



BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
Anyagtudomány és Technológia Tanszék



Hőkezelés 2. (PhD) féléves házi feladat

Acélok cementálása

Thiele Ádám
WTOSJ2

Budapest, 2011

Tartalomjegyzék

1. A termokémiai kezeléseknél lejátszódó folyamatok	3
1.1. Adszorpciós folyamatok	3
1.2. Diffúziós folyamatok	4
1.2.1. Az I. Fick-egyenlet.....	4
1.2.2. A II. Fick-egyenlet.....	4
1.3.3. A diffúziós tényező.....	5
2. A cementálásnál lejátszódó folyamatok jellemzői	6
2.1 Adszorpciós folyamatok	6
2.1.1 Karbonpotenciál	6
2.1.2. Karbonaktivitás.....	6
2.1.3. Karbonleadó képesség.....	8
2.2. Diffúziós folyamatok	8
3. Az acélok cementálásának technológiai paraméterei	9
3.1. A munkadarab anyagminősége	10
3.2. A cementálás hőmérséklete	10
3.3. A cementálás időtartama	10
3.4. A cementálás közege	10
3.4.1. Szilárd közegben végzett cementálás	10
3.4.2. Folyékony közegben végzett cementálás	12
3.4.3. Gázközegben végzett cementálás	12
4. Irodalomjegyzék	13

1. A termokémiai kezeléseknél lejátszódó folyamatok

A termokémiai kezelések célja az acél felületi rétegeiben valamilyen elem koncentrációjának megnövelése és az így kialakult kéreg tulajdonságainak megváltoztatása.

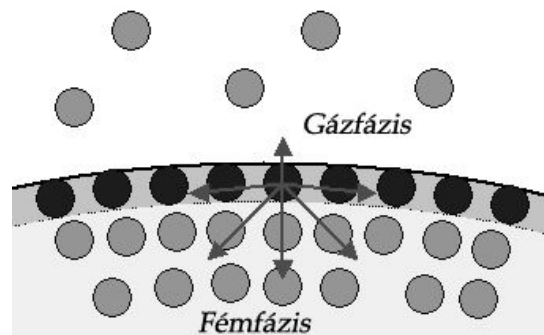
A munkadarabot körülvevő közeg szerepe az, hogy az acél felületével kölcsönhatásba lépve a felületi réteget valamilyen elemmel feldúsítsa. A közeg lehet szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú. A lejátszódó kémiai reakciók sebességének növelése érdekében a munkadarab és az őt körülvevő közeg nagy hőmérsékleten van.

A termokémiai kezeléseknél a munkadarab felülete és a környező közeg közötti kölcsönhatás három részfolyamatra bontható. A termokémiai kezelés sikere attól függ, mennyire lehet a három részfolyamatot összehangolni.

1.1. Adszorpciós folyamatok

A közeg az adott hőmérsékleten a munkadarab közvetlen környezetében kellő mennyiségben és megfelelő állapotban kell hogy leadja azt az elemet, amellyel a felületet dúsítani akarjuk. A cél elérése érdekében a közegnek ezt az elemet atomos állapotban kell a munkadarab felületére juttatni.

Az az elem, amelyet a közeg atomos állapotban leadott, a munkadarab felületén az adszorpciós erők miatt megtapad, ez a folyamat az elem felületi adszorpciója. Ezek az erők abból erednek, hogy a munkadarab felületén az atomok a környezetükben lévő többi atommal más kapcsolatban vannak, mint az anyag belsejében. A mélyebben lévő atomok a kristályrács fajtájától függő elrendezés szerint meghatározott távolságban minden irányban meghatározott számú szomszédal rendelkeznek, így az egyes atomokra ható rácserő eredője zérus. A felületi rétegek atomjai viszont csak az alattuk elhelyezkedő atomokkal vannak kölcsönhatásban, és emiatt ezek az atomok kifelé szabad kötési energiákkal rendelkeznek (ld. 1. ábra).



1. ábra: A határfelületen elhelyezkedő atomok energetikai helyzete

Ebből ered a felületen elhelyezkedő atomok felületi energiája, amely miatt ezeknek az atomoknak az energiaszintje nagyobb. Ha a felület közelébe a környezet valamilyen környező közeg elemének atomjai kerülnek, akkor azok a felületi réteg atomjai mentén a felülethez tapadnak, mert így csökkenhet a felületi atomok energiája. Ez a tapadás a hőmérséklettől függően igen gyorsan azt eredményezi, hogy a felületi atomok kötési energiáit a felületen megtapadó elem atomjai teljesen lekötik. Kialakul tehát egy olyan réteg a felületen, amely 100%-ban a közeg által leadott elemet tartalmazza.

A valóságban ez a részfolyamat azonban nem ilyen egyszerű. Az adszorpcióban nem a munkadarab teljes felülete, hanem csak egy bizonyos része vesz részt, mert a felületen elhelyezkedő atomok energetikailag nem egyenértékűek. Vannak közöttük olyanok, amelyek egy kristallit lapjain, élein vagy csúcsain helyezkednek el, és maguk a kristallitok is eltérő orientációjúak. Mindebből az következik, hogy a különböző atomok aktivitása egymástól eltérő. Különbséget okoz az is az atomok aktivitásában, hogy egy részük a kristalliton belül,

más részük a krisztallitok határán helyezkedik el. A folyamatot tovább bonyolítja, hogy a munkadarab felülete soha nem teljesen sima, hanem mindig érdes, ezért rajta bemélyedések és kiugrások váltakoznak, így azoknak az atomoknak az aktivitása, amelyek a csúcsok közelében helyezkednek el, jóval nagyobb, mint azoké az atomoké, amelyek a bemélyedésekben fordulnak elő. Kísérletekkel kimutatták, hogy az adszorbcio nem a teljes felületen, hanem csak a meghatározott aktív középpontokon megy végbe.

1.2. Diffúziós folyamatok

A harmadik részfolyamat a felületen megtapadt elem vándorlása, diffúziója a felület alatti rétegek, az anyag belsejébe. Minden diffúziós folyamatnak alapvető feltétele, hogy a diffundáló elem oldódjon az alapanyagban, vele szilárd oldatot képezzen.

Amint a munkadarab felülete az adszorbcio következtében valamilyen elembe feldúsul, tehát az elem koncentrációja megnövekszik, erre az elemre vonatkozóan a felület és az alatta lévő anyagrészek között koncentrációkülönbség lép fel. A koncentrációkülönbség hatására, ha erre az egyéb körülmények kedvezőek, megindul az elemnek a felületről a munkadarab belseje felé irányuló diffúziója.

A diffúziós folyamatok matematikai leírására a Fick-egyenletek szolgálnak.

1.2.1. Az I. Fick-egyenlet

Az I. Fick-egyenlet a diffundáló anyag tömegáramlását leíró differenciálegyenlet. Az egyenlet szerint az adott felületen adott idő alatt átáramló anyagmennyiség (fluxus) egyenesen arányos a diffúziós tényezővel és a koncentráció gradiensttel:

$$\frac{dm}{A \cdot dt} = -D \cdot \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

Az egyenlet a következő alakban is felírható:

$$J = -D \cdot \text{grad}C \quad (2)$$

Ahol: J - adott felületen adott idő alatt átáramló anyagmennyiség (fluxus)
 D - diffúziós tényező
 C - koncentráció

1.2.2. A II. Fick-egyenlet

A II. Fick-egyenlet a diffundáló anyag koncentrációváltozásának időfüggését megadó differenciálegyenlet. Az egyenlet szerint a koncentráció időbeli változása egy adott helyen arányos a koncentrációgradiens helyi változásával az adott időpillanatban:

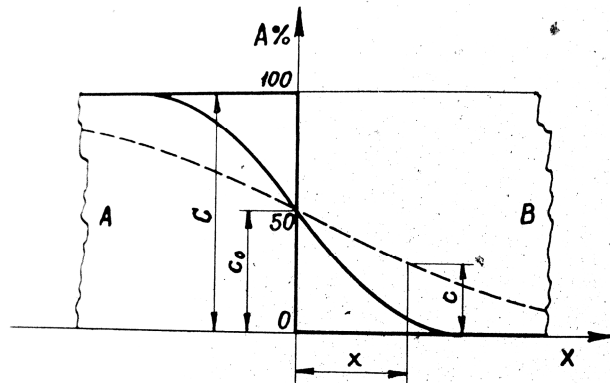
$$\left(\frac{\partial c}{\partial t} \right)_x = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right)_t \quad (3)$$

Ahol: $\left(\frac{\partial c}{\partial t} \right)_x$ - a koncentráció idő szerinti megváltozása egy adott helyen
 $\left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_t$ - a koncentrációgradiens egy adott időben

$\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\right)_t$ - a koncentrációgradiens hely szerinti megváltozása egy adott időben

D - diffúziós tényező

Bizonyos peremfeltételek mellett Fick második egyenlete megoldható. Ilyen eset pl. két, egymásban szilárd állapotban korlátlanul oldódó fém egymásba való diffúziójának folyamata is, ld. 2. ábra.



2. ábra: Koncentrációeloszlás két egymásban szilárd állapotban korlátlanul oldódó fém egymásba való diffúziója esetén

Az (1) egyenlet peremfeltételei a következőkből adódnak: kezdetben, azaz $t = 0$ esetén, a B fémbe, azaz $x = 0$ esetén az A fém koncentrációja 0, azaz $c = 0$, az A fémbe $x = 0$ helyen pedig az A fém koncentrációja 100%. A diffúziós folyamat közben az $x = 0$ helyen a koncentráció állandó, $c_0 = \frac{C}{2}$, ami a 2. ábra példáján éppen 50%. Ezekkel a peremfeltételekkel a második Fick-egyenlet megoldása:

$$C = c_0 \left[1 - (\Phi) \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (4)$$

Ahol: c - az A fém koncentrációja a B fémbe az illesztési síktól mért x távolságban t ideig tartó diffúzió után;

D - diffúziós tényező

Φ - Gauss-féle hibaintegrál

c_0 - az érintkezési felület állandó A koncentrációja

A Gauss-féle függvény értékeire táblázatokat dolgoztak ki.

1.3.3. A diffúziós tényező

A diffúziós tényező értéke több tényezőtől is függ, pl. hőmérséklet, ötvöző típusa, kristályhibák, nyomás. A diffúziós tényező hőmérsékletfüggését a következő egyenlet adja meg:

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (5)$$

Ahol: D_0 - a hőmérséklettől független, a diffúziós tényezővel megegyező dimenziójú érték az adott fém párra

Q - aktiválási energia

R - gázállandó

T - abszolút hőmérséklet

D_0 és Q értékeit kísérletekkel meghatározták.

2. A cementálásnál lejátszódó folyamatok jellemzői

Az 1. szakaszban ismertetett általános termokémiai kezeléseknél lejátszódó folyamatokat itt a cementálásra vonatkozóan tárgyaljuk.

2.1 Adszorpciós folyamatok

A megismert adszorpciós részfolyamatban nagy szerepe van a cementálás során a gáz és az acél C_p karbonpotenciáljának, a gáz és az acél karbonaktivitásának, és a gáz karbonleadó képességének.

2.1.1 Karbonpotenciál

A gáz karbonpotenciálja azt fejezi ki, hogy a közeg az adott hőmérsékleten a munkadarab felületén milyen karbontartalommal tart egyensúlyt. Jele C_p , mértékegysége %. Ha pl. valamely cementálószernek adott hőmérsékleten a karbonpotenciálja 1%, akkor az 1%-nál kisebb karbontartalmú acél 1%-os karbontartalmúra cementálódik, a nagyobb karbontartalmú viszont 1%-os karbontartalmúra dekarbonizálódik.

A cementálószer karbonpotenciálját 0,05mm vastag, szénacélból készült fóliával határozzuk meg. Ezek a fóliák a cementálás hőmérsékletén 15-20perc alatt egyensúlyi karbontartalmúra cementálódnak, a karbontartalmat a fólia vegyelemzésével lehet megállapítani.

A gáz adott karbonpotenciálja és az acél felületének széntartalma között a kinetikai feltételektől függően rövidebb-hosszabb idő alatt egyensúly áll be. A felület karbontartalmának megnövekedése kémiai potenciálkülönbséget idéz elő a munkadarab belső részeihez képest, ez a karbondiffúzió hajtóereje. Ha a gázközezből elegendő utánpótlást kap az acél felületétől befelé diffundáló atomos karbon, akkor bizonyos idő elteltével dinamikus egyensúly áll be a gáz karbonpotenciálja és az acél felületének karbontartalma között.

A cementálás kémiai reakciójának egyidejűleg olyan termékei is vannak, amelyek dekarbonizáló hatásúak. A folyamat olyan állapotra törekszik, amelyben a cementáló és a dekarbonizáló hatás lassan egyensúlyba kerül. Az acéloknak azt a karbontartalmát, amely ennél az egyensúlynál beáll szintén karbonpotenciálnak nevezzük.

2.1.2. Karbonaktivitás

A cementált réteg növekedését az acél felületén kialakult egyensúlyi viszonyok és a hőmérséklet határozza meg. Azonos körülmények között cementálva azonos karbontartalmú betétben edzhető acélban a rétegnövekedés sebessége eltérő lehet. Az eltérést az acél karbonaktivitása okozza, amelyet az acél kémiai összetétele határoz meg.

Az acél felületén beálló kémiai egyensúly szempontjából nagy különbség van az elemi karbon (grafit, korom), a karbidként kötött karbon és az ausztenitben oldott karbon között. Az ausztenitben oldott karbon koncentrációját a karbonaktivitással jellemezzük. Az aktivitás a reális elegyek, olvadékok alkotóinak termodinamikai koncentrációja, ugyanis figyelembe kell venni, hogy az ausztenitben oldott karbonatomoknak csak meghatározott része lép kölcsönhatásba a környezetével.

Az acélban oldott karbonra vonatkozó karbonaktivitást a következő képlettel lehet kifejezni:

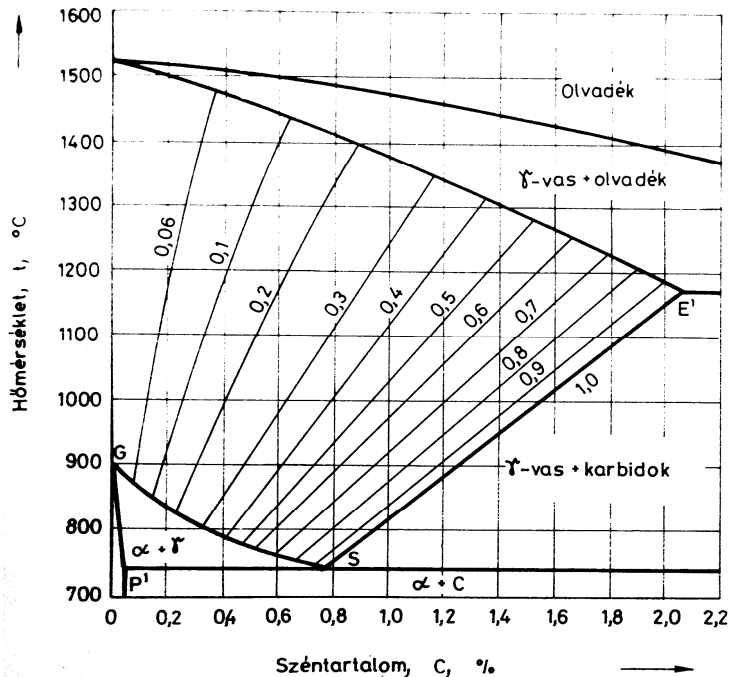
$$a_c = \frac{p_c}{p_c^0} \quad (6)$$

Ahol: p_C - az ausztenitben oldott karbon gőznyomása

p_C^0 - a grafit gőznyomása

A karbonnal telített ausztenitre vonatkozó karbonaktivitás értéke $a_C = 1$, mivel ekkor az oldott karbon gőznyomása a grafitével egyezik meg. Az acél karbonaktivitását az ötvözött acélok esetén az acél karbontartalma és az ötvözőtartalma együttesen befolyásolják.

A 3. ábra az ausztenitben oldott karbon aktivitását mutatja.

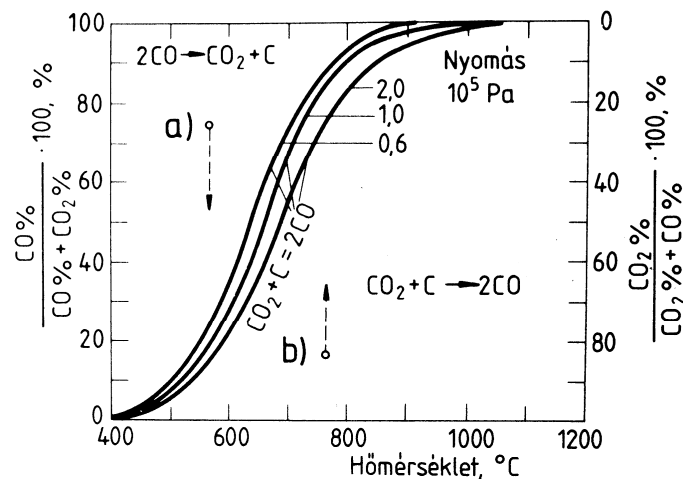


3. ábra: Azonos a_C karbonaktivitások vonalai az ausztenit mezőben

A gázfázis karbonaktivitása a Boudouard-reakció egyensúlyi állandójából számítható. A Boudouard-reakció során a CO_2 karbon jelenlétében CO -dá alakul:



A Boudouard-reakció egyensúlyi viszonyait mutatja a 4. ábra.



4. ábra: A Boudouard-görbe

A diagrammezőben elhelyezkedő egyensúlyi görbék a területet két részre osztják. A görbétől balra eső területeken a reakció a CO elbomlása, míg a jobbra eső területeken a CO keletkezésének irányába játszódik le.

Mivel a Boudouard-reakció egyenletének két oldalán nem azonos a gázmólok száma, változatlan hőmérsékleten a nyomás növekedésével nagyobb lesz a gázkeverék CO₂-tartalma és kisebb a CO-tartalma, az egyensúlyi izobárok a diagrammezőben ezért jobbra tolódnak el.

A Boudouard-reakció egyensúlyi állandója:

$$K = \frac{[a_{CO_2}][a_C]}{[a_{CO}]^2} \quad (8)$$

Amelyből a karbonaktivitás figyelembe véve, hogy a gázelemek aktivitása a parciális nyomással egyenlő ($a_{gáz} = p_i$):

$$a_C = K \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} \quad (9)$$

Ahol p_{CO} és p_{CO_2} mértékegysége bar.

A kifejezésből következik, hogy a karbon annál nagyobb aktivitással rendelkezik a gázfázisban, minél nagyobb a reakció egyensúlyi állandója, minél nagyobb a CO és minél kisebb a CO₂ parciális nyomása. A gázfázisban megjelenő karbon aktivitásával arányos mértékben cementálja az acélt.

2.1.3. Karbonleadó képesség

A cementáló közeg további fontos jellemzője, hogy mennyi aktív elemi karbon képes belőle az acél felületébe átjutni, azaz mennyi karbont képes leadni. Ezt a jellemzőt karbonleadó képességnek nevezzük. A cementáló közeg karbonleadó képessége az elemi karbon grammban mért mennyisége, amelyet 1 normál m³ gáz, meghatározott hőmérsékleten leadhat, miközben karbonpotenciálja 1%-ról 0,9%-ra csökken. Ennek a jellemzőnek akkor van jelentősége, ha a cementáló közeg áramlása gyenge.

2.2. Diffúziós folyamatok

Az 1.3. szakaszban leírt módon két fém síkfelülete mentén történt illesztésénél a diffúzió hatására keletkező koncentráció eloszlást számítással meg lehet határozni. Ezzel a módszerrel az acél cementálása során lejátszódó diffúziós folyamatokat matematikailag is nyomon lehet követni, és a c_0 , D állandók kísérleti úton történő meghatározásával ki lehet számítani a felülettől mért különböző távolságokban a karbon koncentrációját. A (4) képletben az x ilyenkor a munkadarab felületétől mért távolságot jelenti. Ha a felület görbülete nem túl nagy ($r = 6 - 8\text{mm}$), akkor a képlet görbe felülettel határolt munkadarabra is érvényes.

A diffúzió hatására kialakuló koncentráció eloszlás csak abban az esetben mutatja a 2. ábra szerinti folyamatos görbe vonalat, ha a két fém egymást minden arányban oldja. Ha az oldódás korlátozott, akkor azoknál a koncentrációknál, ahol oldódás nincs, a koncentráció görbében függőleges ugrások vannak. Abban az esetben, ha a két alkotó egymással vegyületet képez, a koncentráció görbe szintén ugrásokat, illetve eltérő görbeszakaszokat mutat.

Cementáláskor az acél felületén bonyolult folyamatok játszódhatnak le. A karbonhordozó gázalkotók disszociációja, esetleges oxidációja, a bomlástermékek elszállítása a felületről igen

összetett folyamat, amely a gázatmoszféra és a szilárd acél között kialakult ún. Nernst-féle határrétegben megy végbe.

A Nernst-féle határréteg diffúziós réteg a gázatmoszféra oldalán, amelyben mások a fizikai feltételek, mint az őt határoló gáztérben. Itt nagyobb a gáz sűrűsége, kisebb a gázmolekulák mozgékonyasága. E határréteg vastagsága kb. 10 μ m. A fém oldalán is hasonló nem egyensúlyi határréteg van, amelyben a rácshibák és rácstávolságok még nem felelnek meg a szilárd test egyensúlyi értékeinek.

Az acél felülete tehát egy fém+gáz kettős réteg. Ebben a határrétegben megy végbe a gázmolekulákon belüli kötési erő lazulása, az ezt követő disszociáció és a reakciótermék képződése.

A cementálásnál lejátszódó diffúziós folyamatok kinetikáját és az fém-gáz fázis között értelmezett β karbonátmeneti számmal és az 1.3. szakaszban már ismertetett D diffúziós együtthatóval lehet jellemezni.

Az acél felületén elnyelődő karbon fluxusa:

$$\frac{dm}{A \cdot dt} = \beta (C_p^{gáz} - C_p^{acél}) \quad (10)$$

Ahol: m - az egységnyi felületen másodpercenként áthaladó karbon mennyisége, mértkegysége: g/cm²s

$C_p^{gáz}$ a gáz karbonpotenciálja

$C_p^{acél}$ az acél karbonpotenciálja

β - a karbonátmeneti szám, mértkegysége: cm/s

A karbonátmeneti szám megmutatja, hogy másodpercenként hány gramm atomos állapotú karbon lép át az acél 1cm²-nyi felületébe 1%-os karbonpotenciál különbség esetén.

Az acélban diffundáló karbon fluxusa a már megismert I. Fick egyenlet szerint:

$$\frac{dm}{A \cdot dt} = -D \cdot \frac{dC}{dx} \quad (11)$$

Az acél felületén elnyelődő karbon fluxusa a cementálás kezdetén jóval kisebb, mint az acélban diffundáló karbon fluxusa, azaz β értéke jóval kisebb, mint a D értéke (nincs elegendő utánpótlása a karbonnak). A cementálás előrehaladtával azonban a dinamikus egyensúly áll be, és a felületen elnyelődő karbon fluxusa egyenlő lesz az acélban diffundáló karbon fluxusával. A cementálási folyamat kezdetén tehát karbon aktivitás-ugrás van a felületen, amely a cementálás előrehaladtával csökken.

3. Az acélok cementálásának technológiai paraméterei

Cementálásnál kis karbontartalmú acélanyagot hevítünk 850-930°C-os hőmérsékletre olyan közegben, amely a korbont atomos állapotban kellő mennyiségben leadja. A technológiai paraméterektől függő vastagságú és koncentrációjú karbonnal dúsított réteg keletkezik. A lehűtés módja attól függően változik, hogy milyen a szenítő közeg, szilárdnál lassú, folyékony és gázfázisúnál gyors, edző hűtés. A legfontosabb technológiai paraméterek az acélok cementálásakor a munkadarab anyagminősége, a cementálás hőmérséklete, időtartama és a cementáló közeg.

3.1. A munkadarab anyagminősége

A cementálandó acéllal szemben a legfőbb követelmény, hogy karbontartalma alacsony legyen, 0,06-0,20% között változhat. Ötvözők közül leggyakrabban használt a króm, mert a mag szilárdsági tulajdonságait javítja, a kéreg keménységét, kopásállóságát növeli. A króm mellett a molibdén a szemcseszerkezetre finomítólag hat, a mag és a kéreg mechanikai tulajdonságait tovább javítja, a kéreg hőszilárdságát növeli és megszünteti a megeresztési ridegségre való hajlamot.

3.2. A cementálás hőmérséklete

A kéreg tulajdonságait jelentősen befolyásolja a cementálás hőmérséklete. A termokémiai kezelés részfolyamataiból következik, hogy minél nagyobb a cementálás hőmérséklete, annál kedvezőbbek a szénleadás, adszorbcio és a diffúzió körülményei. A cementálás alsó és felső hőmérsékleti határát a következők határozzák meg.

Kis cementálási hőmérséklet az alkalmazott kis széntartalmú acél szempontjából azért kedvezőtlen, mert ilyen hőmérsékleten az acél szövetszerkezete túlnyomó részben ferritből, és kisebb részben ausztenitből áll (PSG mező a Fe-C állapotábrában). Ha a felületen bekövetkezik a karbon adszorbcioja, akkor az ausztenit nagy szénoldó képessége a diffúziót nagy karbonkoncentrációig megengedi, a túlnyomó részben ferrites szövetszerkezet karbonoldó képessége azonban nagyon kicsi, ezért a karbonatomoknak a rácsba való beépülésekor hamar telített szilárd oldat jön létre. A felület és az alatta lévő rétegek közti koncentráció különbség miatt folytatódik a szénatomok befelé diffundálása, azonban a ferrit oldóképessége határának elérésekor cementit jelenik meg, és a további diffúziót fokozatosan lelassítja, a keletkező réteg nagyon vékony lesz.

Mivel az ausztenit karbonoldó képessége nagy, célszerű a cementálást olyan hőmérsékleten elvégezni, amelyen a betétben edzhető kis karbontartalmú acélok is teljesen ausztenites szövetszerkezetűek. Ez a hőmérséklet a 3.1. pontban megadott karbontartalomnál 850-930°C. Ez a hőmérsékletsáv az acél ausztenites szövetszerkezete szempontjából csak az alsó hőmérsékleti határ. Ha ennél nagyobb hőmérsékletre hevítjük az acélt, akkor szénoldó képessége tovább növekszik (ES vonal a Fe-C állapotábrában). Bár a diffúzió szempontjából a hőmérséklet további növelése volna előnyös, sokkal nagyobb hőmérsékleten mégsem célszerű cementálni, mert a hosszú cementálási idő miatt a szövetszerkezet eldurvul.

3.3. A cementálás időtartama

A cementálás időtartamától függ a cementált réteg vastagsága. Általánosságban igaz, hogy minél hosszabb a cementálás időtartama, annál vastagabb réteg keletkezik, feltéve, hogy a cementáló közeg megfelelő mennyiségben termel atomos állapotú szenet, amely a felületen szintén kellő mennyiségben tapad meg. A (3) összefüggésből kiderül, hogy adott hőmérsékleten a cementált réteg vastagságnak növekedése a művelet elején gyors, a művelet folyamán azonban exponenciálisan lassuló.

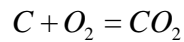
3.4. A cementálás közege

A cementálás céljára alkalmazott karbontartalmú elegyeket halmazállapotuk szerint szokás csoportosítani.

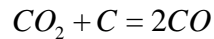
3.4.1. Szilárd közegben végzett cementálás

A szilárd közegben végzett cementálás során 0,4-1,2mm vastagságú cementált réteg állítható elő. A szilárd cementálószer alapanyagai: faszén, bőr-, csont- vagy szaruszén, továbbá aktiváló anyagként alkáli fémek, földfémek karbonátjai. Az aktiváló anyagok a cementálás folyamatát gyorsítják.

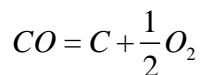
A munkadarabot megfelelő edényben, szilárd cementálószer közé helyezik, majd az edényt légmenetesen lezárják és a cementálás hőmérsékletére hevítik. A cementálás hőmérsékletén az edényben lévő levegő oxigénje a faszén karbonjával reagál:



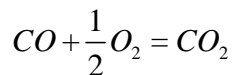
A CO_2 az izzó faszénnel reakcióba lép, és a Boudouard-reakcióval szénmonoxid keletkezik:



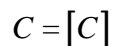
A CO az acél felületén naszcensz karbonra és naszcensz oxigénre bomlik:



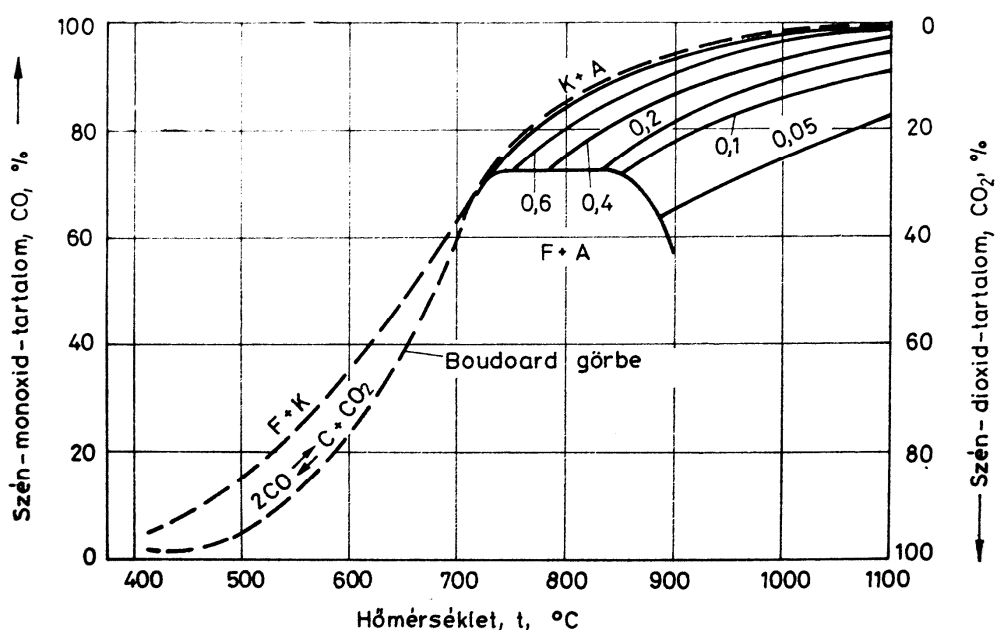
A naszcensz oxigén a gázatmoszféra szénmonoxidjával reagál, így széndioxid keletkezik:



A naszcensz karbon pedig bediffundál az acél felületébe:



A gázatmoszférában a szénmonoxid és a széndioxid meghatározott aránya esetén az acélt körülvevő gáztér semleges hatású, azaz nem cementál és nem dekarbonizál. Az egyensúly beállításához szükséges CO/CO₂ arány az acél felületének karbontartalmától és a hőmérséklettől függ. Az 5. ábra a cementáló közeg CO- és CO₂-tartalma, a hőmérséklet és az acél felületének karbontartalma közötti egyensúlyt mutatja.



5. ábra: Egyensúlyi viszonyok a cementáló közeg CO- és CO₂-tartalma, a hőmérséklet és az acél felületének karbontartalma közötti

3.4.2. Folyékony közegben végzett cementálás

A cementálást szokás folyékony halmazállapotú cementáló közegekkel is végezni. Ezek legtöbbször sókeverékek, amelyeket meghatározott hőmérsékletre hevítenek fel, így folyékony halmazállapotban a karbontartalmuk egy részét a bennük felfüggesztett acél munkadarabok felületén atomos állapotban leadják. A legtöbbször alkalmazott sókeverékek a karbon mellett nitrogént is tartalmaznak, mert a két elem ezekben a ciángyökök (CN) formájában fordul elő. Ha a sókeverékből nagyobb hőmérsékleten sófördő keletkezik, akkor a ciángyökök az acél felületén szétbomlanak, így diffúzióképes atomos karbon és nitrogén keletkezik, és a munkadarab felülete karbonban és nitrogénben is dúsul. Emiatt az ilyen sófördőben végzett cementálás valójában nitrocementálásnak tekintendő. Az, hogy a sófördő túlnyomó részben melyik elemet adja le, a hőmérséklettől függ. Ha a hőmérséklet 850-950°C körüli, akkor a cementálás, ha 550-750°C körüli, akkor a nitridálás kerül előtérbe.

Az egyik legáltalánosabb cianid-vegyület a káliumferrocianid ($K_4Fe(CN)_6$, sárga vérűgő). Nagyobb hőmérsékleten a következő reakcióegyenlet szerint bomlik:



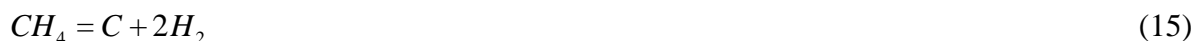
A reakcióegyenletből látható, hogy a bomlás atomos állapotú karbon és nitrogént termel. A keletkező KCN a vas környezetében szintén bomlik, nitridáló és cementáló hatást fejt ki. Nagyobb hőmérsékleten a bomlásból származó N atomok molekulává egyesülnek, a molekuláris N_2 pedig nem képes bediffundálni az acél felületébe.

A ciános sófördők cianidok keverékéből állnak, legfőbb alkotójuk a $K_4Fe(CN)_6$ mellett KCN-t és NaCN-t tartalmaznak. A ciántartamú sófördők kellemetlen tulajdonsága, hogy nagy hőmérsékleten, 900°C felett erősen párolognak. Ezt csökkentendő nagyobb olvadáspontú sókat szokás hozzájuk adagolni, pl. Na_2CO_3 -at, NaCl-t, stb.

Az eljárás során kb. 30 perc alatt néhány tized mm vastag cementálódott réteg alakítható ki, így az acél szövetszerkezet nem durvul.

3.4.3. Gázközegben végzett cementálás

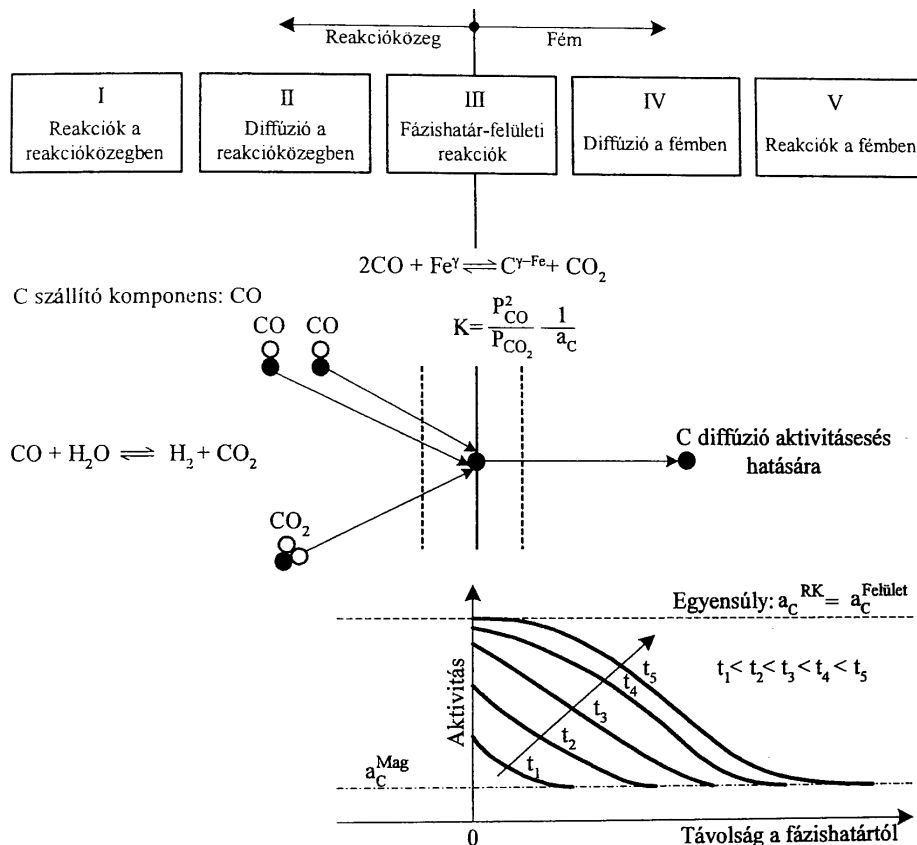
A gázközegű cementálás során a gázcementáló kemencébe CO, CO_2 , telített C_nH_{2n+2} és telítetlen C_nH_{2n} szénhidrogéneket, de főleg metánt vezetnek be. Ezek a gázok a cementálandó munkadarab felületén a következő kémiai reakciókkal adnak le atomos karbon:



CO- CO_2 tartalmú cementáló gázok esetén az acél felületén kialakuló egyensúlyi karbontartalmat a szilárd közegű cementálásnál már bemutatott 5. ábra szemlélteti.

Ha a cementáló atmoszférában metánt is bevezetnek, akkor annak bomlásával sokkal nagyobb mennyiségű atomos karbon keletkezik, mint a Boudouard-reakcióval. A metán rendkívüli mértékben aktív cementálószer, ami azt eredményezi, hogy az acél felületén elnyelődő karbon mennyiségéhez képest sokkal több atomos karbon keletkezik a bomlás során. Ennek eredménye a munkadarab felületén koromképződés lehet. A koromképződés elkerülése érdekében a szénhidrogén gázokat hígítva vezetik a kemencébe. A hígítás történhet a bevezetendő gáz részleges elégetésével vagy nitrogénnel.

A gázközegű cementálás anyagátviteli folyamatait a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra: A gázközegű cementálás anyagátviteli folyamatai

A gázközegű cementálás a legelterjedtebb mai cementáló eljárás. Az iparban alkalmazott gázcementáló eljárások két csoportba sorolhatók. Az egyikben a cementáló gázt a cementáló kemencétől függetlenül egy gázgenerátorban valamilyen gáz halmazállapotú szénhidrogénből fejlesztik, és innen vezetik be a kemence terébe. A másikban a kemence terébe közvetlenül csepegtetnek be valamilyen folyékony halmazállapotú szénhidrogént.

4. Irodalomjegyzék

- Mészáros István: Anyagtudomány tárgy, előadásvázlat, 2004
 Krállics György: Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat tárgy, előadásvázlat, 2010
 Szabó Isván: Fizikai anyagtudomány tárgy, előadásvázlat, 2010
 Szabó Péterné: Képlékeny alakítás és hőkezelés, Tankönyvkiadó, Bp. 1990
 Artinger István: Hőkezelés, fémek képlékeny alakítása, Műegyetemi kiadó, Bp. 1993
 Konkoly Tibor: Hőkezelés, Tankönyvkiadó, Bp. 1992*
 Tisza Miklós: Mechanikai technológiák, Miskolci Egyetem, 2010
 Végvári Ferenc: Gépipari technológiák. 2/2. köt., Hőkezelés, Kecskeméti Főiskola, 2002
 Szij Zoltán: Hőkezelés 2., Kecskemét, 1973
 Németh Emil: Acélok és nemvasfémek hőkezelése a gyártástechnológiában, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1981
 Verő József A hőkezelés fémtani alapjai, Tankönyvkiadó, Bp. 1965
 Szombatfalvy Árpád: A hőkezelés technológiája, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1985*
 Smóling Kálmán: Az acélok és a vas hőkezelése, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1976
 Schön Gyula: Vasötvözetek és hőkezelésük, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1968*
 Neményi Rezső: Védőgázás hőkezelések, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1976
 Farkas Ottó: Nyersvasmetallurgia, Tankönyvkiadó, Bp. 1989