

# 1. Hőkezelő technológiák

## 1.1. 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 ötvözött acéloknál szükséges, melyeknél a melegalakításkor történő levegőn való lehűlés is részleges edződést okozhat.

### 1.1.1. 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 rugókeményre húzott huzalokból félkemény huzalokat előállítani.

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

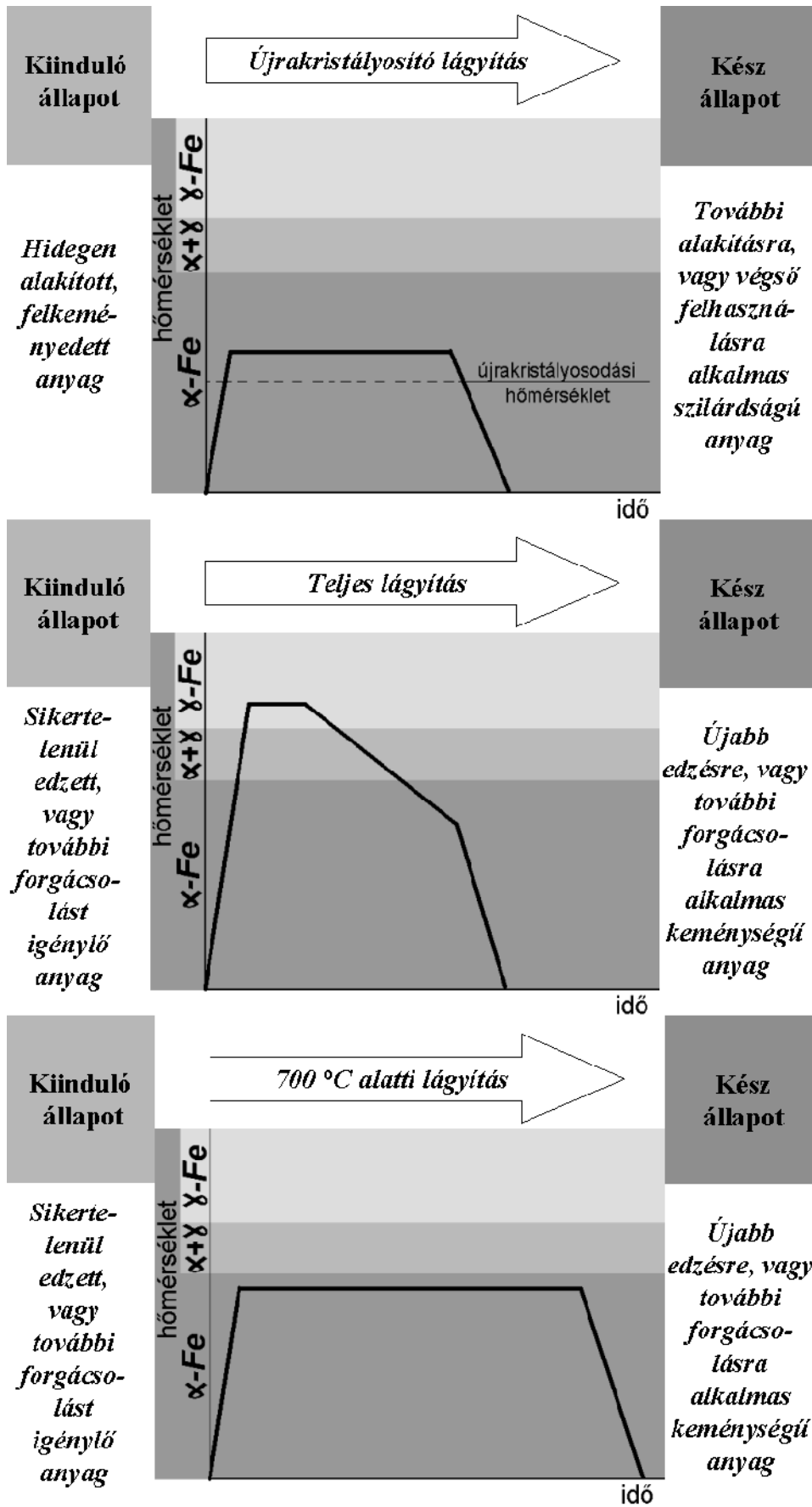
### 5.1.2. Teljes lágyítás

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 ötvözött 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

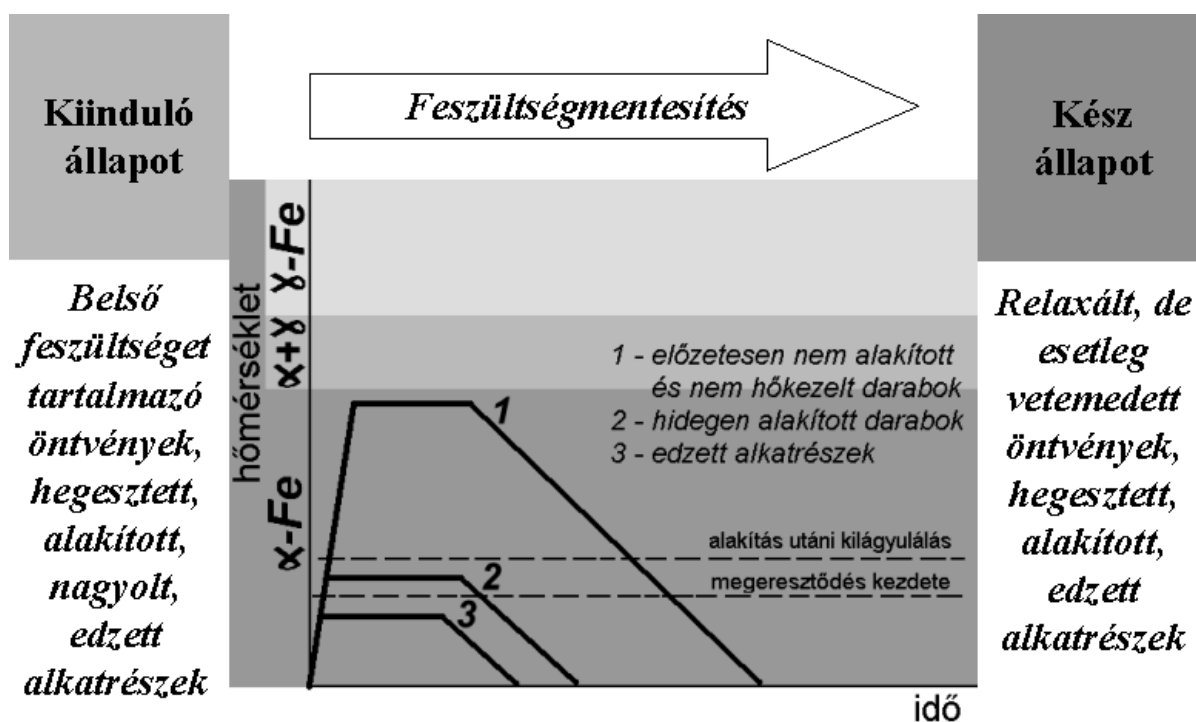
A készre forgácsolt, de sikertelenül hőkezelt pld. nemesített alkatrészeket újabb hőkezelés előtt lágyítani kell. Teljes lágyítás esetén gamma-alfa átalakulás megy végbe, ami méretváltozást illetve vetemedést okozhat. Ezen kívül a nagy hőmérséklet miatt a felületi revésedés illetve dekarbonizálódás is káros lehet. Ezek elkerülésére a lágyítást az ausztenítesedést 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

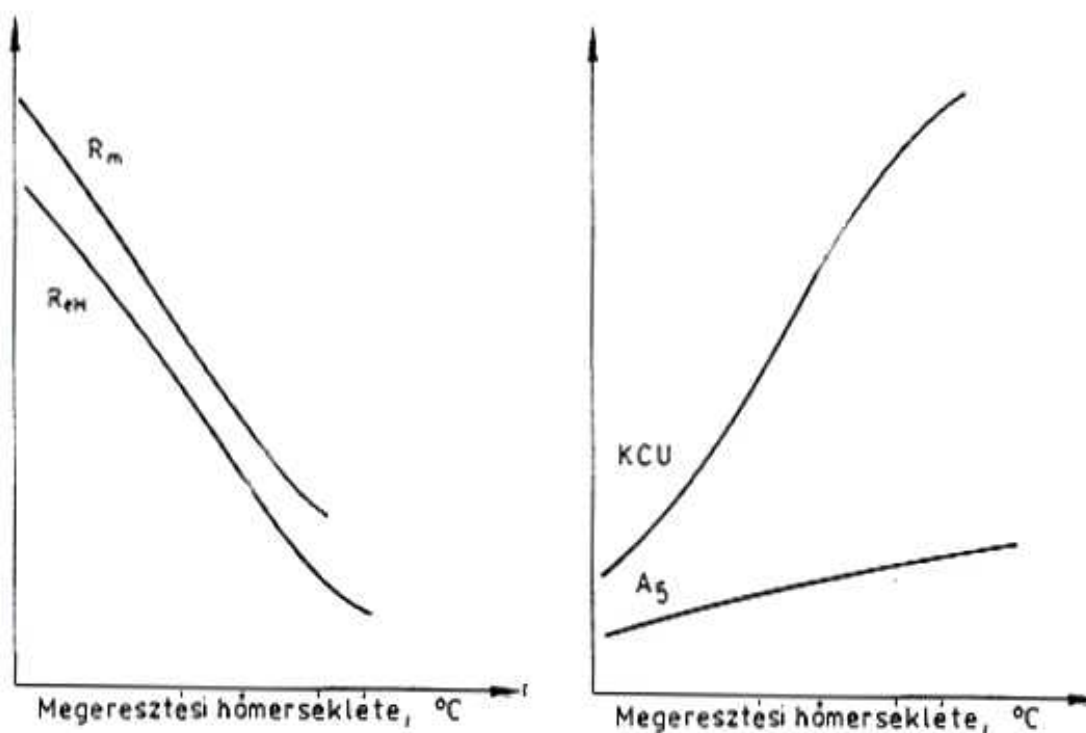
A különböző technológiák alatt a gyártmányokban káros saját feszültségek keletkezhetnek. Ezek két szempontból károsak. Egyrészt hozzáadódnak az üzemi terhelés okozta feszültségekhez, ezzel csökkentik a terhelhetőséget, illetve élettartamot, másrészt hosszú idő alatt a saját feszültségek relaxálása miatt 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 megereztés hatása az acél szilárdságára és szívósságára

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

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

Ezek alapján az öntvények 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.

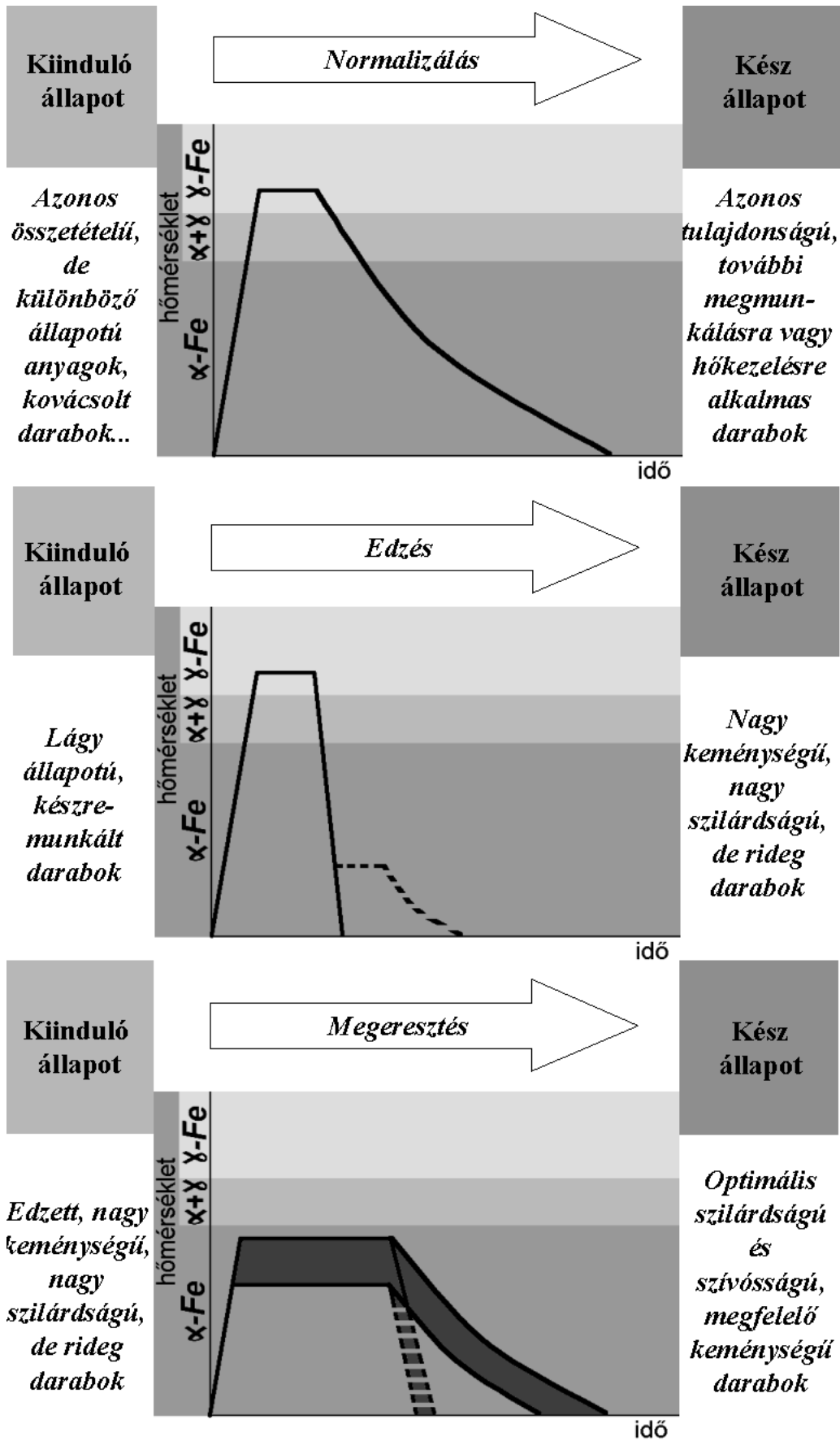
A tulajdonságokat ugyanis a kémiai összetétel és a szerkezet határozza meg. Adagon belül a kémiai összetétel azonosnak tekinthető. A melegalakítási technológiák során viszont az adagon belül az egyes darabok alakítási hőmérséklete, alakítás utáni lehűtési sebessége, stb. lényeges eltéréseket mutathat. 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 elbomlásával 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 megereztés

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.

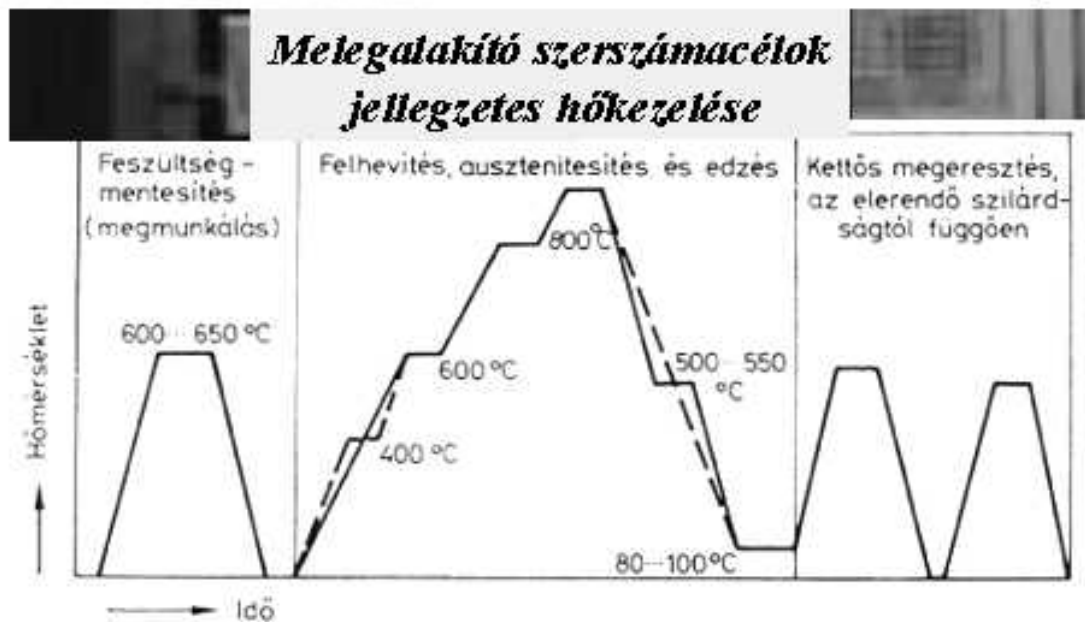
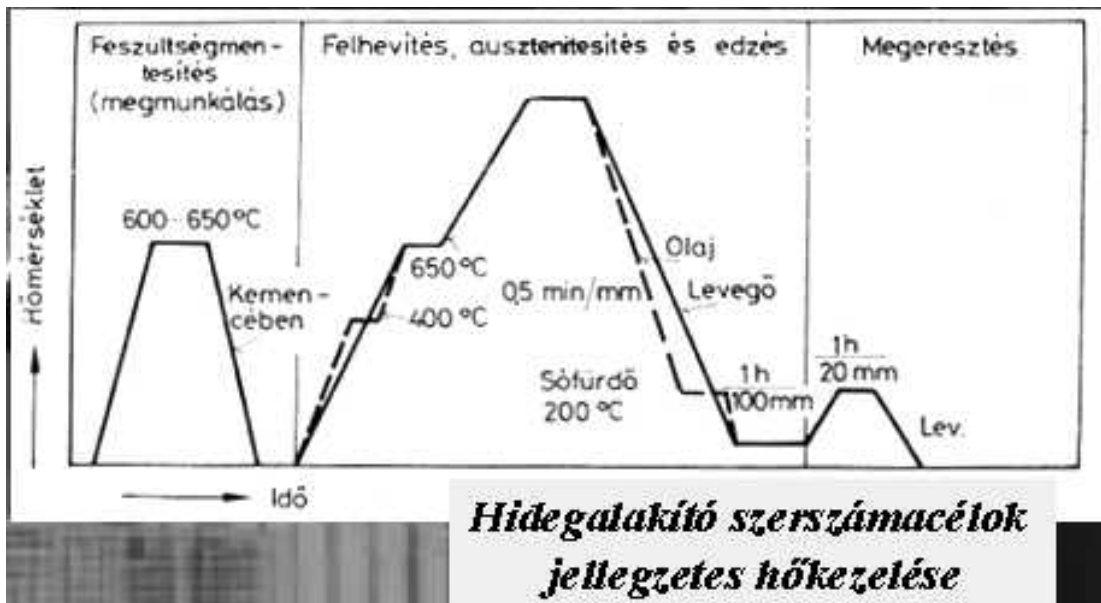
- Az ausztenitesítéssel szemben az lenne a követelmény, hogy minél finomabb szemcsenagyságú és minél homogénebb szerkezet alakuljon ki. Ebből a szerkezetből hozható létre ugyanis a legnagyobb keménységű de egyben igen finom martenzit, melyből megeresztéssel a legkedvezőbb tulajdonságú finom szferoidit nyerhető. A vázolt követelmény ellentmondást tartalmaz, mert az ausztenit annál homogénebb, minél nagyobb az izzítás hőmérséklete. Ugyanakkor a hőmérséklet növelésével durvul az ausztenit szemcsenagysága. 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.

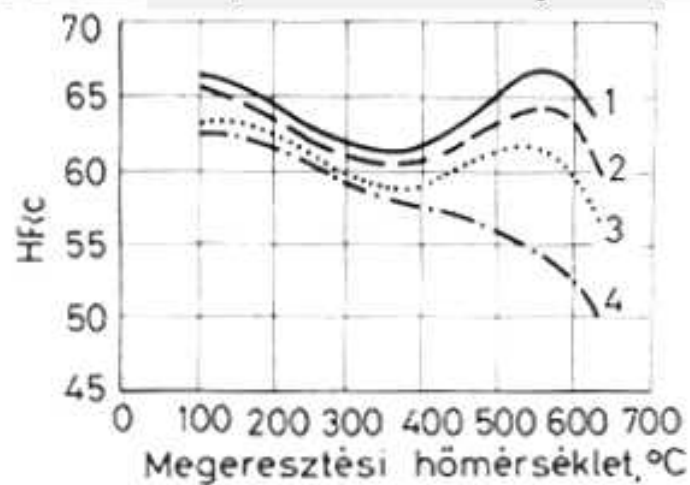
#### 5.4.2. Megeresztés

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 megereszteni kell. A szerszámacélok edzésénél és megeresztésénél több speciális szempont vetődik föl.

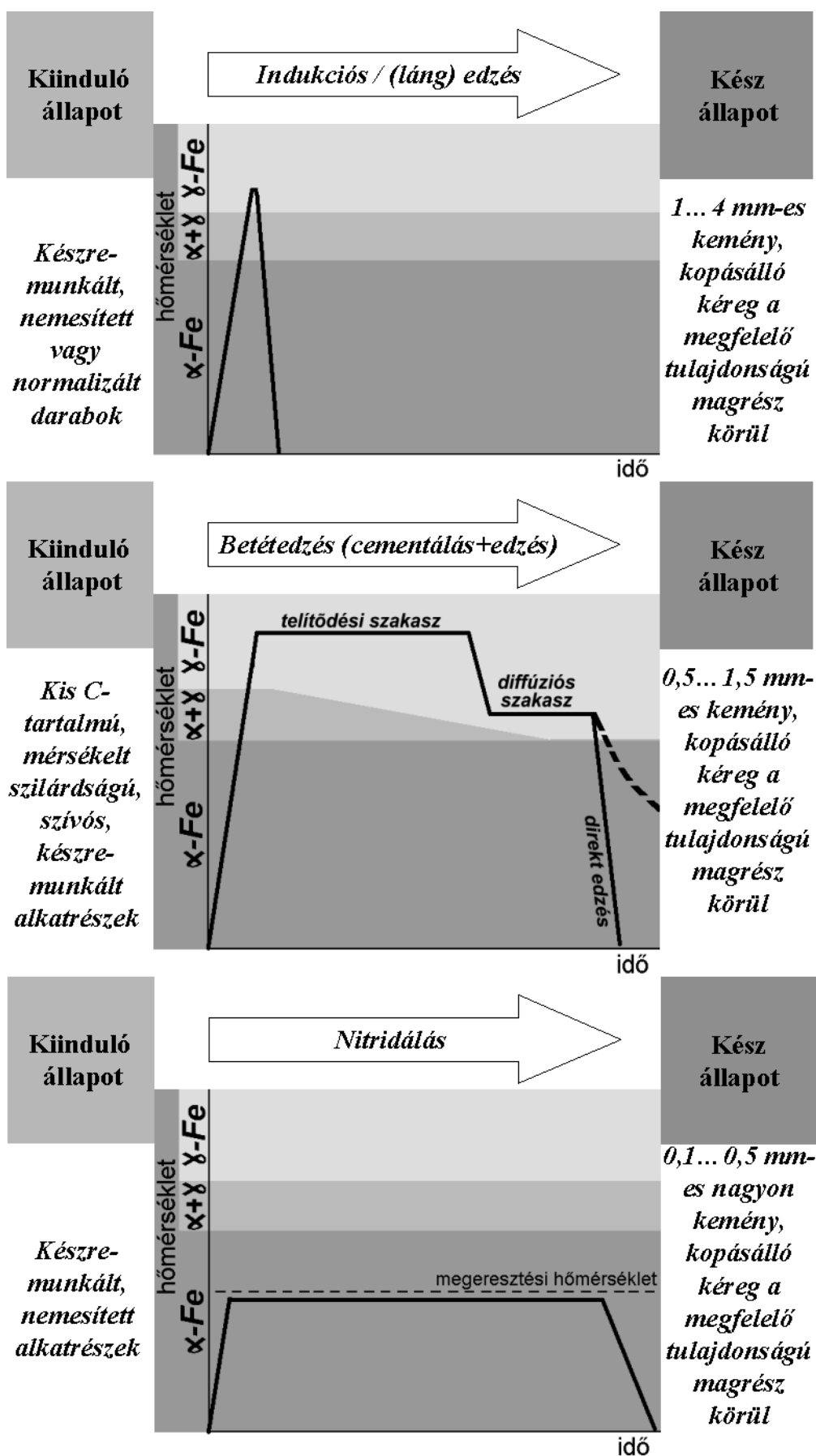
### **5.5.1. Szerszámacélok edzése**

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 gázugárral 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 csökkenése a szerszám kopásállóságát, éltartósságát stb. csökkenti. Ezért az edzési feszültségek relaxáltatása érdekében a szerszámtörékenységi mérséklésére 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 ausztenítesítéssel 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 változó 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 ausztenítesítési 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 karbont 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 szívóssági 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. Ezeken 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 kérgék 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 kérgék 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. védőgázos 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 kemencetok 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 aktív felületet lehet elérni. Figyelembe kell azonban venni, hogy könnyen párologó 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 párologása 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 atmoszférás illetve termokémikus eljárásra is alkalmas. Végül hideg gáz fúvatással 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 ötvözés lézerhevitéssel
- Porlasztott illetve párologtatott anyagok felületi lecsapódásával kialakított rétegek (szerszámok felületi bevonatai stb.)