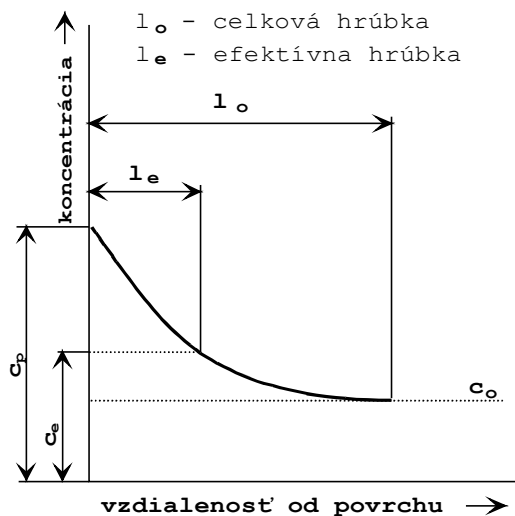


## CHEMICKO-TEPELNÉ SPRACOVANIE

Ako chemicko-tepelné spracovanie sa označujú spôsoby difúzneho nasycovania povrchu ocele rôznymi prvkami (kovy aj nekovy) pri zvýšenej teplote, s cieľom dosiahnuť rozdielne mechanické alebo fyzikálno-chemické vlastnosti povrchu a jadra súčiastky. Na rozdiel od povrchového kalenia (zmena štruktúry povrchu tepelným spracovaním pri nezmenenom chemickom zložení) je základom chemicko-tepelného spracovania zmena chemického zloženia povrchovej vrstvy. Cieľom chemicko-tepelného spracovania býva zvýšenie tvrdosti a odolnosti povrchu voči opotrebovaniu a zachovanie húževnatého jadra. Medzi najčastejšie používané postupy sa radí nasycovanie povrchu uhlíkom (**nauhličovanie**), dusíkom (**nitridovanie**), uhlíkom aj dusíkom (**karbonitridácia**).



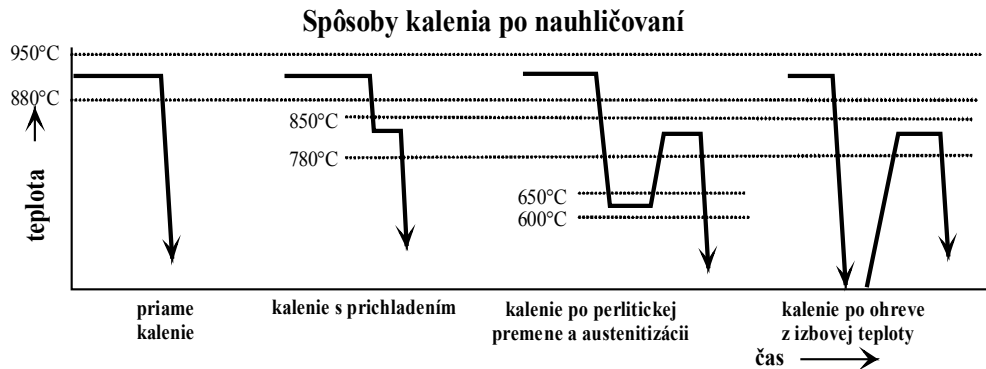
Povrchová vrstva základného materiálu, ktorá sa chemickým zložením odlišuje od jadra, sa nazýva difúznou vrstvou. Táto vrstva môže byť tvorená tuhým roztokom, chemickou zlúčeninou, alebo kombináciou tuhého roztoku a chemickej zlúčeniny.

Celková hrúbka difúznej vrstvy sa nazýva vzdialenosť od nasycovaného povrchu až po miesto, pokiaľ prenikol difundujúci prvok. Pre prax je dôležitejšia tzv. efektívna hrúbka difúznej vrstvy - je to časť celkovej hrúbky difúznej vrstvy, ktorá je daná vzdialenosťou od nasycovaného povrchu po nominálnu hodnotu zvoleného parametra (koncentrácia difundujúceho prvku, štruktúrny príznak alebo vlastnosť - tvrdosť).

## NAUHLIČOVANIE (CEMENTÁCIA)

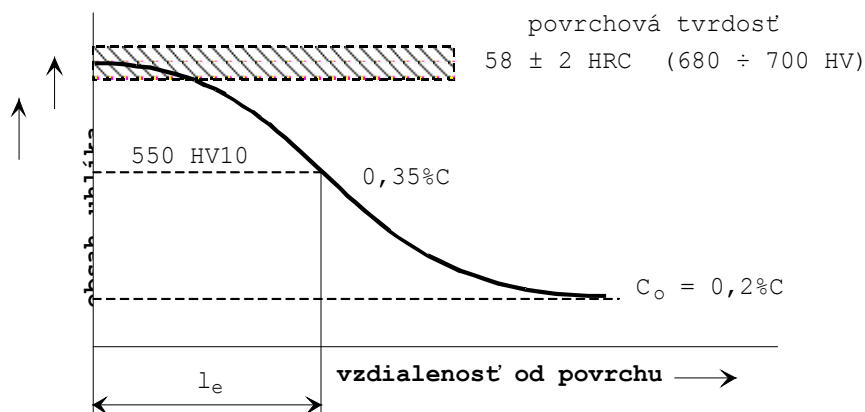
Je to nasycovanie povrchu ocelí uhlíkom. Používa sa vtedy, ak sa od súčiastok vyžaduje vysoká tvrdosť povrchu, pričom jadro predmetu má zostať pomerne mäkké a relatívne húževnaté (čapy, hriadele, ozubené kolesá a pod.). Na nauhličovanie sa používajú nízkouhlíkové ocele s obsahom uhlíka 0,1 až 0,25 %. Príklady cementačných ocelí: 12 010, 12 020, 14 220 a 16 220. Najčastejšie sa používa oceľ 14 220, ktorá obsahuje približne 1 % Mn a 1 % Cr.

Povrch súčiastok sa obvykle obohacuje uhlíkom na eutektoidnú koncentráciu, t.j. na 0,8 % C. **Nauhličovanie prebieha** pri teplotách približne 50 °C nad teplotou  $A_{C3}$  (v **oblasti existencie austenitu**, obvykle v teplotnom intervale 880 až 950 °C). Hĺbka nauhličenej vrstvy dosahuje hodnoty 0,5 až 2 mm. Po nauhličovaní nasleduje kalenie súčiastok. Záverečnou operáciou tepelného spracovania po nauhličovaní a kalení je popúšťanie pri teplotách 140 až 200 °C (príp. až 250 °C). Povrchová tvrdosť takto spracovaných súčiastok dosahuje hodnoty 58 až 62 HRC.



Pri návrhu a posudzovaní nauhličených vrstiev sú dôležité tieto charakteristiky:

- obsah uhlíka na povrchu vrstvy
- priebeh chemického zloženia (zmena obsahu uhlíka) v nauhličenej vrstve - tzv. koncentračný profil uhlíka
- efektívna hĺbka nauhličenia (vzdialenosť od povrchu po miesto s obsahom uhlíka 0,35 % alebo s tvrdosťou 550 HV 10



*Priebeh tvrdosti v správne nauhličenom, zakalenom a popustenom povrchu ocele*

### Technologický postup pri nauhličovaní

Proces zvyšovania tvrdosti povrchu s využitím nauhličovania sa obvykle skladá z týchto podprocesov:

- 1) uloženie vsádzky na prípravky a rošty
- 2) odmastenie a vysušenie vsádzky (obvykle v alkalickom vodnom roztoku s teplotou okolo 90 °C)
- 3) nauhličovanie
- 4) kalenie (obvykle do teplého oleja)
- 5) odmastenie a vysušenie vsádzky
- 6) popúšťanie (vo vzduchovej peci)
- 7) paletizácia (ukladanie na palety z košov a roštov)
- 8) kontrola tvrdosti a rozmerov
- 9) expedícia

Po takomto kombinovanom chemicko-tepelnom a tepelnom spracovaní spravidla nasleduje brúsenie súčiastok a ich montáž.

### **Technologické spôsoby nauhličovania**

Nauhličenie povrchu možno dosiahnuť týmito technologickými variantami procesu nauhličovania:

- 1) v plyne
- 2) v prášku
- 3) v roztavených soliach
- 4) pri zníženom tlaku (vo vákuu)

Najväčší technický význam má nauhličovanie v plyne. Vo svete sa najčastejšie používa nauhličovanie v obohatenej endotermickej atmosfére vo viacúčelových peciach alebo jednoúčelovej priebežnej peci. Tento proces možno veľmi presne riadiť a dosahovať reprodukovateľné výsledky. Menej často sa používa nauhličovanie, pri ktorom sa nauhličujúca atmosféra získava z kvapalných organických zlúčenín ich termickým rozkladom v priestore šachtovej pece.

Nauhličovanie v prášku a v roztavených soliach predstavujú zastaralé procesy, v ktorých nemožno trvalo dosahovať reprodukovateľné výsledky. V týchto procesoch sa používajú toxické látky, ktoré treba po istom čase používania vyradiť a nákladným spôsobom neutralizovať.

Vákuové nauhličovanie je špeciálny, pomerne drahý proces, ktorý sa využíva iba v špecifických prípadoch.

### **NITRIDÁCIA**

**Nitridácia** - povrchové nasycovanie kovových materiálov dusíkom. Cieľom je získať vysokú tvrdosť povrchu a húževnaté jadro. Na rozdiel od cementovania, sa požadované tvrdosti dosahujú už počas nasycovania povrchu dusíkom, t.j. bez nasledujúceho tepelného spracovania. Podstatou vysokej tvrdosti je vznik veľmi tvrdých chemických zlúčenín dusíka so železom a niektorými prísadovými prvkami. Patrí medzi základné spôsoby chemicko-tepelného spracovania. Nitridáciou možno dosiahnuť tieto vlastnosti :

- 1) vysokú povrchovú tvrdosť
- 2) vysokú odolnosť proti mechanickému opotrebovaniu
- 3) vysokú medzu únavy (pri oceľiach)
- 4) zvýšenú odolnosť proti kavitácii a korózii
- 5) vysokú žiarupevnosť (niektoré ocele a zliatiny ťažkotaviteľných kovov).

Nitridáciou sa vytvárajú tvrdé vrstvy s hrúbkou do 0,5 mm. Pre rýchlosť rastu povrchových vrstiev orientačne platí, že sa dosahujú rýchlosti rastu vrstiev 0,01 mm za hodinu.

V praxi sa osvedčili nasledujúce hrúbky vrstiev:

- 0,05 ÷ 0,1 mm - matice, skrutky, tenkostenné dielce (do 2 mm), ozubené kolesá s modulom menším ako 1
- 0,1 ÷ 0,2 mm - dielce s hrúbkou alebo priemerom nad 2 mm, nízko namáhané ozubené kolesá s modulom 1 ÷ 2
- 0,2 ÷ 0,3 mm - piestne čapy, razníky, klzné ložiská, nízko namáhané ozubené kolesá s

modulom nad 2,5  
0,3 ÷ 0,4 mm - kľukové hriadele

Nitridované vrstvy sa v podstate skladajú z dvoch oblastí s rôznymi vlastnosťami. Povrchovú oblasť tvoria nitridy. Pod súvislou vrstvou nitridov je difúzna zóna, niekedy nazývaná zóna vnútornej nitridácie.

Nitridácia **pod teplotou 600 °C** (pod teplotou eutektoidnej premeny v systéme železo - dusík) sa niekedy nazýva **nízko teplotná nitridácia**. Ak nitridácia prebieha **pri vyšších teplotách ako 600 °C**, hovoríme o **vysoke teplotnej nitridácii**.

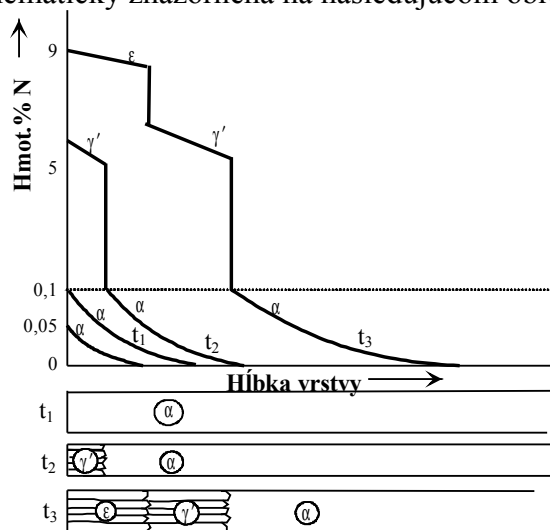
Nitridácia sa uskutočňuje v širokom intervale teplôt a v rozličných nasycujúcich prostrediach:

- a) v tuhom prostredí (prášky, pasty,...)
- b) v kvapalnom prostredí
- c) v plynnom prostredí
- d) s využitím vysokofrekvenčného ohrevu
- e) v ultrazvukovom poli
- f) vo fluidnej vrstve
- g) pri zvýšených tlakoch
- h) iónová nitridácia

**Nitridácia v plynnom prostredí** sa uskutočňuje v hermetickej pracovnej komore, v ktorej je zabezpečený ohrev, kontrola a regulácia teploty, tlaku a stupňa disociácie amoniaku. Proces nitridácie sa skladá z dvoch neoddeliteľných procesov - tepelného procesu a chemického procesu. Voľba teploty nitridácie vychádza z požiadaviek na tvrdosť a hrúbku vrstvy (vysoká tvrdosť a malá hrúbka - nižšie teploty). Dôležitým ukazovateľom pre nitridáciu v plyne je stupeň disociácie amoniaku. Napr. pre konštrukčné ocele pre teplotu nitridácie 500 ÷ 520 °C je stupeň disociácie 20 ÷ 40%, pre teploty 520 ÷ 540 °C je to 30 ÷ 50% a pre 540 ÷ 560 °C sú odporúčané stupne disociácie 40 až 60%.

### Fázové zloženie nitridovanej vrstvy

Tvorba vrstvy je schematicky znázornená na nasledujúcom obrázku.



Postupnosť vzniku fáz v povrchovej vrstve pri nitridovaní železa pod teplotou 590°C

Napr. pri teplote nitridovania pod 590 °C sa spočiatku na povrchu tvorí vrstva

dusíkového feritu, ktorej hrúbka postupne rastie. Po čase  $t_1$  sa na povrchu dosiahne koncentrácia dusíka, ktorá zodpovedá maximálnej rozpustnosti dusíka vo ferite. Ďalší dusík prichádzajúci z atmosféry už nasýtený ferit nie je schopný prijať, a preto začínajú vznikať zárodok nové fázy - nitridu  $\gamma$ . Zárodok zväčša vznikajú v miestach hraníc fáz  $\alpha$ . Zo zárodok  $\gamma$  sa vytvorí súvislá vrstva. V procese ďalšieho nasycovania vrstva fázy  $\gamma$  hrubne a fázové rozhranie postupuje do vnútra súčiastky ( $t_2$ ). Po dosiahnutí hranice nasýtenia sa na povrchu tvoria zárodok  $\epsilon$ -fázy, stabilnej pri vyšších koncentráciách dusíka. Znovu je náhly vzrast koncentrácie dusíka na rozhraní ( $t_3$ ).

Medzi ďalšie spôsoby nitridácie je možné zaradiť aj nasledujúce spôsoby: sulfonitridácia, karbonitridácia, oxikarbonitridácia, ....

### **Technologický postup výroby súčiastok s využitím nitridácie**

- 1) mechanické opracovanie "na hrubo" - (malé prídavky na ďalšie obrábanie)
- 2) zušľachtovanie polotovaru - kalenie a vysokoteplotné popúšťanie
- 3) obrábanie dielca "na hotovo"
- 4) nitridácia
- 5) dokončovacie spôsoby obrábania - brúsenie, príp. leštenie povrchu

### **Nitridačné ocele**

Ocele používané na nitridáciu obsahujú obvykle 0,3 ÷ 0,4 %C. Pred nitridáciou sa spravidla zušľachtujú na pevnosť 900 ÷ 1200 MPa. Popúšťanie, ktoré nasleduje po kalení, prebieha pri teplotách 500 ÷ 650 °C. Uvedeným pevnostiam v ťahu zodpovedajú tvrdosti v rozmedzí 30 ÷ 40 HRC. Teplota nitridácie zušľachteného dielca sa volí nižšia, ako bola teplota popúšťania pri zušľachtovaní.

Typický predstavitelia nitridačných ocelí sú: 14 340; 15 230; 15 330; 15 340.

### **KARBONITRIDÁCIA**

Pri karbonitridácii sa nasycuje povrch súčasne dusíkom aj uhlíkom pri zvýšených teplotách.

Karbonitridáciu je možné rozdeliť podľa teploty na dva spôsoby:

- 1) ak v povrchovej vrstve prevláda uhlík - vyššie teploty karbonitridácie
- 2) ak v povrchovej vrstve prevláda dusík - nižšie teploty karbonitridácie

V prípade, že sa karbonitridácia uskutočňuje pri vyšších teplotách (820 ÷ 840 °C - nad  $A_3$ ) v zmesi uhlíkovodíkov a čpavku a je potrebné vytvorenú vrstvu zakaliť a popustiť (180°C/1÷2 hod.). Prítomnosť dusíka v tuhom roztoku zvyšuje stabilitu podchladeného austenitu a preto majú tieto vrstvy vyššiu prekaliteľnosť, ako cementované vrstvy. Vysoká prekaliteľnosť vrstiev umožňuje kaliť vrstvy na súčiastkách z nelegovaných ocelí do oleja. Dusík vo vrstve zvyšuje obsah zvyškového austenitu v štruktúre zakalených vrstiev, čím sa znižuje jej tvrdosť. Ale prítomnosť zvyškového austenitu brzdí vznik únavových porúch a zvyšuje tak únavovú pevnosť súčiastok. Tento proces je v porovnaní s cementáciou oveľa výhodnejší, pretože umožňuje skrátenie výrobného cyklu, zníženie výrobných nákladov a dosahujú sa priaznivé prevádzkové vlastnosti povrchových vrstiev. Hrúbka vrstvy býva spravidla 0,3 ÷ 0,4 mm za 1 ÷ 2 hod. Štruktúra vrstvy po zakalení a popúšťaní je tvorená uhlíkovo-dusíkovým martenzitom, zvyškovým austenitom a karbonitridmi. Tvrdosť vrstvy (700 ÷ 800 HV) je v porovnaní s nauhličenou vrstvou menšia, ale doba nasycovania je podstatne kratšia (dusík zvyšuje rýchlosť difúzie uhlíka). V dôsledku vyššieho obsahu uhlíka v oceli (voči oceliam na nauhličovanie) je vyššia pevnosť jadra a stačia menšie hrúbky

karbonitridovaných vrstiev pri vyšších teplotách.

Karbonitridácia pri nižších teplotách ( $600 \div 630 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sa uskutočňuje v zmesi čpavku s prídavkom uhlíkovodíkov. Cieľom je vytvoriť súvislú vrstvu karbonitridu  $\epsilon$  s hrúbkou  $\approx 0,05$  mm a tvrdosti až 1000 HV, ktorá je odolná proti zadieraniu a opotrebovaniu. Vrstvy získané týmto spôsobom sa nekalia, preto je deformácia menšia ako pri karbonitridovaní pri vyšších teplotách. Takto získané vrstvy nie sú vhodné na zaťažovanie veľkými mernými tlakmi (dochádza k deformácii jadra a prelomeniu vrstvy, lebo táto je veľmi tenká). Karbonitridované vrstvy pri nižších teplotách sú vhodné na súčiastky, ktoré sú namáhané intenzívnym oterom (kalibre a pod.).