

TEPELNÉ A CHEMICKO-TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELI

- Princip tepelného zpracování
- Způsoby ohřevu a ochlazení
- Žihání
- Kalení
- Jominiho zkouška
- Druhy chemicko-tepelného zpracování a jejich využití ve strojírenské praxi

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Rozumíme tím všechny postupy, při nichž předmět nebo MTR záměrně ohříváme a ochlazujeme určitým způsobem tak, aby získal požadované vlastnosti. V podstatě jde vždy o souhrn těchto operací : ohřev určitou rychlostí na danou teplotu, výdrž na této teplotě a ochlazování určitou rychlostí na konečnou teplotu. Někdy se tyto operace opakují vícekrát za sebou za různých podmínek.

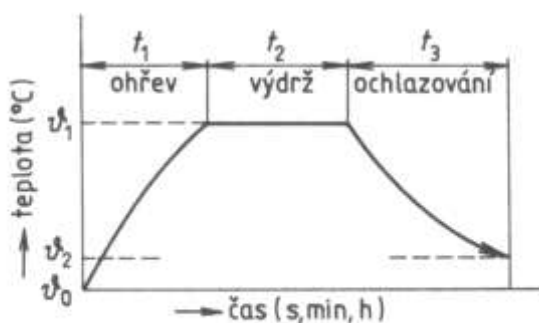


Schéma průběhu tepelného zpracování

Dle rychlosti ochlazování rozlišujeme 2 základní druhy tepelného zpracování:

- a) **ŽIHÁNÍ** – ochlazujeme pomalu a vzniká rovnovážná stabilní struktura
- b) **KALENÍ** – ochlazujeme velmi rychle, tzv. nadkritickou rychlostí, např. ve vodě nebo v solích; a vzniká nerovnovážná struktura

ZPŮSOB OHŘEVU A OCHLAZENÍ

OHŘEV

Dodržování teploty 0° - 1 200° C. ohřev musí být proveden tak, aby bylo stejnosměrné rozložení v celém průřezu. Dobu ohřevu lze také určit z teplotního spádu, při ohřevu studeného MTR se připouští teplotní spád 1,2 – 3,4° C na 10mm průměru, při ohřevu teplého MTR 6 – 10° C na 10mm průměru.

CHLADNUTÍ

V praxi jsou převážně rychlosti ochlazování podstatně větší než předpokládá rovnovážný diagram. Tím jsou více nebo méně brzděny difúzní pochody a slitiny se zpravidla nacházejí ve stavu nestabilním, tj. ve stavu neodpovídajícím rovnovážnému diagramu. Často dokonce úmyslně uvádíme slitiny do stavu značně nestabilního pro jeho velmi výhodné vlastnosti. Při zvýšení rychlosti ochlazování nad určitou kritickou rychlost lze difúzní pochody zcela potlačit.

ŽÍHÁNÍ

Proces při kterém chceme v součásti dosáhnout stavu blízkého k rovnovážnému.
Podle druhu žíhaného MTR rozdělujeme žíhání do 3 skupin

- 1) Ocelí
- 2) Litin
- 3) Neželezných kovů

ŽÍHÁNÍ OCELÍ

Dělí se na:

I. Žíhání bez překrystalizace

- a- žíhání ke stabilizaci rozměrů; ohřev 120° - 150°C
- b- žíhání na odstranění křehkosti po moření; ohřev 200° - 300°C
- c- žíhání na odstranění vnitřního pnutí; ohřev 300° - 650°C
- d- žíhání protivločkové; ohřev 600° - 700°C
- e- žíhání rekrytalizační; ohřev 550° - 700°C
- f- žíhání na měkko

II. Žíhání s překrystalizací

- g- žíhání normalizační; 30° - 50°C
 - h- žíhání homogenizační; 1100° - 1200°C
 - i- základní – 50°C
 - j- s částečnou austenizací
 - k- ke zvětšení zrn – 950° - 1 100°C
 - l- izotermické
 - m- rozpouštěcí
- a) Žíhání ke stabilizaci rozměrů – používá se u měřidel, trvá několik dní (i týdnů)
 - b) Žíhání na odstranění křehkosti po moření – moření je proces, při kterém odstraňujeme okuje. Mořidlem je vždy kyselina dané koncentrace, kdy může dojít k difúzi vodíku, který způsobuje v oceli křehkost, proto ho chceme odstranit. *Ohřev – výdrž* 4 - 10 hodin, pak následuje *pomalé ochlazování* v peci, případně na vzduchu, aby mohl vodík vydifundovat z povrchu oceli
 - c) Žíhání na odstranění vnitřního pnutí – používá se u odlitků, výkovků a svařenců. *Ohřev* – teplota 500° - 650°C, *výdrž* několik hodin; pak *velmi pomalé ochlazování* v peci do teploty tak 250°C a dochladí se na vzduchu
 - d) Žíhání protivločkové – *ohřev* na danou teplotu => poměrně *dlouhá výdrž*, aby došlo k difúzi vodíku, který v materiálu způsobuje vznik vloček a tím pnutí, *ochlazování je pomalé*, a to v peci. Takovýmto způsobem se zpracovávají hlavně výkovky
 - e) Žíhání rekrytalizační – uplatňuje se jako mezioperační, mění se tvar zrna a tím vlastnosti materiálu. Probíhá ve dvou fázích – 1. *zotavení* (přípravná fáze) – dochází k výhodnému uspořádání dislokací => snížení vnitřní energie; 2. *rekrytalizace* – dochází ke vzniku nového zrna a k jeho růstu. V této fázi dochází ke změně vlastností.
 - f) Žíhání na měkko – při žíhání na měkko dochází k sferoidizaci karbidů („sbalování lamel perlitu“) – změni se technologické vlastnosti –lepší se obrobiteľnosť a houževnatost
 - g) Žíhání normalizační – cílem je vytvořit malé drobné zrno => lepší mechanické vlastnosti. Provádíme ho např. u výkovků, odlitků a svařenců. První fází je *ohřev*, pak *výdrž* (1 – 4 hodiny), pak *ochlazujeme* na klidném vzduchu. Provádí se hlavně u podeutektoidních ocelí, tzn. Že výsledná struktura je feritickoperlitická
 - h) Žíhání homogenizační = difúzní – první fází je *ohřev* (1000° - 1200°C) – vysoké teploty proto, aby došlo k rozpuštění všech fází; *výdrž* je dlouhodobá (desítky hodin); *ochlazuje* se v peci. Po žíhání homogenizačním vždy následuje žíhání normalizační.

4 - Tepelne z chemickotepelne zpracovani oceli

- i) Žihání základní – je modifikací normalizačního žihání, ohřev a výdrž probíhá stejně, rozdíl je v ochlazování, které se provádí v peci rychlostí 200°/hod, u legovaných ocelí pomaleji 50°/hod, zlepšení obrobitelnosti a tvářitelnosti, snížení tvrdosti a vnitřního pnutí
- j) Žihání s částečnou austenizací – ohřejeme přibližně na 740°C, setrváme abychom dosáhli směsi feritu a austenitu, a potom dochladíme pomalu v peci nebo na vzduchu, zvýšení houževnatosti MTR
- k) Žihání ke zvětšení zrn – ohřev vysoko nad 950° - 1 100°C, pak pomalu ochlazujeme nejlépe v peci, u nízko uhlíkových ocelí, pro zlepšení obrobitelnosti
- l) Žihání izotermické – ohřev nad 740°C, výdrž (krátká, aby se austenit jemně vyrovnal), potom ochlazení pod 720°C, dodržení výdrže teploty – velice důležité, protože se zkracuje doba rozpadu, pro středně velké a malé součásti z uhlíkových ocelí, není vhodné pro ušlechtilé legované oceli
- m) Žihání rozpouštěcí – atypický způsob, ohřev do oblasti austenitu na vyšší teploty, setrvání delší dobu, čímž se rozpustí karbidy obsažené v austenitu, ale zároveň se poruší periodinamická stabilita struktury, po rozpuštění karbidů musíme velice rychle ochlazovat

ŽÍHÁNÍ LITIN

Používají se podobné postupy jako u ocelí

- a) Odstranění vnitřních pnutí – ohřejeme na teplotu 550°C, vydržíme až 8 hod (podle složitosti odlitku a požadavku na stupeň odstranění vnitřního pnutí) a pomalu ochlazujeme na 150°- 250°C v peci a pak dochladíme na vzduchu, pro odlitky ze šedé litiny, kdy nahrazujeme přirozené stárnutí na vzduchu
- b) K zmenšení tvrdosti – ohřev na 600°, výdrž 5 – 8 hod, a pak pomalé ochlazení, vyskytuje se volný cementit, ten ohřejeme na 850°, výdrž až 4 hod, a pak pomalu ochlazujeme na teplotu 600°, výdrž 4 – 12 hod a potom dochlazujeme v peci, k dosažení co nejmenší tvrdosti
- c) Normalizační – pro zvýšení tvrdosti, která vede ke vniku feritickografické struktury
- d) Temperování litiny – dlouhodobé žihání za teploty 930°- 1 000°, potom výdrž, kdy se rozloží cementit na ferit – temperovaný uhlík (vločkový grafit), provádí se bez oduhličení nebo s oduhličením

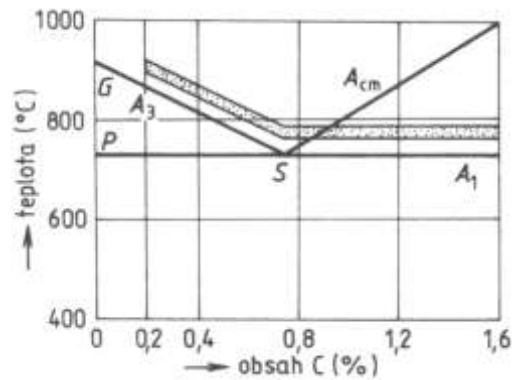
ŽÍHÁNÍ NEŽELEZNÝCH KOVŮ

Rekrytalizační žihání pro obnovení tvárných vlastností po předchozí deformaci za studena. (přeměna mřížky) Ohřev do oblasti rekrytalizace, výdrž, a potom ochlazujeme, rychlost ochlazování není rozhodující.

KALENÍ OCELÍ

Účelem je zvýšení tvrdosti ocele. Je to ohřev součásti na teplotu okolo 800°- 900°C, výdrž na této teplotě a ochlazování je velmi rychlé (nadkritickou rychlostí), získáme nerovnovážnou strukturu. Z toho plyne že kalící teplota musí ležet nad překrytalizačními teplotami oceli. Musíme dodržet teplotu ohřevu, protože kdybychom ohřívali nad 1 000°C rozpustí se jenom cementit, který je již tvrdý.

4 - Tepelne z chemickotepelne zpracovani oceli



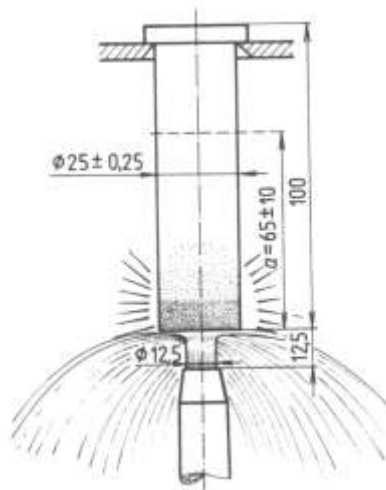
Podmínky kalení:

- *kalitelnost* (= schopnost oceli získat tvrdost) – kalit můžeme oceli, které mají obsah uhlíku vyšší než 0,35%
- *prokalitelnost* (= schopnost získat tvrdost do určité hloubky) – zjišťuje se Jominiho zkouškou => čelní zkouška prokalitelnosti

ČELNÍ ZKOUŠKA PROKALITELNOSTI

- zkušební váleček ohřejeme na teplotu kalení
- upneme do držáku a ochlazujeme proudem vody
- nejrychleji se ochladí čelo válečku se vzrůstající vzdáleností od něj se plynule zmenšuje tvrdost
- po zakalení na povrchu vybrousíme podélně plošku do hloubky $H = 0,4\text{mm}$, až zjistíme tvrdost dle Vickerse (HV)

Výsledkem je křivka prokalitelnosti s níž lze stanovit hloubku prokal. tak, že pro tvrdost odpovídající 50% martenzitu pro daný obsah c, odečteme příslušnou vzdálenost

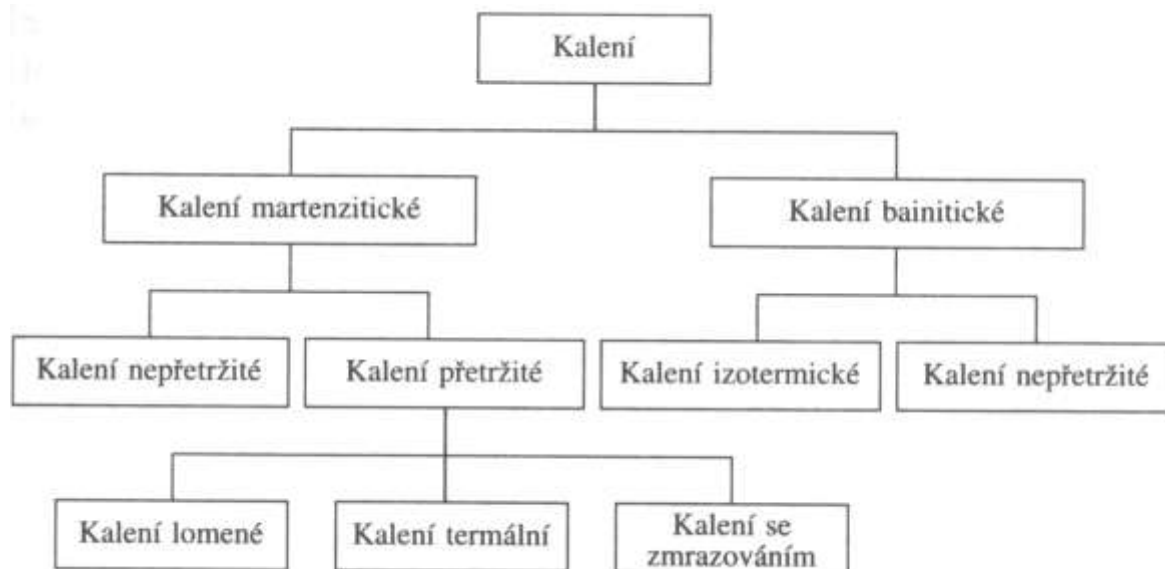


Kalící prostředí

- 1) VODA – nejagresivnější (nejintenzivněji ochlazuje, nejrychleji); tento rozdíl teplot vede ke vzniku vnitřního pnutí => do tohoto kalícího prostředí volíme jen uhlíkové oceli (oceli tř. 12) a tvarově jednoduché součásti. Ochlazování není plynulé. Při vložení do vody se vytvoří parní polštář a rychlost ochlazování se sníží. Při teplotě 400°C se parní polštář rozruší. Účinky, které snižuje intenzitu ochlazování vody – mýdlo, olej.
- 2) OLEJ – je mírnější než voda. Zahřeje se na teplotu 50°C. Ochlazování není plynulé => i zde vzniká parní polštář, který se rozruší při teplotě 500°C. Do oleje kalíme legované oceli.

- 3) SOLNÁ LÁZEŇ – plynulé ochlazování. Na počátku ochlazuje intenzivněji než olej, v oblasti martenzitické přeměny mírněji => vzniká minimální vnitřní pnutí. Kalí se legované oceli a tvarově složitě předměty.
- 4) VZDUCH – nejmírnější kalící prostředí. Ochlazují se pouze samokalitelné oceli. Je tu animální vnitřní pnutí. Kalí se hlavně zápustky.

ZPŮSOB KALENÍ:



MARTENZITICKÉ KALENÍ

Nepřetržitě

Nejrozšířenější způsob; ohřev na kalící teploty, výdrž je krátkodobá, plynulé ochlazování ve vodě nebo v oleji. Čím je vyšší rychlost ochlazování a čím je větší průměr kaleného předmětu, tím větší je rozdíl teplot na povrchu a v jádře => vznik pnutí => kalí se tím hlavně uhlíkové oceli (tř. 12) a tvarově jednoduché součásti

Přetržitě

- *lomené* – použijeme dvě kalící prostředí; první kalící prostředí je intenzivnější, aby nám vznikl martenzit, druhé prostředí je mírnější, abychom snížili vnitřní pnutí (voda + olej; olej + vzduch), použití u nízkolegovaných ocelí
- *termální* - kalícím prostředím jsou solné lázně; lázeň má teplotu cca o 30° vyšší než je teplota počátku martenzitické přeměny. Martenzit start i martenzit finiš závisí na obsahu uhlíku v oceli (0,7% M_f 0°C). V lázni dochází k vyrovnání rychlosti ochlazování mezi povrchem a jádrem. Pak se ten předmět z lázně vyjme a dochlazuje se na vzduchu. Použití – kalíme tvarově složitě předměty z legovaných ocelí.
- *se zmrazováním* – používá se pro nadeutektoidní oceli (valivá ložiska, měřidla, nástroje); ohřev na kalící teplotu, výdrž, ochlazování ve vodě, pak se z vody vyjme a vloží se do zmrazovací lázně (dusík) proto, aby proběhla martenzitická přeměna až do konce, aby byl co nejnižší podíl zbytkového austenitu.

BAINITICKÉ KALENÍ

Ochlazujeme plynule a rychle, aby se austenit rozpadl na bainit, případně bainit + martenzit. Po bainitickém kalení následuje popouštění.

- *izotermické* – kalícím prostředím jsou solné lázně; po izotermickém kalení 500°C se nepopouští, protože bainit má nejenom dostatečnou pevnost a tvrdost, ale i houževnatost.

JOMINIHO ZKOUŠKA

Na čelo standardního válcového vzorku (obr. 3.22), který se v peci ohřeje na teplotu kalení, ochlazuje ve zvláštním přípravku proudem vody. Rychlost ochlazování je největší na kaleném čele a se vzrůstající vzdáleností od čela se plynule zmenšuje. Po zakalení se na povrchu vzorku vybrousí podélně ploška v hloubce 0,4mm, na níž se zjišťuje tvrdost HV v postupně se zvětšujících vzdálenostech od kaleného čela. Zjištěné hodnoty tvrdosti v jednotlivých bodech vyneseme do diagramu a jejich spojením dostaneme křivku prokalitelnosti. Lze z ní stanovit hloubku prokalitelnosti, tak že pro tvrdost odpovídající 50 % martenzitu pro daný obsah uhlíku odečteme příslušnou vzdálenost od čela. S použitím diagramu stanovíme kritický průměr D_0 , který se ještě prokalí. Vzhledem k povolenému rozmezí chemického složení u dané oceli podle materiálového listu určitá ocel bude prokalitelná v určitém rozmezí tzv. pásu prokalitelnosti. U ocelí se zaručenou prokalitelností musí křivka prokalitelnosti každé tavby ležet uvnitř pásu prokalitelnosti. Prokalitelnost lze také zjistit, že z dané oceli zakalíme válečky různého průměru, které napříč rozřízneme (např. tenkým brousicím kotoučem) a na jejich příčném průřezu zjišťujeme průběh tvrdosti.

CHEMICKO-TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Podstatou všech způsobů chemicko-tepelného zpracování je úmyslně vyvolaná změna chemického složení oceli v povrchových vrstvách, které se projeví zvýšenou tvrdostí buď přímo (*nitridování*) nebo po následujícím kalení (*cementování*)

Hlavním účelem chemicko-tepelného zpracování je zvýšení tvrdosti povrchu a jeho odolnosti proti opotřebení a i únavě (stejně jako u povrchového kalení). Jádru součásti má tvrdost mnohem nižší a je houževnatější. Některé další způsoby chemicko-tepelného zpracování (hliníkování, difúzní chromování) zvyšují hlavně odolnost součástí proti korozi a proti žáru.

Změny chemického složení povrchové vrstvy se dosahuje ohřevem, při němž se povrch obohacuje *uhlíkem => cementování, dusíkem => nitridování, sírou => sulfidování*, nebo kombinací těchto prvků.

Dělení podle prvků

- uhlíkem (cementování)
- dusíkem (nitridování)
- chromem (inchromování)
- hliníkem (hliníkování/alitování)
- kadmíem (kadmiování)
- borem (boridování)
- sírou (sulfidování)
- zinkem (šerardování)
- kombinacemi

CEMENTOVÁNÍ

Je to sycení povrchu ocelového předmětu uhlíkem obsaženým v tuhém, kapalném nebo plynném prostředí, při teplotě nad A_{c3} . Obsah uhlíku má být do 0,80% . Cementovat můžeme ocel s nižším obsahem uhlíku než je 0,35 % (oceli 12 010, 12 020, 14 220).Hloubka dané vrstvy je nejčastěji do 1,5mm. Pro cementování jsou vhodné oceli s obsahem uhlíku 0,1 až 0,2 % => cementační oceli.

Ohřev materiálu je na cementační teplotu 850 až 950°C. Uhlík se slučuje s železem na povrchu oceli a vytváří karbid železa, který se v železe rozpouští a difúzí proniká do podpovrchové vrstvy. Tím vzniká na povrchu měkké a houževnaté oceli neoddělitelná a po kalení tvrdá vrstva, která pozvolně přechází v základní kov.

4 - Tepelne z chemickotepelne zpracovani oceli

Prostředí: sytit můžeme oceli v plynném, v tuhém i kapalném prostředí.

- *Tuhé prostředí* = dřevěné uhlí + uhlíčitán barnatý - součást vložíme do žáruvzdorné krabice a zasypeme směsí, uzavřeme víkem a kvůli lepšímu utěsnění se pomaže jilem.
- *Kapalné prostředí* = kyanid + kyanatan
- *Plynné prostředí* = uhlovodíky

Po cementování vždy následuje kalení. Zakalí se jen povrchová vrstva, jádro zůstává měkké a houževnaté.

NITRIDOVÁNÍ

Je to sycení povrchu oceli dusíkem.

Prostředí:

- *Kapalné prostředí* = kyanid
- *Plynné prostředí* = čpavek

Hloubka vrstvy je 0, 5 mm.

Teplota ohřevu je 500° - 550°C.

Nitridy jsou tvrdé, proto nekalíme.

Před nitridováním zušlechťujeme.

Nitridování se používá u nadeutektoidních ocelí (řezné nástroje). Pro zvýšení odolnosti proti korozi se přidává do lázni Al a Cr, pro součásti vystavené velkému otěru a cyklickému namáhání

NITROCEMENTOVÁNÍ

Je to obohacování povrchových vrstev oceli současně uhlíkem i dusíkem. Ocel je nutno poté kalit do oleje. Nitrocementovaná vrstva má vysokou tvrdost a otěru vzdornost. Sycená vrstva přechází plynule do jádra. Nitrocementace plynem má nejširší pole uplatnění pro svou menší pracnost a lepší hygienické prostředí. Malé součásti (OK, hřídele) a MTR s obsahem C – 0,4%

KARBONITRIDOVÁNÍ

Při ohřevu na teploty 650 až 700° C se povrch oceli ve vhodném prostředí obohacuje dusíkem a uhlíkem. V jádře při uvedených teplotách k přeměně nedochází. Vzhledem k malým deformacím se tento způsob zpracování používá u ozubených kol. Odpadá kalení.

SULFIDOVÁNÍ A SULFONITRIDOVÁNÍ

Sulfidování je obohacování povrchu ocelové součásti sírou, dusíkem a C. Teplota lázně je 550° - 660° C a předměty se v lázni ponechají 30 minut - 2 hodiny. Tam, kde chceme mít dobré kluzné vlastnosti.

BORYDOVÁNÍ

Účelem je zvýšit odolnost povrchu ocelových součástí, sycení borem. Ohříváme na teplotu 900° - 1 050°C. Povrchová vrstva je velmi tvrdá. Není třeba kalit.