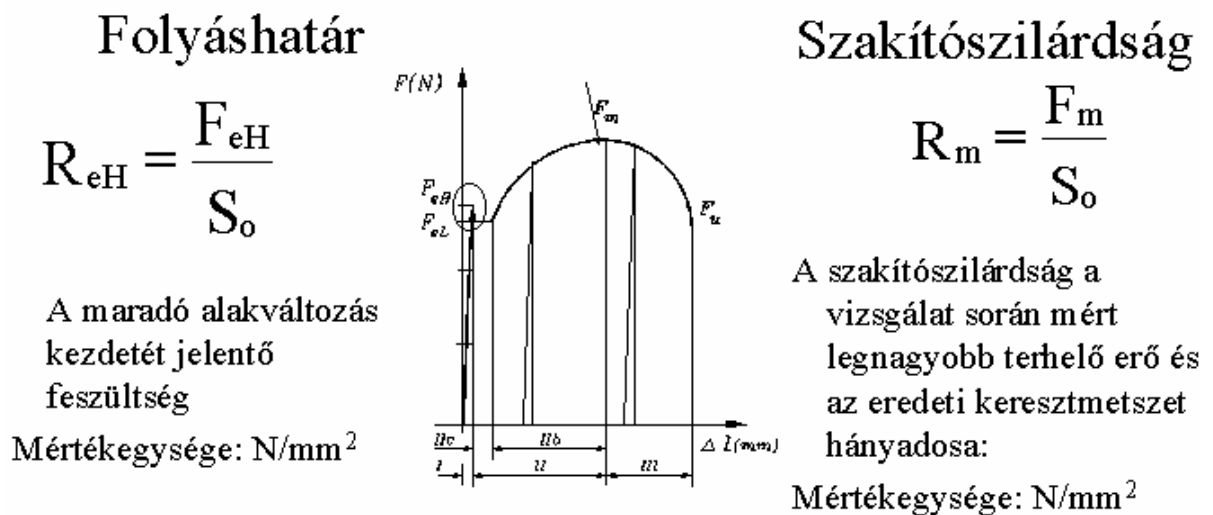


1.3. ábra: A Rockwell-C keménységmérés elve. *Mérőszáma 20...70 közti érték.*

ütőmunka, illetve átmeneti hőmérséklet előírással biztosítják. Ezeket a szilárdság mellett mint biztonsági feltételeket írják elő. A meghatározás szabványos próbatestek ütvhajlító vizsgálatával lehetséges.



1.4. ábra: A szakítógép, és a szakítóvizsgálat elve



1.5. ábra: A folyáshatár és a szakítószilárdság meghatározása. F az erő, S a keresztmetszet szabványos jele.

A hagyományos acélok folyáshatára 200...1200 MPa, szakítószilárdsága 300...1500 MPa közti érték.

Alakváltozási mérőszámok

- Szakadási nyúlás
vagy nyúlás.

Jele: A

Mértékegysége: %

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} 100 \%$$



- Keresztmetszet
csökkenés vagy
kontrakció.

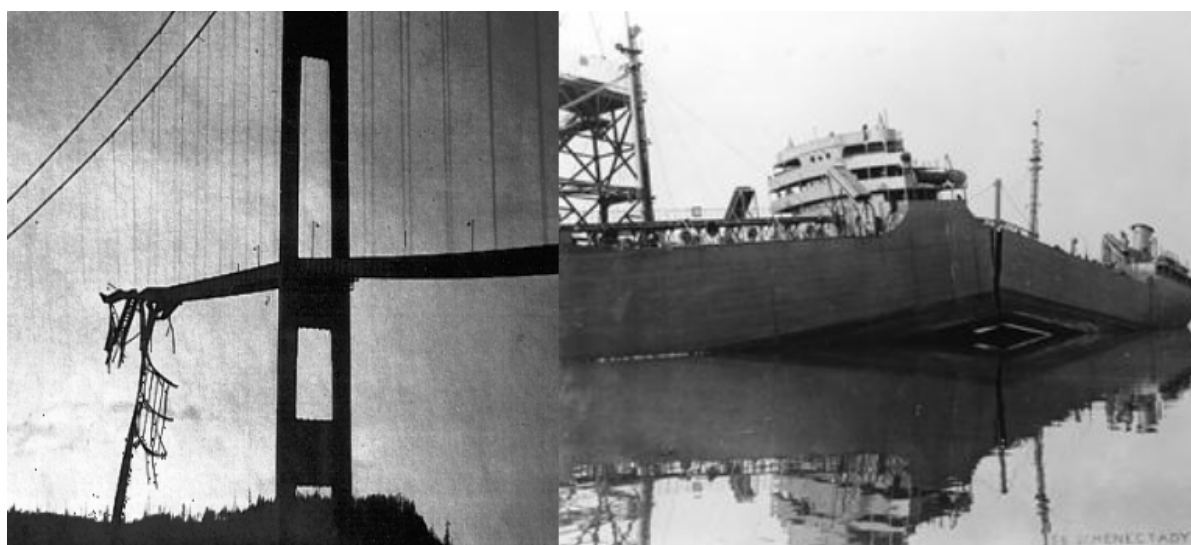
Jele: Z

Mértékegysége: %

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} 100 \%$$

1.5. ábra: A szakadási nyúlás és a kontrakció meghatározása. L a hossz, S a keresztmetszet szabványos jele.

Az acélok alakváltozási mérőszámai a kémiai összetétel, a hőkezelési állapot, és a képlékenyalakítási illetve megmunkálási előélet függvényében nagyon széles határok között – hagyományos acéloknál 0...50% nagyságrendben – változnak.



1.6. ábra: Katasztrófák a XX. század első felében.

Nagyméretű, hidegben üzemelő, dinamikusan igénybevett szerkezetekbe építve a hagyományos vizsgálatok alapján megfelelőnek ítélt anyagok ridegtörése katasztrófák sorozatához vezetett. Az elridegedés a térközepesen kristályosodó anyagok jellemzője, így az acélszerkezeteket is fenyegeti (alfavas). Az elridegedési hajlam, illetve az anyagok normál körülmények között mutatott szívósságának megítélésére szolgál az ütvehajlító vizsgálat során mérhető átmeneti hőmérséklet és ütőmunka. Ez utóbbi hőkezeléssel jelentős mértékben változtatható.

2. Az acélok tulajdonságait meghatározó tényezők

Az acélok tulajdonságait kémiai összetételük és hőkezelési állapotuk /kristályszerkezetük/ továbbá a gyártástechnológiából adódó belső feszültségek, tehát feszültségállapotuk szabja meg.

2.1. A kémiai összetétel

Az acélok kémiai összetételét az acélgyártáskor szabják meg (igény szerinti ötvöztetés, szennyezők minimalizálása).

Termokémikus hőkezelések esetén (pl. betétedzés, nitridálás stb.) az alkatrész felületi rétege diffúziós módon dúsítható, ezzel olyan alkatrészek gyárthatók, melyek magja és kérge eltérő kémiai összetételű, tehát merőben eltérő tulajdonságú lehet.

2.2. A hőkezelési állapot

Az acélok hőkezelési állapotát adott kémiai összetétel esetén a kohászati melegalakító technológiák (hengerlés és kovácsolás) és a tudatosan alkalmazott hőkezelési eljárások alakítják ki.

Az acélok hőkezelési állapotának kialakulásában a következő folyamatok játszanak döntő szerepet:

2.2.1. Az allotróp átalakulás

Az acélok zöme allotróp átalakulást mutat, azaz kémiai összetételtől függően 700-900 °C alatt más kristályszerkezetű (alfavas) mind előlött (gammavas).

Az alfa és gamma módosulatok az alkotókat különböző mértékben oldják. Például a gammavas nagymértékben oldja a karbont, míg az alfavas igen kis mértékben.

Ezért ha az alfa állapotból gamma állapotba hevítjük az anyagot majd visszahűtjük, a következő esetek állhatnak fenn:

Lassú hűtés esetén visszaáll az egyensúlyi állapot, tehát az acél lágy marad.

Gyors hűtés esetén a gamma-alfa átalakulás végbemegy ugyan, de a karbon nem tud kiválni, ezért karbonban túltelített alfavas jön létre, mely nagy keménységű, rideg, úgynevezett martenzites szerkezetű. Ez az edzés lényege, nem egyensúlyi állapot létrehozása.

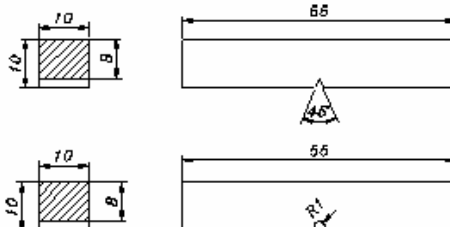
Az, hogy a folyamathoz milyen gyors hűtés szükséges, az acél kémiai összetételétől függ. Ötvöztetlen acélok esetén még kis méretű daraboknál is vízűtés szükséges, ötvözött acélok-nál elég lehet az olajűtés, erősen ötvözött acélok akár légedzésűek is lehetnek.

Ha az edzett vagy részlegesen edzett acélt újra gamma állapotra hevítjük (ausztenites állapot) az edzés hatása megszűnik, tehát az újabb lehűtés szabályozásával hozható létre lágy vagy kemény állapot.



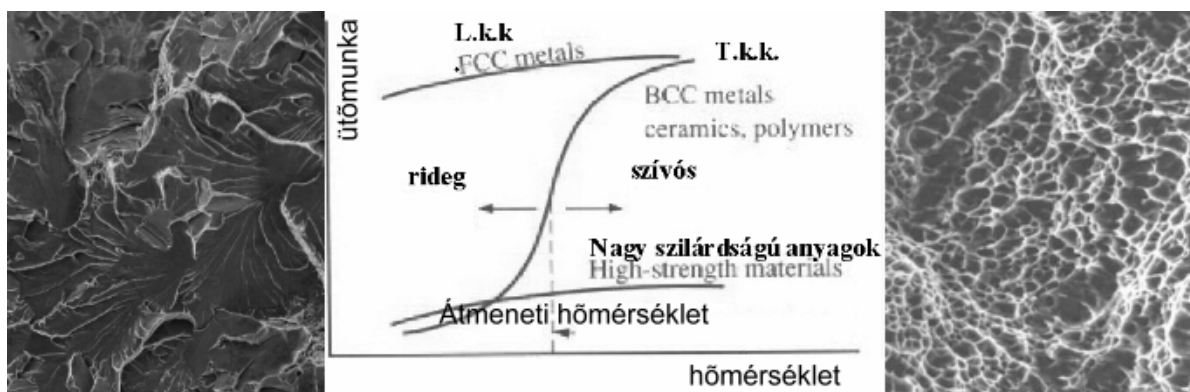
A kísérlet során a
próbatest eltöréséhez
szükséges energia az
ütőmunka

$$K = G_r(h_0 - h_1) \text{ [J]}$$



1.7. ábra: A Charpy-féle ütvehajlító vizsgálat

A nemesített acélokat általában akkor tekintik megfelelő szívósságúnak, ha ütőmunkájuk nagyobb, mint 30...50 J.



1.8. ábra: A rideg és a szívós viselkedés. Ridegen és szívósan tört felület mikroképe.

Rideg törés – csekély munkaszükséglet, hasadt, sík felületek, helyi alakváltozás nincs

Szívós törés – nagy munkaszükséglet, tagolt felület, nagymértékű helyi alakváltozás

Megállapítható tehát, hogy az allotróp átalakulás kihasználásával a hevítési-hűtési hőciklusokkal (hőkezelésekkel, melegalakítással) a legkülönbözőbb állapotok hozhatók létre.

2.2.2. Megeresztődés, kilágyulás

Az acélok nem egyensúlyi /edzett vagy részlegesen edzett / állapota 250...680 °C intervallumra hevítve fokozatosan egyensúlyi irányba változik, tehát keménysége csökken, alakíthatósága nő, ridegségéből veszít, stb. Ez a megeresztődés, illetve kilágyulás folyamata.

2.2.3. Az újrakristályosodás

Az acélok hidegalakítása a szemcséket deformálja, ez alakítási keményedést hoz létre. Az alakítási keménység lágyítással megszüntethető. Kb. 400...650 °C-ra hevítve az alakított szemcsék rovására új, alakítatlan szemcsék jönnek létre. A kialakuló szemcseméret határozza meg a tulajdonságokat. A szemcseméret az alakítás mértékétől, a hevítés hőmérsékletétől és idejétől függ.

2.2.4. A feszültségrelaxáció

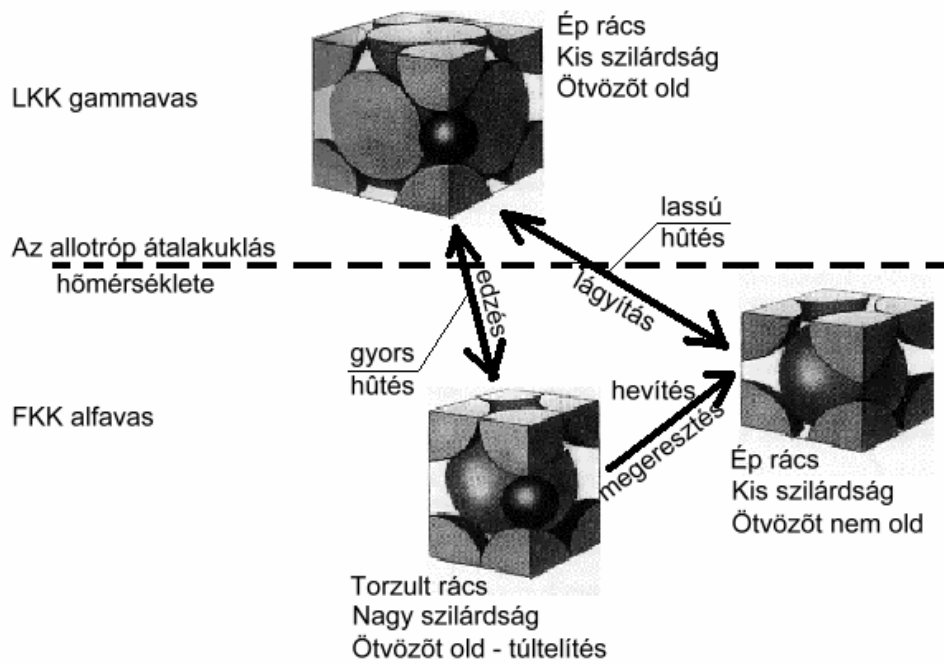
Az acélok feszültségállapota (sajátfeszültségek) hevítés és hűtőtartás esetén a feszültségrelaxáció miatt megváltozik. A feszültség okozta rugalmas alakváltozás az idő folyamán maradó alakváltozássá alakul, mégpedig annál gyorsabban, minél nagyobb a hőmérséklet. A feszültségrelaxáció miatt a saját feszültségek mérséklődnek, ez az alapja feszültségcsökkentő hőkezeléseknek.

2.3. **A feszültségállapot**

Az acél alkatrészeket terhelő sajátfeszültségek a gyártástechnológia alatt alakulnak ki. A hely függvényében változó hevítési és hűtési ciklusok okozta eltérő hőtágulás, a hely függvényében eltérő alakítottság, stb. miatt.

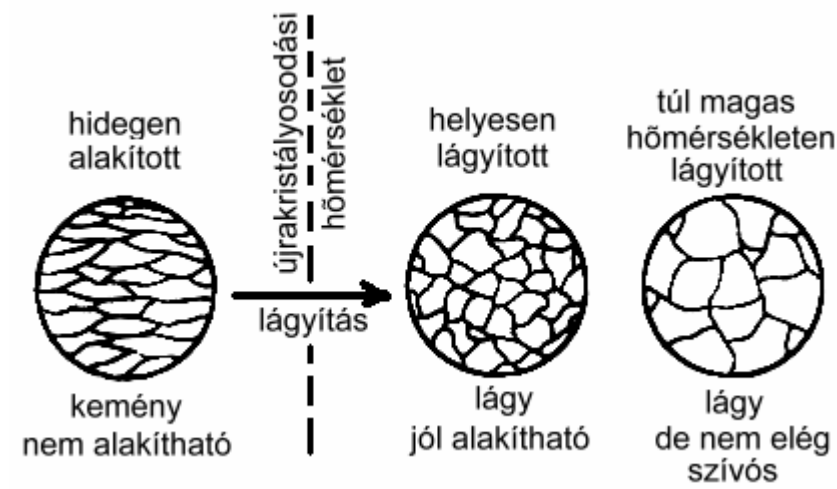
A makroszkópikus sajátfeszültségek a test távoli pontjai között egyensúlyt tartanak. A feszültségmentesítés az egyensúlyt megbonthatja, ezért vetemedéssel is járhat.

A mikroszkópos sajátfeszültségek a szemcseméreteken belüli feszültségek. Feszültségmentesítésük keménységcsökkenéssel jár.



2.1. ábra: Az allotróp átalakulás és az ötvöző oldhatósága

Az α - és a γ -vas atomjai az átalakulási hőmérséklet fölött, illetve alatt, más geometriai rendben helyezkednek el. Ennek következtében más mennyiségű idegen atom ékelődhet a rácsba anélkül, hogy a rács torzulna. A torzult rácsokból felépülő anyag – a saját belső feszültsége miatt – nagy szilárdságot mutat, és rideggé válik. Az átalakuláskor a térfogat is megváltozik, a γ -vas fajtérfogata kisebb mint az α -vasé, vagyis a hűlés során az átalakuláskor a darabok térfogata megnő. A gyorsan hűtött darabot az átalakulási hőmérséklet alá hevítve szilárdsága csökken, szívóssága nő.



2.2. ábra: A hidegalakítás, és az azt követő hőkezelés hatása a kristályszerkezetre és a tulajdonságokra

A hidegen alakított darabok túl magas hőmérsékleten, hosszú ideig történő lágyítása nem kívánt tulajdonságromláshoz vezet.

3. Acélminőségek, acéltípusok

3.1. Az acél fogalma

Acéloknak nevezzük a vasalapú ötvözeteket. A bázisfém tehát a vas, melyhez ötvözők és szennyezők járulnak.

3.2. Az ötvözetlen acélok

Azt az ötvözetet, mely a vason kívül csak alapalkotókat tartalmaz, ötvözetlen acélnak nevezzük.

Az alapalkotóknak a következő szerepük van:

A karbon a minőséget leginkább meghatározó alkotó. Minél nagyobb a karbon-tartalom, annál nagyobb az acél szilárdsága és edzett állapotú keménysége valamint kopásállósága, de annál nagyobb a ridegtörési hajlama is.

A lágyacélok 0,1...0,2 % kARBONT tartalmaznak

A nemesíthető acélok karbon-tartalma 0,25...0,6 %

A szerszámacélok karbon-tartalma pedig 0,4...1.3%.

A mangán 0,3...0,8 %-ig az ötvözetlen acél természetes alapalkotója. A szilárdságot növeli. 0.8 % fölötti mangántartalom tudatos ötvözéssel érhető el.

A csak kARBONT tartalmazó acélok esetén az edzett állapot eléréséhez igen nagy hűtési sebesség szükséges. A mangán az átedzhetőséget javítja, a mangántartalom növekedése esetén egyre kisebb hűtési sebesség elegendő az edzett állapot létrehozásához.

A szilícium csillapítatlan acélokban csak század százalékokban van jelen. A csillapított acélok 0,2...0,4 % szilíciumot tartalmaznak. 0,4 % fölött a szilícium ötvöző.

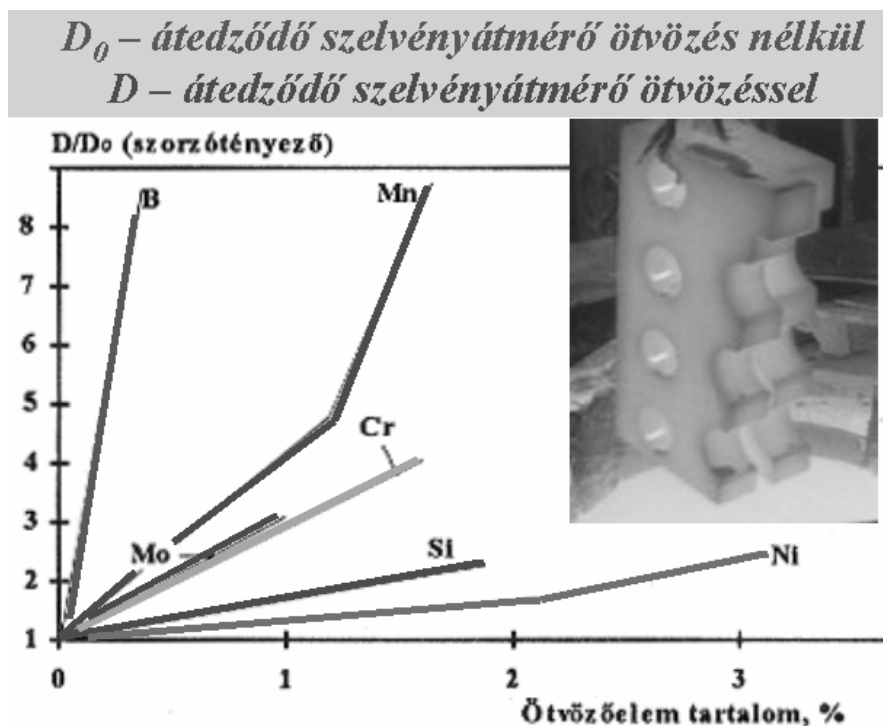
A csillapítatlan acélok CO hólyagok képződése közben dermednek meg. A szilícium adagolása az oxigént megköti, így a csillapított acél hólyagmentesen dermed.

A kén és a foszfor általában káros szennyezők, ezért megengedhető maximumuk van előírva, általában 0,030...0.035 %-ban. A kén melegtörékenységet, a foszfor hidegtörékenységet okoz.

3.3. Az ötvözött acélok

A különböző felhasználási szempontból fontos tulajdonságok elérésére az acélokhöz tudatosan különböző ötvöző csoportokat olvasztanak.

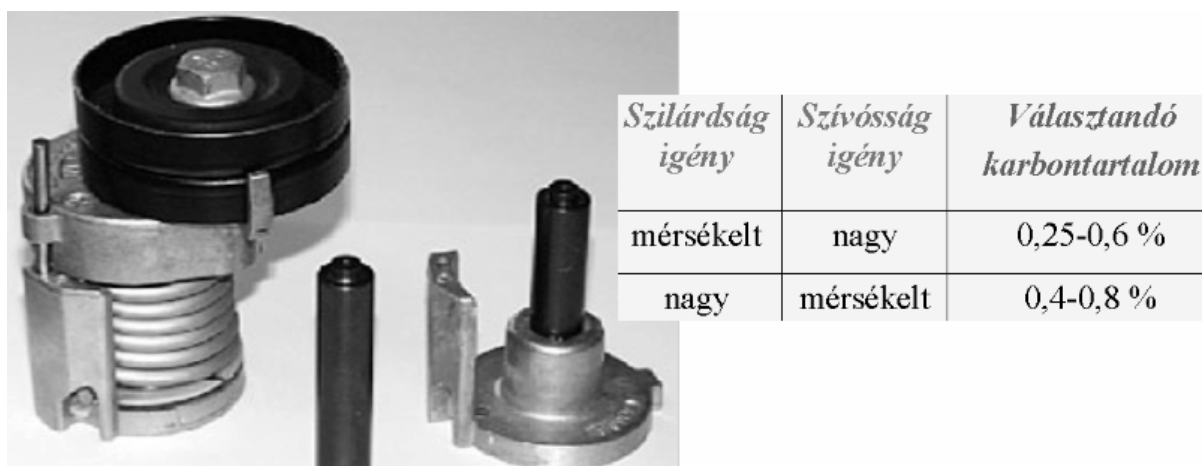
Takarékcélok esetén a legolcsóbb mangán és szilícium ötvözést alkalmazzák, ennek hatására a szilárdság növelhető, de a szívósság (ütőmunka) értéke nem.



3.1. ábra: Az ötvözők hatása az acélok átedzhetőségére

Nemesacélok esetében króm, molibdén, vanádium, wolfram és nikkel ötvözést alkalmaznak, ezek hatására kisebb karbon tartalom is elegendő az előírt szilárdság biztosítására, ezáltal nagyobb ütőmunka érhető el. Ezt elsősorban az ötvözők finomszemcsésítő hatása okozza.

Speciális acéloknál a felsoroltakon kívül kén, kobalt, bór, alumínium stb. ötvöző is előfordul.



4.1. ábra: A nemesíthető és rugóacélok anyagválasztási szempontjai

4. Az acélok felhasználási szempontból csoportosítható típusai és hőkezelésük ellenőrző vizsgálatai

4.1. Ötvözetlen lágyacélok

Jellemzően 0,1...0,2 % karbon tartalmúak. A lágy lemezek, rudak, csövek, drótok, lágy betonvasak tehát a tömegáruk anyagai. Általában hegeszthetők. Melegalakított, hidegalakított és lágyított állapotban forgalmazzák és használják fel őket.

Minőségellenőrzésük, keménységmérés, szakítóvizsgálat és technológiai próbák alapján (hajlító, csavaró, hajtogató stb. technológiai próbák) történik.

4.2. Nemesíthető és rúgóacélok

0,25...0,6 % karbon tartalmú ötvözetlen és ötvözött minőségek. Jellemzően nemesített állapotban (edzés + megeresztés) kerülnek felhasználásra. Az erősebben igénybevett alkatrészeknél fontos a nagy szilárdság és a törékenységgel szembeni nagy ellenállás. Ezt együttesen a nemesítő hőkezeléssel lehet elérni. A nemesíthető acélokat általában lágyított állapotban hozzák forgalomba, hogy forgácsolhatóságuk megfelelő legyen.

A minősítés lágyított állapotban Brinell keménységméréssel, nemesített állapotban pedig a szakítószilárdság, az egyezményes folyáshatás és az ütő munka meghatározása alapján történik.

4.3. Hidegalakító szerszámacélok

Általában a nagy keménység és kopásállóság a követelmény. Ezt nagy karbon-tartalommal (0,4...2 %), és edzéssel lehet elérni. Az edzést csak kis hőmérsékletű feszültségmentesítés követheti, hogy az edzési keménység csak minimálisan csökkenjen.

Ötvözetlen és ötvözött minőségeket is alkalmaznak. A nagyobb és erősebb koptatásnak kitett szerszámacélokat ötvözött minőségekből gyártják. A hidegalakító szerszámacélokat a forgácsolhatóság érdekében lágyított állapotban forgalmazzák.

A minősítés lágyított állapotban Brinell keménységméréssel, az edzett majd feszültségmentesített állapotban pedig Rockwell keménységméréssel történik.

4.4. Melegalakító szerszámacélok

A nagy keménység és kopásállóság mellett az is fontos, hogy a szerszámok a működési hőmérsékleten ne lágyuljanak ki. Ez speciális erős ötvözéssel (króm, molibdén, vanádium és wolfram), továbbá az edzést követő speciális megeresztéssel érhető el. A melegalakító szerszámacélokat szintén lágyított állapotban forgalmazzák.

Minősítés lágyított állapotban Brinell keménységméréssel, edzett és megeresztett állapotban pedig Rockwell keménységméréssel történik.



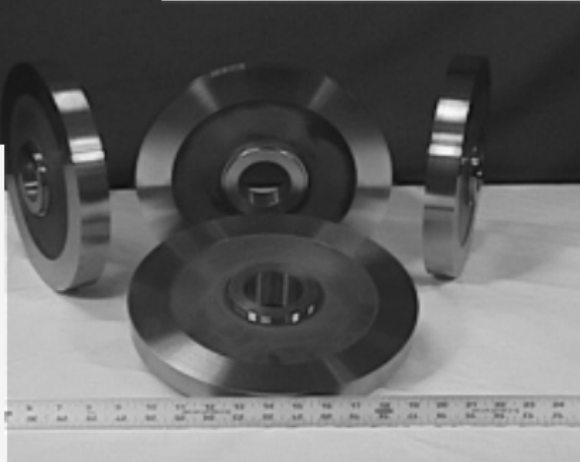
Hidegalakító szerszámacélok

Ötvözetlen szerszámacélok

- C 0,4-1,4
- szívósság/szilárdság arány
- átedzhetőség hiánya
(kis méret, felületi réteg)
- hőállóság hiánya
S45-S131

Eutektoidos mangánacél

- jobb átedzhetőség
- alacsonyabb edzési hőmérséklet
- kevés maradék ausztenit
- kivágószerszámok, ollók,
idomszerek
M1





Hidegalakító szerszámacélok

Cr-W ötvöztetések

- C 0,4-1,1, Cr 1%, W 2%
- szívós (C a karbidokban)
- WC stabil, hőálló
- felhevítési lépcsők
kisebb teljesítményű
marók, fűrők
W5, W6, W9

Hipereutektoidos Cr acélok

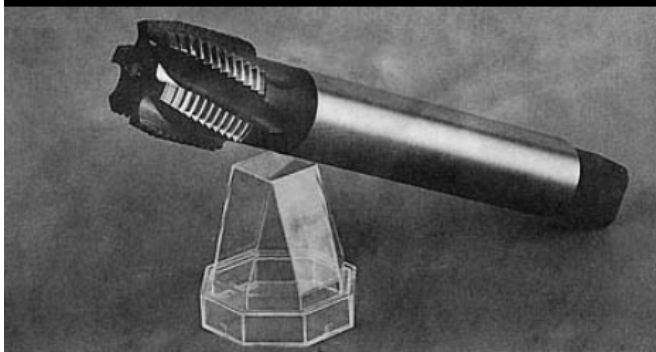
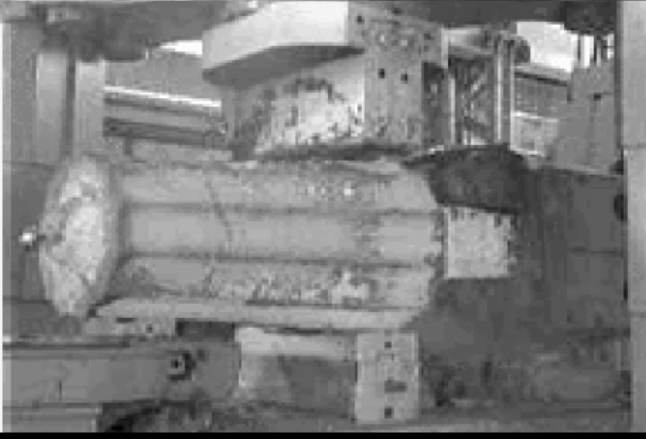
- C 1-1,4%, Cr 0,5-1,5%
- Cr - átedzhetőség
- finom karbideloszlás
- jó felületi minőség
- pengék, kések, dörzsárak
K4, K6



4.2. ábra: A hidegalakító szerszámacélok, és felhasználási területeik

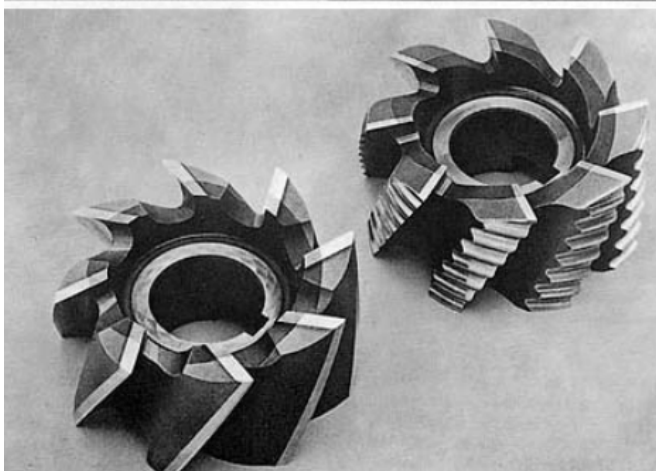
Melegalakító szerszámacélok

- 300-400 °C feletti üzemelés
- stabil karbidok szükségesek
- ötvözők szerepe:
 - szemcsedurvulás megakadályozása
 - átedzhetőség
 - kopásállóság, karbidok
- nagy szívóssági igény
- C 0,6 % alatt



Gyorsacélok

- üzemi hőmérséklet ~>600 °C
- C 0,7-1,4 % (alapszövet, karbid)
- ötvözők:
 - Cr, Mo, V, W, Co
- Cr átedzhetőség, diszperz karbidok
- V kemény karbidok, kiváló keményedés
- Mo-W egymást helyettesítik
 - kevésé oldódnak
 - szemcsedurvulás akadályozása
 - karbid csíra képzés



4.3. ábra: A melegalakító szerszámacélok és a forgácsolószerszámok anyagai



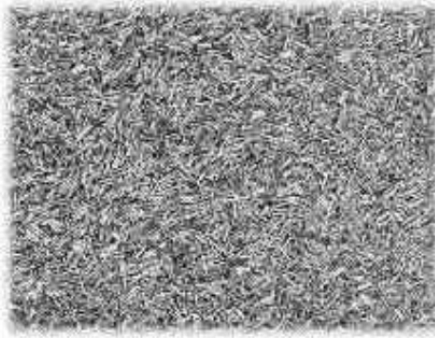
Hegeszthető acélok

Felhasználás:

híd, daru, hajó,
nyomástartó edények,
csővezetékek
„nagy szerkezetek”

Követelmény:

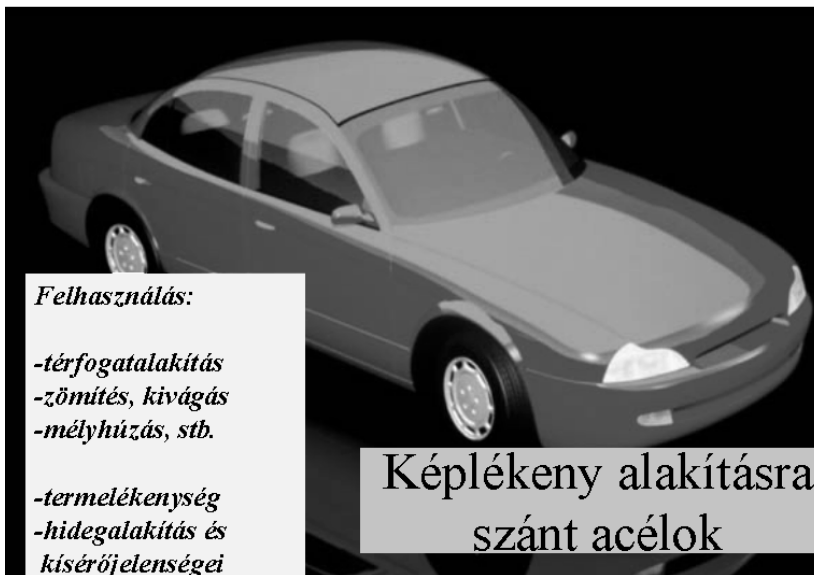
-hegeszthetőség
-szilárdság
-ridegtörési biztonság
(szívósság)



Forgácsolható acélok

Forgácsolhatóság:

-kicsi forg. erő
-szerszám élettartam
-forgács jellege
-felületi minőség



Felhasználás:

-térfogatalakítás
-zömítés, kivágás
-mélyhúzás, stb.

-termelékenység
-hidegalakítás és
kísérőjelenségei

Képlékeny alakításra szánt acélok

4.4. ábra: A különböző feldolgozó technológiákra optimalizált acélok

4.5. Forgácsoló szerszámacélok

Ezeknél az anyagoknál nagy keménység és kopásállóság szükséges, tehát nagy (0,6...1,5%) karbon-tartalmú, gyengén illetve erősen ötvözött acélokat alkalmaznak. Az erősen ötvözött minőségek azoknál a szerszámoknál szükségesek, melyeknél forgácsolás során a szerszám erősen melegszik, tehát a kilágyulás veszélye fennállhat.

A gyengén ötvözött minőségek hőkezelése a hidegalakító, míg az erősen ötvözötteké a melegalakító szerszámacélokéhoz hasonló. A forgácsoló szerszámacélokat is lágyított állapotban hozzák forgalomba, a szerszám kialakításhoz szükséges forgácsolhatóság érdekében.

A minősítés lágy állapotban Brinell keménységméréssel, edzett majd megeresztett állapotban Rockwell keménységméréssel történik,

4.6. Hegesztett szerkezetek acéljai

A hegeszthetőség miatt kis (0,1...0,2%) karbon-tartalmúak. A szilárdság növelése általában mangán adagolásával történik. A ridegtöréssel szembeni ellenállás miatt finomszemcsés szerkezet szükséges, ez mikroötvözéssel (titán, nióbium és alumínium) érhető el. Ezek az acélok általában normalizált állapotban kerülnek forgalomba.

A minősítés szakítóvizsgálattal, ütőmunka vizsgálattal és speciális törésmechanikai vizsgálatokkal történik.

4.7. Hidegalakításra optimalizált acélok

Különböző rendeltetésű acélokat forgalmazhatnak hidegalakításra alkalmas, speciálisan lágyított állapotban, például jól zömíthető minőségek, csavar és szeggyártás céljára, illetve mélyhúzható lemezanyagok karosszériagyártás céljára.

A minősítés szakítóvizsgálat és technológiai próbák alapján történik (zömítési próba, Erichsen vizsgálat, stb.).

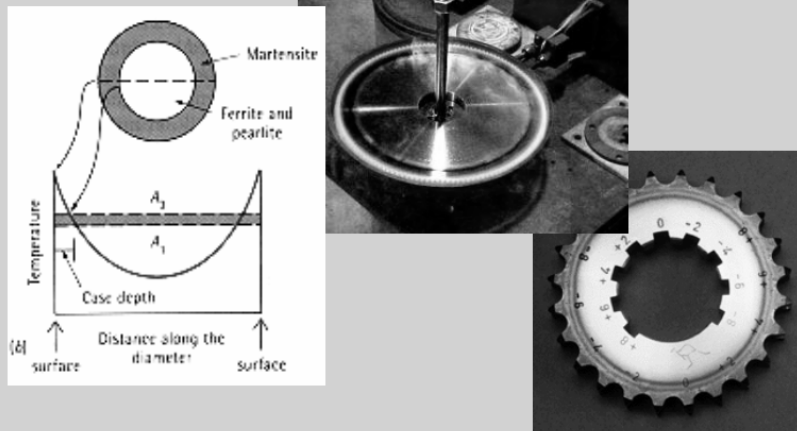
4.8. Forgácsolásra optimalizált acélok

Jellemző minőségek az automata acélok, melyekben kén és mangán ötvözéssel mangánszulfid zárványokat hoznak létre, melyek forgácsoláskor töredezett forgácsot és szép forgácsolt felületet biztosítanak. Lágyított és hidegen húzott rudak formájában kerülnek forgalomba.

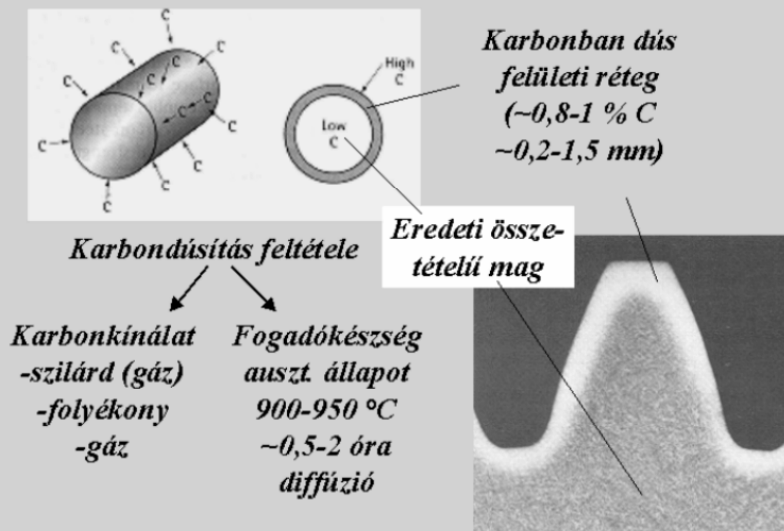
A minősítés Brinell keménységmérés, szakítóvizsgálat és mangánszulfid zárvány eloszlás minősítés illetve forgácsolhatósági kísérletek alapján történik.

Felületi láng- és indukciós edzés

Előhőkezelés - felületi hevítés - hűtés

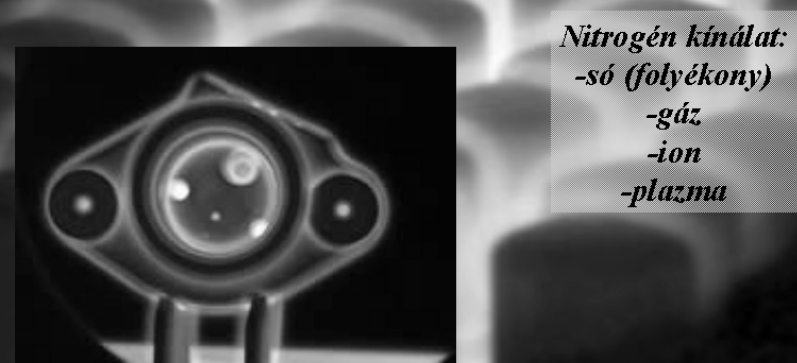


Betétedzés: felületi karbondúsítás + edzés



Nitridálható acélok

Felületi réteg dúsítása N-el - nitridképződés



4.5. ábra: A felületi kéregítésre alkalmas acélok

4.9. Felületileg kérgesíthető acélminőségek

4.9.1. Indukciós edzésre alkalmas acélok

Az indukciósan felületileg edzhető acélok 0,4%-nál nagyobb karbon tartalmú nemesíthető acélok. A nagy karbon tartalom a kéregkeménység elérhetőségét szolgálja. Indukciós edzés előtt a finom szerkezet elérésére általában nemesítést alkalmaznak.

Az indukciósan edzett darabok magját a nemesített acélokra előírt módon kell minősíteni, a kéreg ellenőrzésére pedig a keménység eloszlást Vickers keménységméréssel kell meghatározni.

4.9.2. Betétedzésű acélok

Ezek kis karbon tartalmú (0,1...0,2%) ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok. Cementáláskor a darab kérgébe karbont diffundáltatnak (0,6...0,8%). A cementált darabok edzésekor a kéreg keményre edződik, a mag pedig lágy marad. A kéreg tehát kopásálló, a mag viszont szívós lesz. A betétedzésű acélokat is lágyított állapotban forgalmazzák.

Minősítésük lágyított állapotban Brinell keménységméréssel történik, cementált és edzett állapotban a mag szilárdságát és ütőmunkáját ellenőrzik, továbbá a kéreg keménység eloszlását és a réteg vastagságát határozzák meg Vickers keménységméréssel.

4.9.3. Nitridálható acélok

A nitridálható acélok nitridképző elemekkel ötvözött (króm, molibdén, alumínium, titán) nemesíthető minőségek. Kérgükbe nitrogént diffundáltatva ötvöző nitridek képződnek, ezek adják a kéreg nagy keménységét. A nitridálható acélokat is lágyított állapotban forgalmazzák, nitridálás előtt nemesítő hőkezelést alkalmaznak.

A nitridált darabok magját a nemesített acélok előírásának megfelelően kell minősíteni, kéregkeménységéről és rétegvastagságáról pedig kis terhelésű Vickers keménységméréssel kell meggyőződni.

4.10. Speciális korrózióálló, hőálló, stb. acélok.

A különböző követelmények kielégítésére közepesen vagy erősen ötvözött acélok szolgálnak. A minősítés a követelményeknek megfelelő speciális vizsgálatokkal történik.

Acélok vizsgálati programja

	Acélfajta		Állapot		Szakítóvizsgálat			Útvehajlító vizsgálata		Keménységmérés			Egyéb vizsgálat
					Folyáshatár	Szakítószilárdság	Nyúlás	Útőmunka	Átmeneti hőmérséklet	HB	HV	HRC	
4.1	Ötvözetlen lágyacél	szállítási	hideg/melegalakított, lágyított	minimum	minimum	minimum				min + max			hajlító, csavaró, hajtogató, stb.
		késztermék											
4.2	Nemesíthető és rugóacél	szállítási	lágyított							maximum			
		késztermék	nemesített	minimum	minimum	minimum	minimum						
4.3	Hidegalakító szerszámacél	szállítási	lágyított							maximum			
		késztermék	edzett, feszment.									minimum	hajlítószilárdság
4.4	Melegalakító szerszámacél	szállítási	lágyított							maximum			
		késztermék	nemesített									minimum	hajlítószilárdság
4.5	Forgácsoló szerszámacél	szállítási	lágyított							maximum			
		késztermék	nemesített									minimum	hajlítószilárdság
4.6	Hegesztett szerkezetek acéljai	szállítási	normalizált	minimum	minimum	minimum			maximum				spec. vizsg.
		késztermék	(feszment.)										
4.7	Hidegalakításra optimalizált acél	szállítási	spec. lágyított	maximum	maximum	minimum							spec. vizsg.
		késztermék	hidegalakított										
4.8	Forgácsolásra optimalizált acél	szállítási	lágyított/húzott	minimum	minimum	minimum				min + max			
		késztermék	alakított/nemesített	minimum	minimum	minimum	minimum						
4.9.1	Indukciósan edzhető acél	mag	szállítási							maximum			
		kéreg	késztermék	minimum	minimum	minimum	minimum					minimum	kéregvastagság
4.9.2	Betétedzésű acél	mag	szállítási							maximum			
		kéreg	késztermék	minimum	minimum	minimum	minimum					minimum	kéregvastagság
4.9.3	Nitridálható acél	mag	szállítási							maximum			
		kéreg	késztermék	minimum	minimum	minimum	minimum					minimum	kéregvastagság

5. Hőkezelő technológiák

5.1. Lágyítások

Ha az acél a megkívántnál nagyobb keménységű, a forgácsolhatóság, hidegalakíthatóság stb. érdekében lágyítani kell.

Az acél nagyobb keménységét vagy a hidegalakított termék alakítási keménysége okozza, vagy a melegalakítás illetve hőkezelés lehűtése olyan sebességű volt, hogy az acél részlegesen beedződött.

A lágyítás tehát hidegalakított termékeknél és főleg ötvözt acéloknál szükséges, melyeknél a melegalakításkor történő levegőn való lehűlés is részleges edződést okozhat.

5.1.1. Újrakristályosító lágyítás

A hidegalakított termékek hevítésekor az alakított szemcsék rovására alakítatlan szemcsék fejlődnek (2.2.3. pont)

A lágyított termékek tulajdonságait a kialakult szemcseméret határozza meg. Ez pedig a hidegalakítás mértékétől, a hevítés hőmérsékletétől és időtartamától függ. A várható eredményről az újrakristályosodási diagramm tájékoztat.

Általában finomszemcsés állapotra kell törekedni, de például trafólemezeknél a mágneses tulajdonságok annál kedvezőbbek, minél durvábbak a szemcsék. Sok esetben részleges lágyítást kell alkalmazni, tehát az újrakristályosítást csak részlegesen kell megvalósítani. Így lehet például a rugókeménységre húzott huzalokból félkemény huzalokat előállítani.

A lágyítás sikerének ellenőrzésére keménységvizsgálat illetve szakító vizsgálat alkalmazható, alakítási technológiai próbákkal kiegészítve.

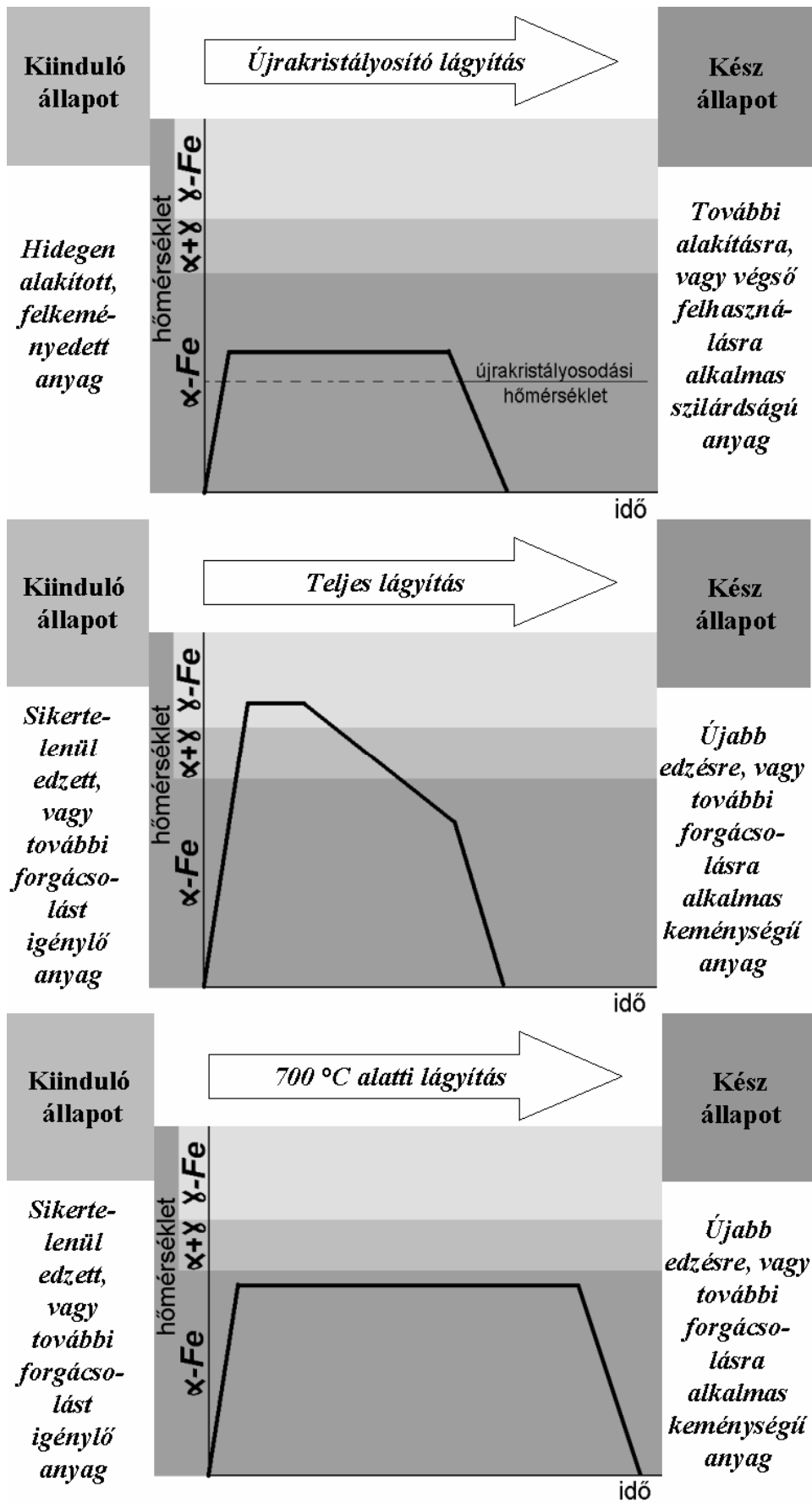
5.1.2. Teljes lágyítás

Edzett vagy részlegesen beedződött darabok esetén célszerű lehet az egyensúlyi állapot visszaállítása ha, további forgácsolás vagy hőkezelés szükséges. Ezt teljes lágyítással lehet megvalósítani

Az acélt gammaállapotnak megfelelő hőmérsékletre kell hevíteni, majd kemencében lassan lehűteni a gamma-alfa átalakulás befejeződéséig, kb. 600 °C fokig. A lágyulás a hűtési sebességtől függ. Ezt követően levegőn történhet a további hűtés.

A teljes lágyítást ötvözt melegalakított termékek forgácsolhatósága érdekében szokták alkalmazni.

Sikerének ellenőrzése az előírt Brinell keménység kontrollálásával történik.



5.1. ábra: A lágyító hőkezelések

5.1.3. A 700 °C fok alatti hőmérsékletű lágyítás

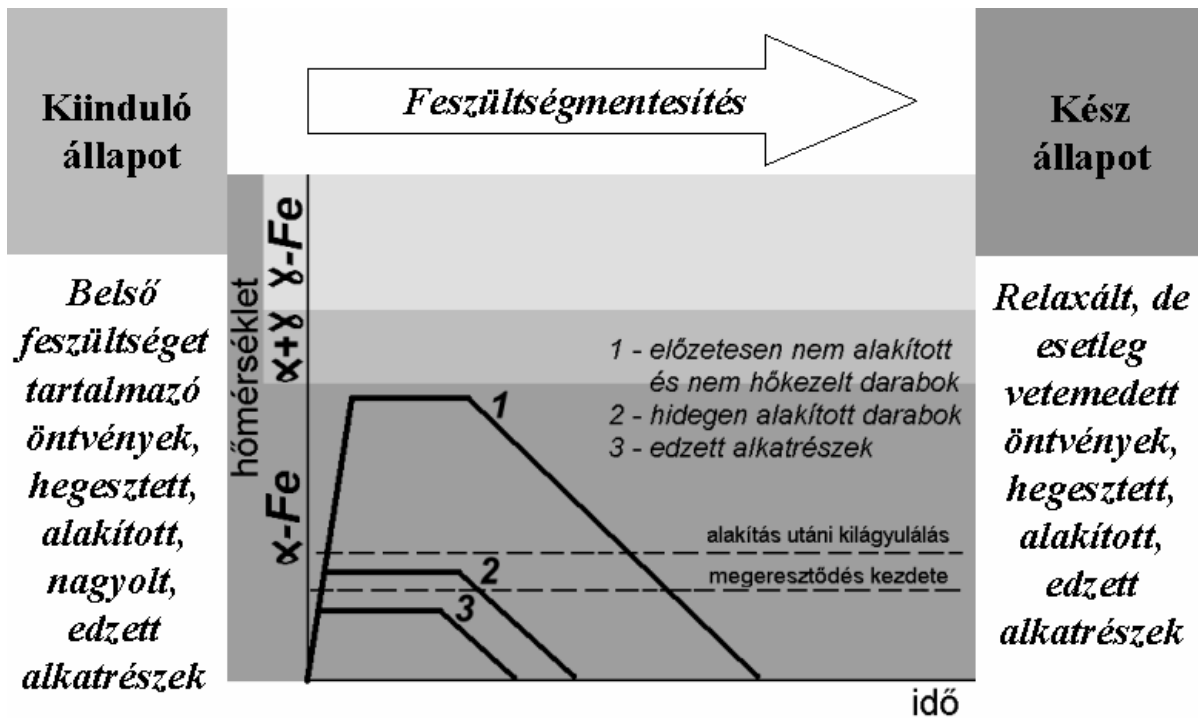
A készre forgácsolt, de sikertelenül hőkezelt pld. nemesített alkatrészeket újabb hőkezelés előtt lágyítani kell. Teljes lágyítás esetén gamma-alfa átalakulás megy végbe, ami méretváltozást illetve vetemedést okozhat. Ezen kívül a nagy hőmérséklet miatt a felületi revésedés illetve dekarbonizálódás is káros lehet. Ezek elkerülésére a lágyítást az ausztenitesedést még nem okozó, nagy hőmérsékleten végzik, hosszabb hőntartással. A lágyulás a hőntartás alatt következik be, az edzett vagy részlegesen beedződött szövet egyensúlyi irányban történő megváltozásával. Ez az eljárás nyilván drágább, mint a teljes lágyítás.

5.2. Feszültségcsökkentő hőkezelések

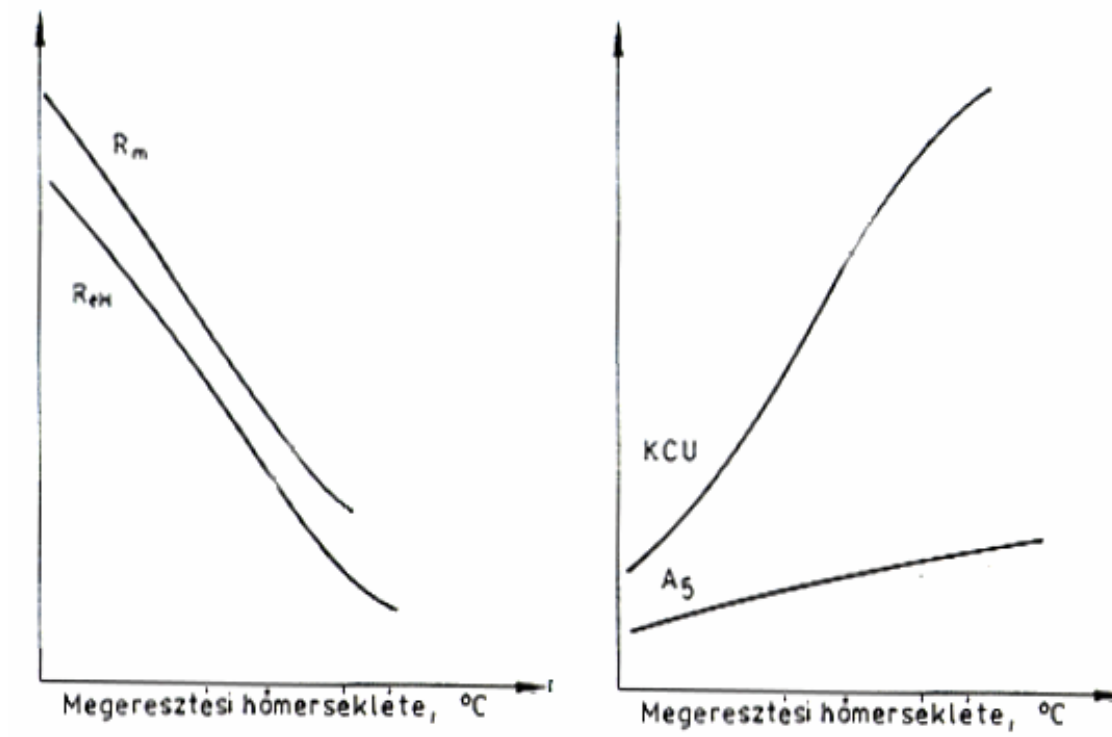
A különböző technológiák alatt a gyártmányokban káros saját feszültségek keletkezhetnek. Ezek két szempontból károsak. Egyrészt hozzáadódnak az üzemi terhelés okozta feszültségekhez, ezzel csökkentik a terhelhetőséget, illetve élettartamot, másrészt hosszú idő alatt a saját feszültségek relaxálása miatt az alkatrész méretváltozása vagy vetemedése következhet be. Célszerű tehát a saját feszültségeket feszültségcsökkentő hőkezelésekkel relaxáltatni.

A leggyakoribb feladatok:

- Öntvények saját feszültségeinek relaxáltatása forgácsoló megmunkálás előtt, hogy a vetemedés még a megmunkálás előtt következzen be.
- Durva forgácsolás utáni és végső megmunkálás közötti feszültségmentesítés, hogy a vetemedés a végső méret kialakulása előtt menjen végbe.
- Hidegalakított termékek, vagy karcsú termékek hidegalakításos egyengetése utáni relaxáltatás, hogy az alakítási feszültségek relaxációja ne a raktározás vagy felhasználás során következzen be vetemedést okozva.
- Edzett alkatrészek illetve szerszámok feszültségcsökkentése a makroszkópikus és mikroszkópikus saját feszültségek relaxáltatásával, a törékenység csökkentése illetve az élettartam növelése érdekében.
- A saját feszültségek leépülése annál gyorsabb és tökéletesebb, minél magasabb hőmérsékleten történik a hevítés. A feszültségek újbóli keletkezésének megakadályozása érdekében a hevítést igen lassú lehűtés kell, hogy kövesse.
- A relaxáltató hőmérséklet megválasztásánál általános szabály, hogy azt a legmagasabb hőmérsékletet kell választani, melyen még nem mennek végbe egyéb szempontok szerinti káros folyamatok. Ennek megfelelően például:
 - a hidegalakított termékek lágyulása nem haladhatja meg az előírtakat



5.2. ábra: Feszültségcsökkentő hőkezelések



5.3. ábra: A megeresztés hatása az acél szilárdságára és szívósságára

A megeresztés hőmérsékletének növelésével az edzett anyag szilárdsága csökken, szívóssága nő. Hasonló hatása van a megeresztés időtartamának is.

- az edzett illetve nemesített termékek keménységcsökkenése nem haladhatja meg az előírtakat, stb.

Ezek alapján az ötvények és hegesztett szerkezetek feszültségcsökkentésére akár 650...680 °C is alkalmazható, de nemesített termékek esetén nem szabad a megeresztési hőmérséklet fölé hevíteni.

Az edzett és hidegalakított termékek már 250 °C fok fölött kezdenek lágyulni, kb. ez tekinthető, tehát a határhőmérsékletnek.

5.3. Normalizáló hőkezelés

A normalizáló hőkezelés ausztenitesítésből és azt követően levegőn történő lehűtésből áll. Ez ötvözetlen vagy gyengén ötvözött acélok esetében közel egyensúlyi állapotot hoz létre. Természetesen a szerkezet finomabb szemcsés, mint teljes lágyítás után.

A normalizálás fő alkalmazási területe a melegalakított /hengerelt, kovácsolt/ termékek adagon belüli tulajdonságszórásának mérséklése.

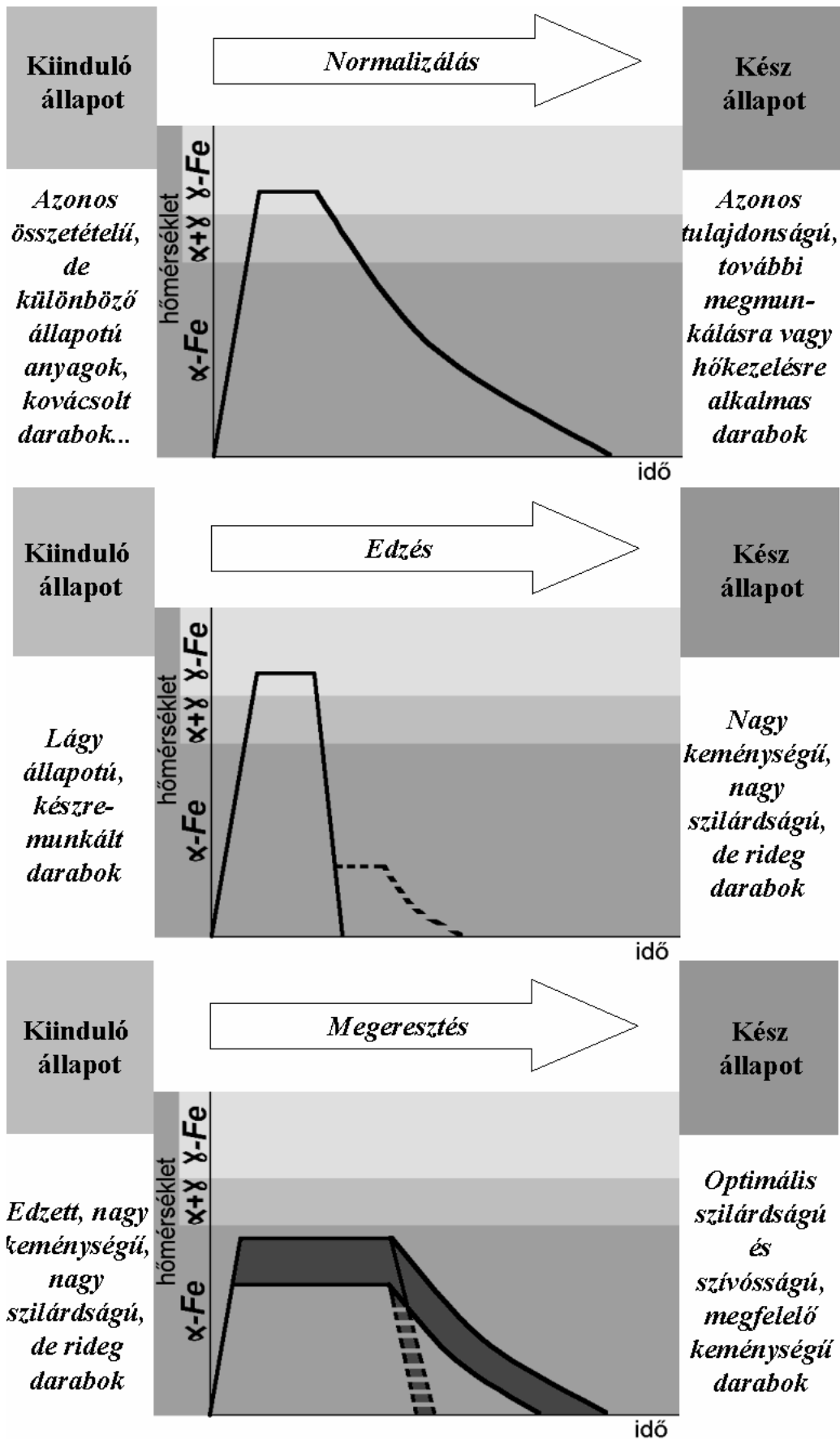
A tulajdonságokat ugyanis a kémiai összetétel és a szerkezet határozza meg. Adagon belül a kémiai összetétel azonosnak tekinthető. A melegalakítási technológiák során viszont az adagon belül az egyes darabok alakítási hőmérséklete, alakítás utáni lehűtési sebessége, stb. lényeges eltéréseket mutathat. Ezért az egyes darabok szerkezete és így tulajdonságai sem azonosak. Az adag darabjait együtt újra ausztenitesítve és azonos sebességgel lehűtve a szerkezet azonossá válik, így a tulajdonságszórás az adagon belül mérséklődik.

A normalizálással létrehozott közel egyensúlyi, de az egyensúlyinál finomabb szemcsés állapot előnyös lehet például a forgácsolhatóság egyenletessége szempontjából is. Az olcsóbb normalizálás így sok esetben helyettesítheti a drágább lágyító technológiákat.

Indukciós edzés előtt a finom szerkezet és a mag tulajdonságai szempontjából általában nemesítést alkalmaznak. Mérsékeltabb igények esetén a nemesítés helyettesíthető a sokkal olcsóbb normalizálással.

5.4. Nemesítés

A nemesítés összetett hőkezelés, edzésből és megeresztésből áll. Célja a finomszemcsés, úgynevezett szferoidites szövet előállítása. Ez az edzett szövet megeresztés alatti elbomlással jön létre. Minél nagyobb a megeresztés hőmérséklete és minél hosszabb a hőntartás, a bomlási folyamat annál tökéletesebb. Ennek hatására a megeresztési hőmérséklet növelésével csökken a keménység és a szilárdság, ezzel szemben nő az ütőmunka és az alakíthatóság. Végül a hőmérséklet növelésével elérhető az edzés hatásának teljes megszűnése, visszaáll a lágyított állapot.



5.4. ábra: A normalizálás, az edzés, és a megeresztés

Adott acélminőség (kémiai összetétel) esetén a nemesítő hőkezelés paramétereit úgy kell meghatározni, hogy az előírt teljesítendő szilárdság és ütőmunka értéke is megfelelő legyen. Tehát bonyolult optimalizálási feladat megoldása szükséges.

5.4.1. Edzés

Az edzés ausztenitesítésből és ezt követő edző hatású lehűtésből áll. Az ausztenitesítés hőmérsékletét és idejét valamint a lehűtés sebességét kompromisszumos módon lehet meghatározni, adott acélminőség és gyártmány esetében.

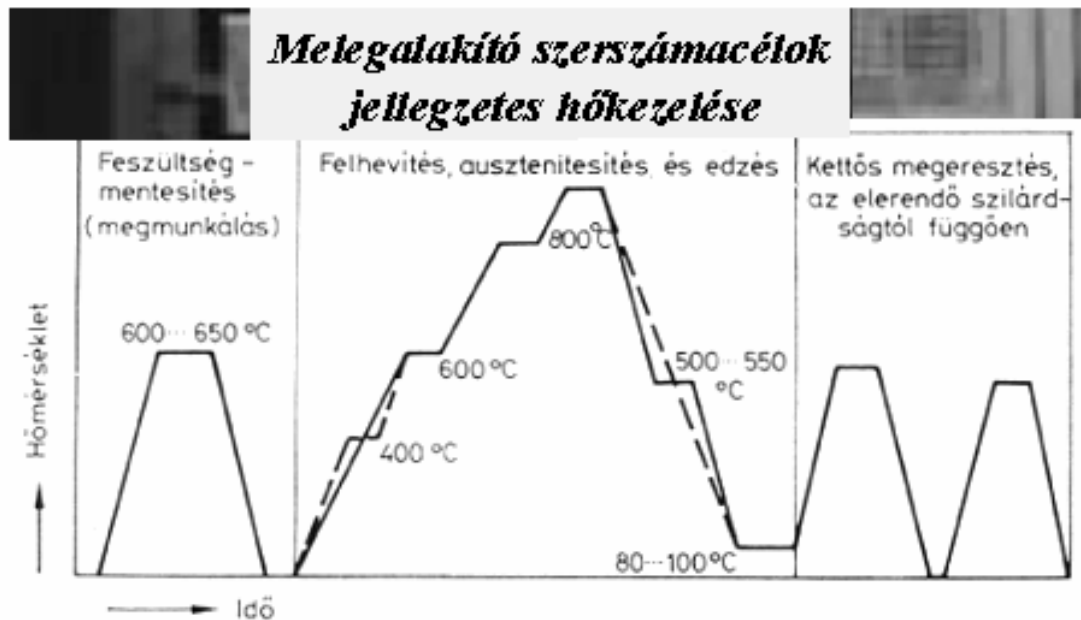
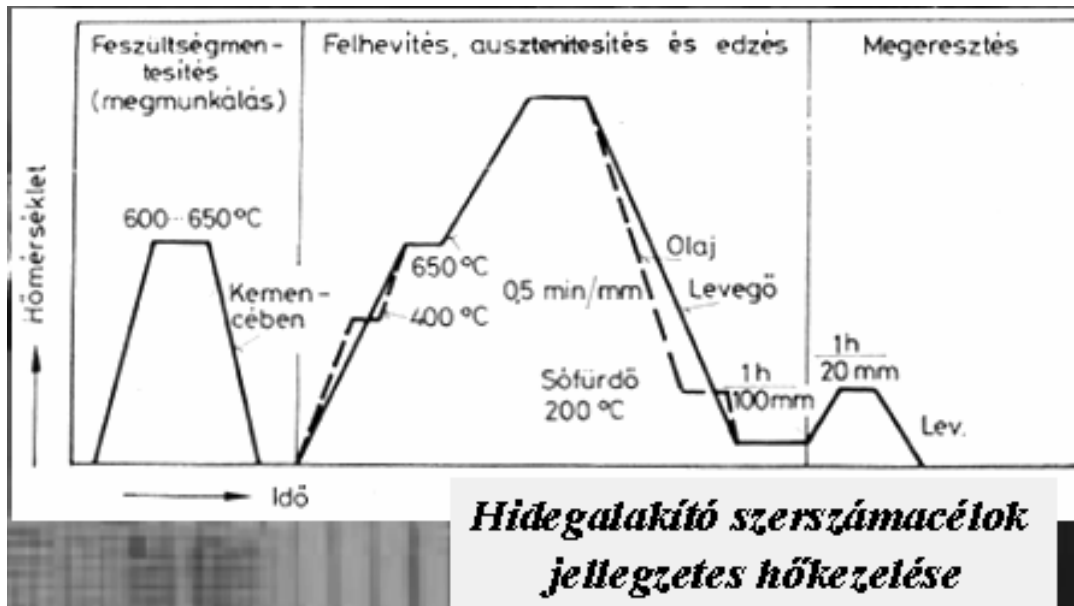
- Az ausztenitesítéssel szemben az lenne a követelmény, hogy minél finomabb szemcse-nagyságú és minél homogénebb szerkezet alakuljon ki. Ebből a szerkezetből hozható létre ugyanis a legnagyobb keménységű de egyben igen finom martenzit, melyből megeresztéssel a legkedvezőbb tulajdonságú finom szferoidit nyerhető. A vázolt követelmény ellentmondást tartalmaz, mert az ausztenit annál homogénebb, minél nagyobb az izzítás hőmérséklete. Ugyanakkor a hőmérséklet növelésével durvul az ausztenit szemcse-nagysága. Az ausztenitesítés paramétereit tehát esetenként kell optimalizálni, úgy, hogy a megvalósítható hűtési sebesség esetén a legkedvezőbb szerkezet jöjjön létre, melyből megeresztéssel a legkedvezőbb szilárdság/ütőmunka arány hozható létre
- A lehűlési sebesség illetve program (lépcsős hűtés) szintén optimalizálást igényel. Ugyanis minél nagyobb a lehűlési sebesség, annál nagyobb méretű darabok esetében hozható létre az edzett (martenzites) szövet. Nagy méretű darabok annál vastagabb felületű rétegében teljesülhet ugyanez (átedződés). Ugyanakkor a hűtési sebesség növelésével nő az edzési repedékenységi veszélye. Nyilván az edzési repedést még éppen nem okozó maximális hűtési sebességre célszerű törekedni.

Az edzés helyes technológiáját tehát igen sok szempont együttes figyelembevételével lehet meghatározni egy konkrét anyagminőségre és gyártmányra nézve. A kikísérletezett technológia pontos betartása biztosíthatja a megfelelő minőséget és az edzési repedés miatti selejt elkerülését.

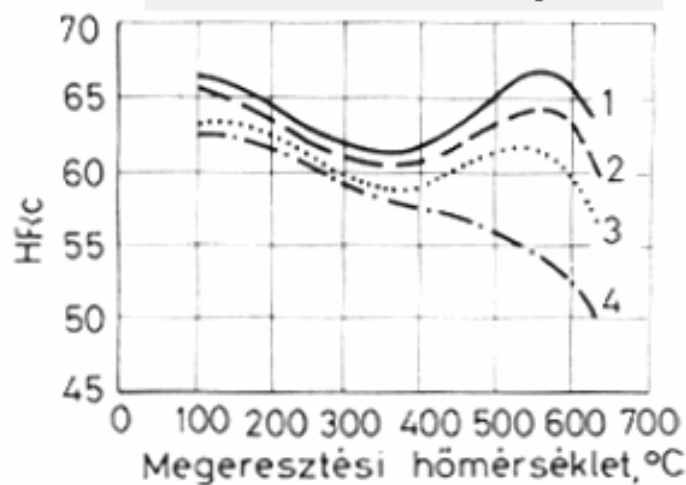
5.4.2. Megeresztés

Az optimális paraméterekkel edzett darabok megeresztési technológiáját szintén optimalizálási folyamat eredménye alapján lehet meghatározni. Az előírt szilárdság és ütőmunka figyelembevételével olyan megeresztési hőmérsékletet és időt kell választani, mely mindkét előírást azonos biztonsággal teljesíti.

Előfordulhat, hogyha nem optimalizált az edzés, akkor az előírásokat semmilyen megeresztési technológiával sem lehet teljesíteni. Ugyanis nem található olyan megeresztési



A szekunder keményedés



5.5. ábra: Szerszámacélok jellegzetes hőkezelései

hőmérséklet, mely a szilárdság és az ütőmunka előírt értékét együttesen képes biztosítani. Ezért csak optimálisan edzett darabokra lehet a megeresztési technológiát optimalizálni.

Nagyon szigorú követelmények előírása esetén még az is előfordulhat, hogy optimalizált edzés esetén sem alakítható ki olyan megeresztési technológia, mellyel az előírások biztonságosan teljesíthetők. Ilyen esetben javaslatot kell tenni az előírások racionalitásának felülvizsgálatára, illetve ha az előírások ténylegesen szükségesek, akkor más acélminőség alkalmazására kell javaslatot tenni.

5.5. Szerszámacélok hőkezelése

A szerszámokat lágyított állapotú szerszámacélokból általában forgácsolással alakítják ki. Ezt követően a szerszámokat edzeni, majd feszültségmentesíteni illetve megeresztetni kell. A szerszámacélok edzésénél és megeresztésénél több speciális szempont vetődik föl.

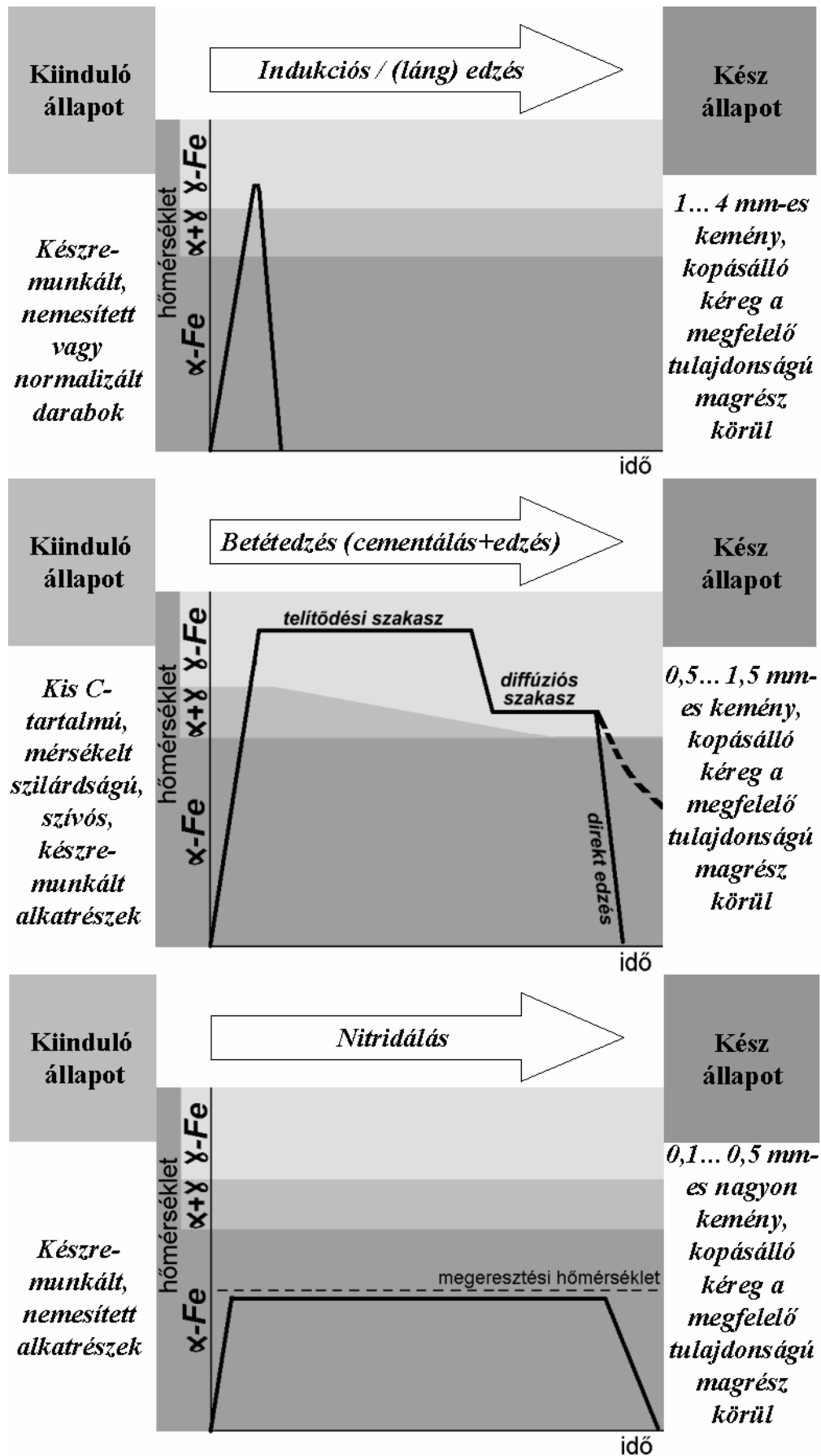
5.5.1. Szerszámacélok edzése

Az ausztenitesítésnél figyelembe kell venni, hogy a szerszámacélok zöme karbidképző elemekkel erősen ötvözött. Az erős ötvözés miatt rossz a hővezető képesség, és ötvöző karbidok oldása igen magas edzési hőmérsékletet igényelhet. Ennek két következménye van:

- A rossz hővezető képesség miatt a felhevítési sebesség is repedést okozhat, ezért a szerszámacélokat csak óvatosan, (esetleg lépcsősen) szabad edzési hőmérsékletre hevíteni.
- Az edzési hőmérséklet igény elérheti az 1000...1300 °C-t is. Ez a szokásos hőkezelő kemencékkel nem valósítható meg, ezért a szerszámacélok hőkezelése speciális berendezéseket igényelhet.

Az erős ötvözés miatt az edzéshez szükséges lehűtési sebesség kicsi. Ezért az olajhűtés mellett számításba jöhet a gáz sugárral történő hűtés is, mely vákuumkemencében is megvalósítható.

Szerszámacéloknál általában igen lényeges a felület védelme (revésedés, dekarbonizáció). Különösen az olyan szerszámoknál, melyeknél az edzést nem követi köszörülés (pl. reszelők), a nagy karbon tartalmú szerszámacéloknál az előírt edzési keménység teljesítése nem okozhat gondot. Önmagában az előírt keménység elérése azonban nem biztosítja a megfelelő minőséget. Egy szerszám annál jobb minőségű, minél nagyobb szívósság járul az előírt keménységhez, tudniillik annál nagyobb a szerszám töréssel szembeni biztonsága. A szívósság annál nagyobb, minél finomabb az acél szemcsenagysága. Ez pedig az ausztenitesítés optimalizálásával érhető el. Az ausztenitesítési hőmérsékletre lépcsősen hevítve az utolsó lépcső hőntartási idejét általában percekre korlátozzák, a szemcsedurvulás elkerülése érdekében.



5.6. ábra: Kérgesítő hőkezelések

Mivel az ausztenitesítés optimalizálása a keménység, a kopásállóság és a szívósság szempontjából csak közvetett vizsgálatokkal lehetséges, a kialakított és már bevált technológia pontos betartása rendkívül lényeges.

5.5.2. A szerszámacélok megeresztése.

Az ötvözetlen vagy gyengén ötvözött szerszámacélok keménysége a megeresztési hőmérséklet függvényében monoton csökken. A keménység csökkenés a szerszám kopásállóságát, éltartósságát stb. csökkenti. Ezért az edzési feszültségek relaxáltatása érdekében a szerszámtörékenységre mérséklésre általában csak kis hőmérsékletű megeresztést (feszültségcsökkentést) szokás alkalmazni.

Ezeknél az acéloknál a keménység 250 °C fölött már rohamosan csökken. A szokásos feszültségmentesítés ezért 180...240 °C-on végzik. Ez alól kivételek azok a szerszámok, melyeknél a kopásállóság illetve éltartósság rovására munkabiztonsági vagy egyéb megfontolások szempontjából engedményt tesznek. (pl. kalapácsok kipattogzási veszélye vagy fűrészfogak kihajtogathatósága stb.). Ebben az esetben a megeresztési hőmérséklet akár 400-450 °C fokra is emelhető, tudomásul véve a drasztikus keménység csökkenést.

Az erősen ötvözött melegalakító szerszámacélok szekundér keményedéssel rendelkeznek. Az edzett acélok megeresztési hőmérsékletét növelve a keménység eleinte a martenzit bomlás miatt csökken, majd a maradék ausztenit átalakulás illetve az ötvöző karbidok diszperz kiválása miatt emelkedik. A maximális keménység az acél minőségtől és az ausztenitesítés paramétereitől függően kb. 540 °C-on érhető el. Ezeket az acélokat a szekundér keményedés maximumához tartozó hőmérséklet környezetében kell megeresztetni. Többszöri megeresztés a szerszám szívóssága szempontjából előnyös.

5.6. **Kérgesítő hőkezelések**

A kérgesítő hőkezelések célja általában az alkatrészek felületi kopásállóságának fokozása, oly módon, hogy az alkatrészek magja szívós, tehát töréssel szemben ellenálló legyen. Ez kétféle elven valósítható meg.

- Olyan hőkezeléssel, mely esetén a kémiai összetétel a darabban nem változik, de a hőkezelési állapot, azaz a szerkezet igen. Ilyen esetben a mag szívósságát nemesített állapot biztosítja, a kéreg edzett szerkezete pedig úgy hozható létre, hogy a nemesített darab kérgét lokálisan ausztenitesítik és edzik. Ez lángedzéssel, indukciós edzéssel, elektronsugaras edzéssel, lézeredzéssel, stb. valósítható meg. Legelterjedtebb az indukciós edzéssel történő kérgesítés.
- A kérgesítés másik módja a termokémikus kezelés. Ez esetben a darab felületét valamilyen elemmel diffúziósan dúsítják, tehát a mag és a kéreg különböző kémiai összetételű.

Ezek közül az eljárások közül legelterjedtebbek a karbon diffundáltatással megvalósított betétedzés, és a nitrogén diffundáltatással járó nitridálás.

5.6.1. Indukciós edzés

Indukciós edzéshez megfelelő minőségű és hőkezelési állapotú darab szükséges:

- Az alkalmazott acélok általában nagy karbon tartalmú nemesíthető acélok, vagy gyengén ötvözött szerszámacélok. Fontos, hogy a karbontartalom elérje azt a mértéket, ami az előírt keménység biztosításához szükséges. Például 54 HRC eléréséhez minimálisan 0,4 %, 62 HRC eléréséhez minimálisan 0,6 % karbon szükséges. A karbon további növelése fokozza a kéreg kopásállóságát, de növeli az edzési repedés veszélyét.
- Indukciós edzés előtt a darabot nemesíteni szokás, mégpedig két okból. Egyrészt nemesítéssel biztosítható a mag nagy szilárdsága melletti szívóssága, másrészt a nemesített finom szferoidites szövet gyorsan ausztenítesíthető, ez pedig követelmény az igen rövid idejű ausztenítésítéssel jellemzett indukciós edzésnél (másodpercekben mérhető idő intervallumról van szó).

Kisebb igények esetén a nemesítés normalizálással helyettesíthető. Sőt nagy karbon tartalmú szerszámacélok felhasználása esetén a mag akár lágyított állapotú is lehet. Külön kell beszélni az indukciós edzés hevítési és hűtési technológiájáról:

- Az indukciós kérgesítéskor a hevítendő darabot egy induktor tekercs veszi körül. Változó feszültséggel táplálva a tekercset a munkadarabban feszültség indukálódik, ami nagy áramerősséget eredményez, ennek hatására a darab fölhevül.
- A váltakozó feszültség frekvenciájának növekedésével jelentkezik a „bőr” hatás. Az áram sűrűség eloszlás a darabban nem egyenletes, minél nagyobb a frekvencia, az áram annál vékonyabb felületi rétegben folyik. A frekvencia szabályzásával tehát beállítható az a felületi rétegvastagság, melyet lokálisan hevíteni szándékozunk. A rétegvastagság a frekvencián kívül a munkadarab anyagának villamos vezető képességétől és mágneses permeabilitásától is függ, de a frekvencia a meghatározó paraméter.
- Az indukciós edző berendezések között vannak változtatható frekvenciájú és kötött frekvencián dolgozó egységek. Változtatható frekvencia esetén a hevített rétegvastagság a frekvenciával állítható be. Kötött frekvencia esetén a hevülő réteg vastagság is kötött, ez meghatározza a minimális hevülő rétegvastagságot. Nagyobb edzett rétegvastagsági igény esetén a hevítés idejét kell növelni, a mélyebb rétegek hővezetéssel hevülnek. Általában a lokális hevítés miatt rövid hevítési időre kell törekedni. A szükséges ausztenítésítési hőmérséklet annál nagyobb, minél gyorsabb a hevítés. Sok esetben az edzés csak felhevítésből és lehűtésből áll, hőntartás alkalmazása nélkül. Hőntartásra leginkább a kötött frekvenciájú berendezéseknél lehet szükség, ha nagyobb rétegvastagságot

kell elérni. Indukciós hevítésnél a jellemző hevítési sebesség több száz °C másodpercenként.

- Ez a nagy hevítési sebesség természetesen csak nagy teljesítményű áramforrás és optimálisan kialakított induktor (jó csatolás) esetén lehetséges.
- Az indukciós edzés lehet szakaszos és előtolásos. Például egy forgattyús tengely csapjait egyenként edzik, de egy hosszú tengely vagy golyósorsó palástját előtolásosan. Az induktor egyszerre csak rövid szakaszt hevít, az induktort a hossz tengely mentén előtolva edzik végig a darabot. Ebben az esetben a hőciklus jellegét természetesen az előtolás sebessége is befolyásolja.
- Az indukciós edzés ausztenitesítését követő lehűtése kétféle módon történhet. Nagy tömegű darabok felületének lokális edzése esetén a másodpercek alatt hevített felület lehűlési sebessége a darab hőelvonása miatt olyan nagy lehet, hogy kielégíti az edződés követelményeit. Ilyenkor külső hűtésre nincs szükség. Ettől eltérő esetben külső hűtés szükséges. Általában hűtő közeg zuhanyt alkalmaznak, mely szakaszos edzés esetén a felhevítés befejezésekor kapcsolódik be. Előtolásos technológiáknál a zuhany az induktor mögé van szerelve, állandóan működik, és előtolásosan hűti az induktor által fölhevített zónát.

5.6.2. Betétedzés

A betétedzés lényege, hogy a kis karbon tartalmú acélok kérgébe karbonot diffundáltatva a kéreg karbon tartalma a nemesíthető, sőt a szerszámacélokéra jellemző mértékűre növelhető. Ha ezt követően az egész darabot ausztenitesítik majd edzik, a mag a kis karbon tartalom miatt nem edződik be, lágy és szívós marad, a kéreg pedig a karbon tartalomnak megfelelő kopásállóságú lesz.

A betétedzésű acélok lehetnek ötvözetlenek és ötvözöttek. Nagy mag szilárdsági és szívósági követelmények esetén ötvözött minőségeket alkalmaznak.

A betétedzés technológiája két lépésből áll. A szenítés (cementálás) szakaszából és az ezt követő edzés + feszültségmentesítés szakaszából:

A cementálás céljából a darabot karbon leadó közegben ausztenites állapotra hevítik és ott hőn tartják. A felület karbonban telítődni igyekszik, és kialakul egy felületi karbon-eloszlás. A karbon tartalom a rétegben a felületi maximumtól az alapanyagra jellemző mag karbon tartalomig csökken. Az optimális karbon eloszlás a követelményektől az előírt keménységtől és rétegvastagságtól függ.

Az hogy a felületen milyen karbon tartalom alakul ki, a karbon leadó közegnek az illető acélra nézve adott hőmérsékletre érvényes ún. karbonpotenciáljától (telítési érték) függ. A telítés közeli karbon tartalom a felületen néhány óra alatt beáll, a további hőn tartás diffúziósan növeli a rétegvastagságot.

A korszerű technológiák változtatható karbonpotenciálú közeggel dolgoznak. A folyamatot nagy karbon potenciálú közeggel indítják (szenítő szakasz) majd a karbon potenciált csökkentve (diffúziós szakasz) a karbon eloszlás módosítására adnak lehetőséget. A szenítő és a diffúziós szakaszok paramétereivel optimális karbon eloszlású és rétegvastagságú kérget lehet létrehozni. (Kéregvastagságnak általában az edzés után 550 HV keménységet adó hely felülettől mért távolságát tekintik.) A betétedzés szokásos rétegvastagsága néhány tized mm-től kb. 3 mm-ig terjed, a darabméretektől és az igényektől függően. A kéreg maximális keménysége általában 58-63 HRC.

A karbon leadó közeg lehet szilárd szemcsés (faszén vagy báriumkarbonát), sóolvadék (cianidok, szilíciumkarbid stb.), és gáz. Manapság csak a gáz cementálás tekinthető korszerűnek. A cementáló gázokat szénhidrogénekből illetve földgázból állítják elő (lásd 6.1. pont).

A cementálás utáni hőkezelés általában edzés és feszültségmentesítés. Bizonyos esetekben a cementált darabot edzés előtt lágyítani kell. Erre akkor kerül sor, ha a cementálás után forgácsolni kell. Például ha a darab egyes helyein nem szabad kemény kéregnek lenni. Ezekben a helyeken a cementálás előtt forgácsolási ráhagyást alkalmaznak, melyet cementálás után leforgácsolnak. Korszerű technológiáknál erre általában nincs szükség, mert a darab kijelölt felületein a cementálódás speciális festékekkel meggátolható.

A cementálás utáni edzést, minthogy a kéreg lényegében nemesíthető illetve szerszámacélnak tekinthető, az ott tárgyaltak figyelembevételével kell tervezni. Az edzés utáni feszültségcsökkentésre az ötvözetlen vagy gyengén ötvözött szerszámacéloknál leírtak szerint kerül sor.

5.6.3. Nitridálás

A nitridálást nitrid képzőkkel ötvözött nemesített acélok kérgesítésére alkalmazzák. A nitridálás hőmérséklete valamivel kisebb, mint az acél megeresztési hőmérséklete. A betétedzéssel szemben ezért nitridálásnál méretváltozás és vetemedés gyakorlatilag nem jelentkezik.

A nitridálás nitrogén leadó közegben történő hevítésből áll. A nitrogén a felületbe diffundálva ötvöző nitrideket alkot. Ezek igen nagy keménysége hozza létre a kéreg keménységet. A keménység meghaladhatja az 1000...1200 HV keménységet, szemben a betétedzett kéreg maximálisan 850...900 HV keménységével.

A kialakuló rétegvastagság elérését természetesen a hőkezelés ideje befolyásolja. Döntő azonban az acél kémiai összetétele is. Minél erősebb nitridképzőkkel és minél erősebben ötvözött acélról van szó, annál hamarabb kialakul egy összefüggőnek tekinthető ötvöző nitrid kéreg, melyen keresztül a nitrogén diffúzió lehetősége korlátozott. Ezért nitridálással csak tized mm nagyságrendbe eső kéreg alakíthatók ki.

A hagyományos nitridálás bontott ammóniában történik. Korszerű eljárások esetén a nitrogén beépülést légritkított térbe ionizált állapot létrehozásával nagy feszültség alkalmazásával gyorsítják

6. Hőkezelés közbeni felületvédelem illetve termokémikus és speciális technológiák

6.1. Gáz technológiák

Gáz technológiás hőkezelési eljárásoknál a munkadarabot zárt térben hevítik, a teret a hőkezelés célja szerint választott gázkeverékkel töltik ki. A gáztechnológiás hőkezelés célja kétféle lehet:

- Hőkezelés alatt a felületi oxidációt, dekarbonizációt, stb. kívánjuk megakadályozni. Ebben az esetben az adott hőmérsékleten az adott anyaggal szemben semleges, úgynevezett védőgázt kell alkalmazni.
- Termokémikus hőkezeléseknél a felületet diffúziós úton pl. karbonnal illetve nitrogénnel dúsítják. Ebben az esetben karbon illetve nitrogén kínálatot biztosító gázt kell alkalmazni.
- Ugyancsak termikus hőkezelésnek számít a munkadarab felületének kémiai összetételét gyérítő eljárás, például a szándékos dekarbonizálás, stb.

6.1.1. Védőgázok

A karbonpotenciál fogalmáról már esett szó. A védőgázokkal szembeni követelmény, hogy karbon potenciálja egyezzen meg a munkadarab felületi karbon tartalmával az egész hőciklust figyelembe véve. Ugyanakkor a darab felületét ne oxidálja. A védőgázokat szénhidrogének (lakkbenzin, földgáz stb.) részleges elégetésével állítják elő. Ezek a gázkeverékek nitrogént, oxigént, vizet, széndioxidot, szénmonoxidot, metánt stb. tartalmaznak. A gáz komponensek aránya a részleges elégetés légfesleg tényezőjétől függ. A nitrogén semleges, a víz és széndioxid oxidáló és dekarbonizáló komponensek, a szénmonoxid és metán pedig karbonizáló komponensek. Az előállított gázkeverék karbon potenciálja a légfesleg tényezővel szabályozható. A gázkeverék egyensúlya a hőmérséklet függvényében ismert módon változik. A gázkeverék összetétele tehát adott hőmérsékleten egyetlen komponens elemzése alapján is ismertnek tekinthető (számítható).

A védőgázok előállítása régebbi berendezéseknél magában a kemencében is történhetett (pl. aknás kemencébe lakkbenzint csepegtettek). Korszerű üzemekben a védőgázokat gáz generátorokban állítják elő, többnyire kéntelenített földgázból.

Ha a részleges elégetés légfesleg tényezője olyan, hogy az égés önmagát fenntartja, akkor exogázzal beszélünk. Nagyobb karbon potenciálú gáz csak olyan kis légfesleg tényezővel hozható létre, melynél az égés nem önfenntartó. Ilyen esetben az égést külső hőközléssel kell biztosítani. Ezeket a gázokat endogázoknak nevezik. A gázgenerátorok ennek megfelelően két válaszfallal elkülönített térből állnak: a gázbontás tere és a külső ráfűtés tere.

A gázgenerátor tartozhat egy-egy hőkezelő egységhez, ebben az esetben adott összetételű exo- vagy endogáz szolgáltatására kell beállítani.

Van olyan megoldás is, hogy központi gázgenerátorral állítanak elő igen nagy karbon potenciálú endogázt. Ezt az egyes kemencékhez vezetve a kemencénél megfelelő arányban levegővel hígítják, így állítják be az egyedi igényeknek megfelelő karbon potenciált.

Védőgázként nitrogén felhasználása is indokolt lehet /oxigén előállítás mellékterméke/. A nitrogén minden esetben tartalmaz bizonyos mennyiségű oxigént, ezért önmagában oxidáló hatású. Ez a hatás endogáz keverésével kompenzálható.

Legtökéletesebb védőgázok a nemesgázok (pl. argon) drágaságuk miatt csak speciális esetekben jöhetnek szóba (pl. védőgáz hegesztés, stb.).

6.1.2. Aktív gázok

A védőgázoknál leírt gázgenerátorokkal nagy karbon potenciálú endogázok előállításával szenítő hatású gázkeverékek állíthatók elő. Ezeket alkalmazzák a gázcementálás technológiájához.

A nitridálás technológiájához nitrogén kínálatot biztosító atmoszféra szükséges. Az oldhatóság feltétele a nitrogén atomos állapota. (Normál körülmények esetén, pl. a levegőben a nitrogén molekuláris szerkezetű.) Az atomos nitrogén kínálat csak úgy biztosítható, hogy a nitridálás hőmérsékletén termikusan bomló nitrogén vegyületeket kell alkalmazni. Ezek folyamatos adagolásával kell biztosítani, hogy az atomos nitrogén kínálat a hőkezelés alatt végig fennálljon. A klasszikus eljárásoknál 500...600 °C-os intervallumban ammóniát alkalmaznak.

A kombinált eljárásoknál (pl. nitrocementálás és karbonitridálás stb.) az endogázokat és az ammóniát keverve használják fel.

Korszerű nitridáló technológiák esetén az ammóniát légritkított térben bontják. A kemencék fala és a munkadarab egymástól villamosan szigetelt. Nagy gyorsító egyenfeszültséget alkalmazva az ionizált térben a nitrogén beépülés sebessége erősen fokozható.

Aktív gáznak tekinthető a hidrogén atmoszféra, mely acélok szándékos dekarbonizálására (pl. trafólemezek) illetve porkohászati termékek zsugorító izzításakor használatos. Utóbbiaknál a fém szemcsék felületi oxid rétegét bontja a hidrogén, és így növeli a diffúziós kötések kialakulásának esélyét.

6.2. **Vákuumtechnológiák**

A vákuumban történő hevítés tekinthető a legjobb felületi védelemnek, mert ebben az esetben (ha elég nagy a vákuum) minden reakció lehetősége kizárt. További előny, hogy vákuumban a munkadarab esetleges felületi szennyeződései elpárolognak, tehát igen tiszta ak-

tív felületet lehet elérni. Figyelembe kell azonban venni, hogy könnyen párolgó ötvözők esetén a vákuum a felületet az illető elemre nézve gyéríteni képes.

A vákuumba csak gondosan tisztított darabokat szabad berakni, mert a felületi szennyező anyagok párolgása hátráltatja a megfelelő mértékű vákuum kialakítását.

A vákuum technológiáknál számolni kell néhány korlátozó tényezővel:

- Mivel vákuumban csak sugárzásos hőátadás lehetséges (sem vezetés sem áramlás nem jöhet szóba), a vákuumban való felhevítés kezdeti szakasza igen lassú. Ezen két módon igyekeznek javítani. Egyrészt nagy hőmérsékletű fűtőelemek illetve fókuszált tükröző felületek alkalmazásával a sugárzást a munkadarabra fókuszálják. Másrészt a hevítés kezdeti szakaszában védőgázt alkalmaznak, és a vákuumot (ennek leszívásával) csak nagyobb hőmérsékleten alakítják ki.
- Vákuumban történő edzésnél az oxidáció elkerülésére a darabot a kemencében (nagy nyomású nitrogén fúvatás alkalmazásával) kell lehűteni. Ez azzal jár, hogy nem csak a darabot, de a kemencét is le kell hűteni. Ezért csak speciális igen kis hőkapacitású kemencék alkalmazhatók, és csak erősen ötvözött, kis hűtési sebesség igényű acélok edzésére kerülhet sor.

A felsorolt korlátozó tényezők és az eljárás drágasága ellenére elterjedten alkalmazzák a vákuum technológiát, főleg speciális igények és anyagok esetén.

6.3. Só, fém, olaj stb. fürdők

A sófürdőket hevítésre (edző sók) és megeresztésre (megeresztő sók) is elterjedten alkalmazzák. Olvasztásuk tégelykemencékben történik.

A só fürdők igen nagy előnye a jó hőátadás, rövid hevítési idő, a felület kitűnő védelme (semleges sók), illetve a termokémikus kezelések lehetősége (cementáló illetve nitridáló sók). Mivel a használt sók veszélyes hulladékok, minden előnyük ellenére ezeket a technológiákat kiváltják a gáz és vákuum technológiák. A fémfürdők alkalmazása (pl. ólom) szintén háttérbe szorul a párolgó fémek toxikus hatása miatt. Az olaj fürdők alkalmazása viszont főleg alacsony hőmérsékleten, 180...220 °C-os feszültségcsökkentő hőkezelésekre széles körben elterjedt. Erre a célra alkalmasak az előregedett hűtőolajok is.

6.4. Fluid technológiák.

Elterjedőben lévő korszerű eljárások a só és fém fürdők kiváltására. Az eljárás lényege, hogy apró szemcséjű kerámia port alulról gáz befúvásával lebegésbe tartanak. A lebegő por folyadékként viselkedik, látszólagos sűrűsége van. Ez a fúvatás intenzitásával szabályozható.

Ha a fúvatás gáz égéstermékkel történik, a fluid kívánt hőmérsékletre hevíthető, ilyenkor mint hevítő közeg alkalmazható. A fúvatás történhet védő vagy aktív gázzal is, így védő at-

moszférás illetve termokémikus eljárásra is alkalmas. Végül hideg gáz fűvatással kitűnően szabályozható hűtő közegként is alkalmazható.

6.5. Speciális technológiák

A speciális technológiákat speciális hőforrásokkal, speciális közegekkel, és speciális egyéb tényezők kombinációjával alakítják ki. Pl.:

- Elektronsugaras hevítés (vákuumot igényel)
- Lézer hevítés
- Részleges felületi olvasztás és ötvöztetés lézerhevitéssel
- Porlasztott illetve párologtatott anyagok felületi lecsapódásával kialakított rétegek (szerszámok felületi bevonatai stb.)