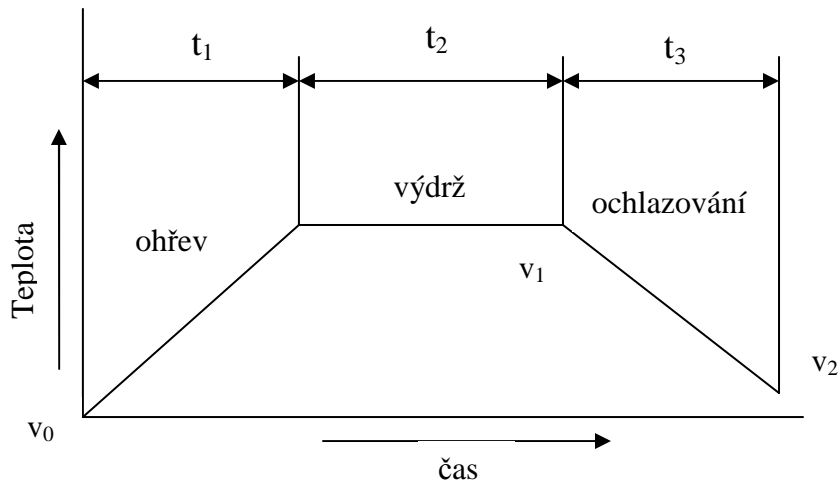


8. Tepelné zpracování ocelí



Správným využitím vlastností kovů a slitin lze např. snížit hmotnost stroje nebo strojního zařízení, anebo použít materiály levnější. Obojí vede ke zvýšení ekonomie výroby.

Tepelným zpracováním rozumíme všechny postupy, při nichž předmět nebo materiál v tuhém stavu záměrně ohříváme a ochlazujeme určitým způsobem tak, aby získal požadované vlastnosti.

Tepelným zpracováním ovlivňujeme mechanické vlastnosti (**pevnost, tvrdost, tažnost, vrubovou houževnatost, odolnost proti opotřebení...**) V mnoha případech je s tím spojena změna struktury, proto se vyžaduje znalost rovnovážných diagramů a fázových změn.

Protože dosažení rovnovážného stavu při fázových změnách v tuhém stavu je zcela určováno **difuzí**, bude pro výsledek tepelného zpracování rozhodující, jaký vliv bude mít průběh difúze. Průběh difúze je ovlivněn jednak teplotou a jednak výdrží (dobou) na určité teplotě, při níž ještě difúze může probíhat. Právě způsob ovlivnění difúze dělí tepelné zpracování do dvou základních skupin:

1. **žiháním** – Způsob u kterého je **nebržděná** difuze
2. **kalení** – Způsob u kterého je **omezena** difuze

- **Ohřev**

Austenitizace – při postupném ohřevu nad teploty a_1 a a_m získáme homogení austenit

U eutektoidní oceli vznikají při dosažení teploty a_1 austenitická zrna na zárodcích z lamel perlitického feritu a cementitu.

U podeutektoidní oceli dochází nejprve k přeměně perlitu na nehomogení austenit a teprve pak následuje přeměna feritu na austenit.

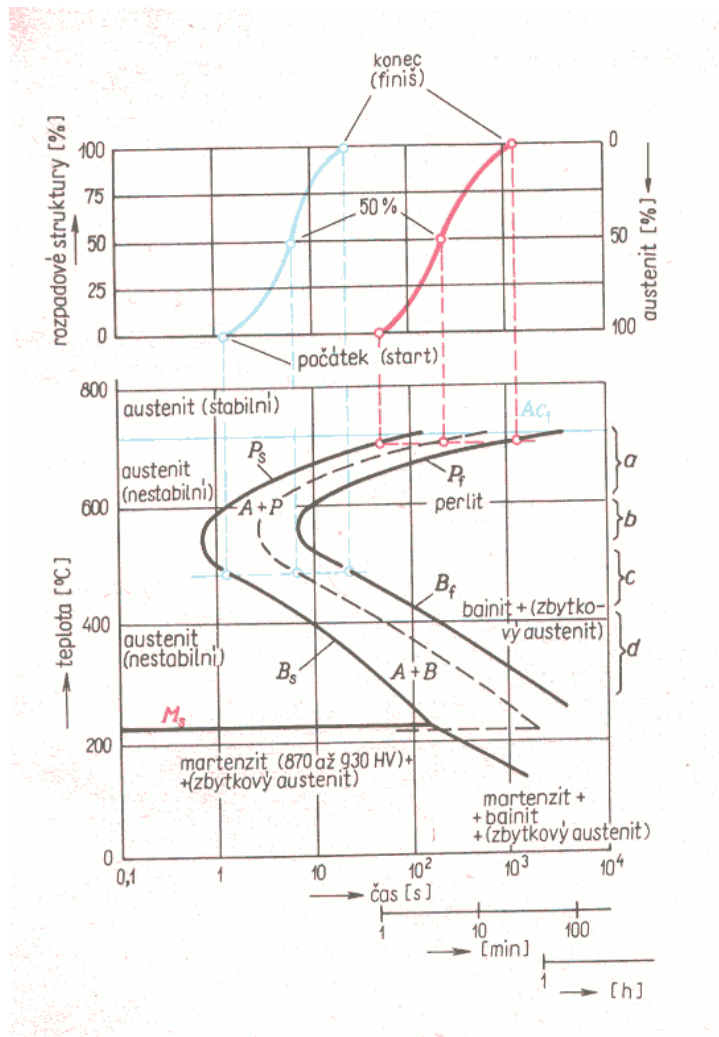
U nadeutektoidní oceli je průběh přeměny obdobný jako u podeutektoidní, jen s tím rozdílem, že teplota a_3 je nahrazena teplotou a_m a ferit sekundárním cementitem.

- **Ochlazení**

1. **Izotermický rozpad austenitu** - slitina se ohřeje do oblasti austenitu, ponechá se na této teplotě dokud neproběhne úplná austenitizace a pak se prudce ochladí na určitou teplotu. Tu pak udržujeme konstantní a sledujeme rozpad austenitu v závislosti na čase.

2. **Anizotermický rozpad austenitu** - slitina se z austenitizační teploty plynule ochlazuje (v praxi nejčastější případ) a sleduje se průběh rozpadu.

Izotermický rozpad austenitu, diagram IRA



Přeměna austenitu na perlit trvá určitou dobu a průběh rozpadu můžeme pro danou teplotu vyjádřit křivkou závislosti procenta vzniklých rozpadových struktur na čase.

Rozpad austenitu začne v bodě 1 až po tzv. *inkubační době*, která je nutná pro vznik zárodků nové fáze. Vlastní rozpad trvá určitou dobu a končí v bodě 3.

Perlitická přeměna

Za teplot nad nosem křivky rozpadu probíhá rozpad austenitu podle zákonů vzniku perlitu. Čím více se bude teplota rozpadu blížit k teplotě nosu křivky, tím jemnější bude vzniklý lamelární perlit. Čím více se bude teplota izotermického rozpadu blížit teplotě a₁, tím bude perlit hrubozrnější.

Bainitická přeměna

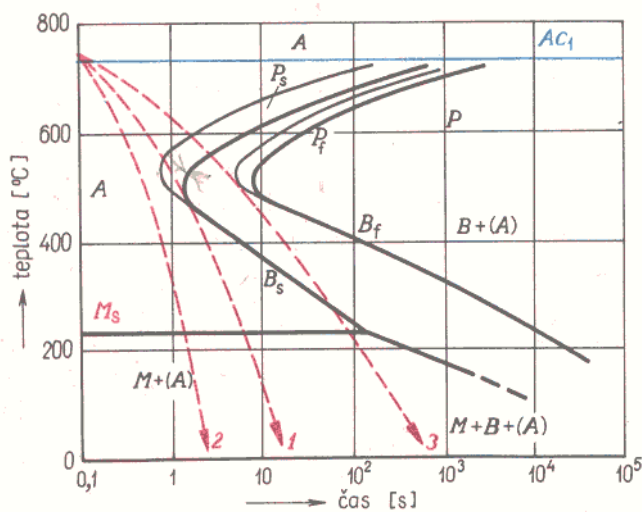
Pod nosem křivky v důsledku snížené difúze probíhá rozpad austenitu odlišně od perlitické přeměny. Čím bude teplota izotermického rozpadu nižší, tím výrazněji vzniká z austenitu ferit a teprve potom vzniká z přesyceného feritu cementit. Bainitická přeměna se ukončí po určité době, i když zůstane určitý podíl austenitu nepřeměněn. Tomuto austenitu říkáme **zbytkový austenit**, který snižuje pevnost bainitu. Množství Zbytkového austenitu je závislé na složení oceli.

Martenzitická přeměna

Ochladíme-li prudce austenit na teplotu pod M_s , jsou zcela potlačeny difúzní jevy a proběhne pouze přeměna mřížky gama na alfa. Navenek se projeví **velkou tvrdostí a křehkostí**. Takto vzniklá struktura se nazývá martenzit.

Anizotermický rozpad austenitu, diagram IRA

Anizotermický rozpad austenitu nastává při plynulém ochlazování. Přeměny probíhají podobně jako při IRA. Výsledná struktura je však tvořena směsí rozpadových struktur, vznikajících při různých teplotách podle rychlosti ochlazování. Stejně jako u IRA lze i pro anizotermický rozpad zjistit pro každou rychlost ochlazování průběh rozpadu, tj. počátek a konec jednotlivých přeměn. Z nich pak sestojíme diagram ARA. Při plynulém ochlazování se perlitická přeměna posouvá k delším časům, jinak jsou si diagramy IRA a ARA podobné.



křivka 1: Austenit zůstane zcela zachován až do teploty M_s , pod níž dojde k martenzitické přeměně. Proto tuto rychlost nazýváme **horní kritickou rychlostí ochlazování**, neboť je to nejnižší rychlost podmiňující vznik prakticky jen martenzitické struktury. Bude-li rychlost ochlazování menší než dle křivky 1, pak příslušná křivka protne čáru P_s a část austenitu se rozpadne na perlit a bainit a zbytek na martenzit.

křivka 3: Je **spodní kritickou rychlostí ochlazování**, protože při větší rychlosti se ve struktuře objeví martenzit.

křivka 2: Odpovídá přibližně rychlosti ochlazování na povrchu předmětu po ponoření do vody

Žihání

Žihání je způsob tepelného zpracování, kterým chceme u součásti dosáhnout stavu blízkého stavu rovnovážnému. Podstatou je rovnoměrný ohřev součásti na teplotu žihání, setrvání na této teplotě po určitou dobu, a potom velmi pomalé ochlazování.

Ocel můžeme žihat buď bez překrytí (teplota nepřekročí teplotu A_1), nebo s překrytím (teplota překročí teplotu A_1 , A_3 , A_m), anebo kombinovaně.

Při rekrytalizaci jde o regeneraci zrn beze změny krystalografické mřížky.

Žihání rekrytalizační

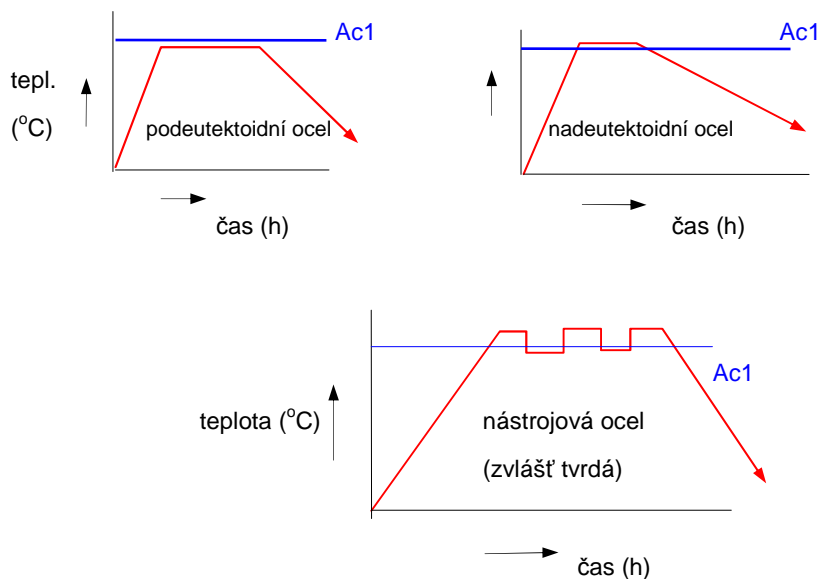
Slouží k obnovení tvárnosti po předchozím zpevnění oceli tvářením za studena. Je to ohřev na teplotu v oblasti rekrytalizace, výdrž na této teplotě a ochlazení, přičemž rychlost ochlazování není rozhodující. Aby nedošlo k okujení povrchu, žiháme pod ochrannou atmosférou.

Žihání ke snížení pnutí

Používáme ke snížení vnitřních pnutí, která vznikají ve výrobcích např. po svařování, obrábění apod.

Žihání na měkko

Používáme u nástrojových ocelí a některých konstrukčních slitinových ocelí. Účelem je dosažení nejnižší možné tvrdosti a struktury s převážně globulárními karbidy.



Žihání normalizační

Dochází k překrytalizaci a následuje ochlazení na klidném vzduchu. Výsledkem je jemnozrnná struktura s vyšší pevností. U tuhých součásti může ve struktuře vzniknout i bainit, někdy i částečně martenzit.

Žihání základní

Je modifikací žihání normalizačního. Probíhá za stejných podmínek jako žihání normalizační, ale ochlazování se děje pomalu v peci rychlostí pod 200 C/h

Žihání homogenizační

Používá se u ocelových ingotů. Po homogenizačním žihání žiháme normalizačně, abychom docílili zjemnění struktury.

Žihání izotermické

Slouží k témuž účelu jako žihání základní, popř. na měkko; může však být hospodárnější, neboť žihací doby jsou kratší

Kalení

Účelem kalení je zvýšit tvrdost oceli. Je to ohřev součásti na teplotu nad A_{C3} popř. A_{C1} , výdrž na této teplotě a ochlazování kritickou rychlostí, čímž se potlačí vznik feritu a

perlitu a zachovaný nestabilní austenit při teplotách pod 500 C se přemění na bainit nebo martenzit.

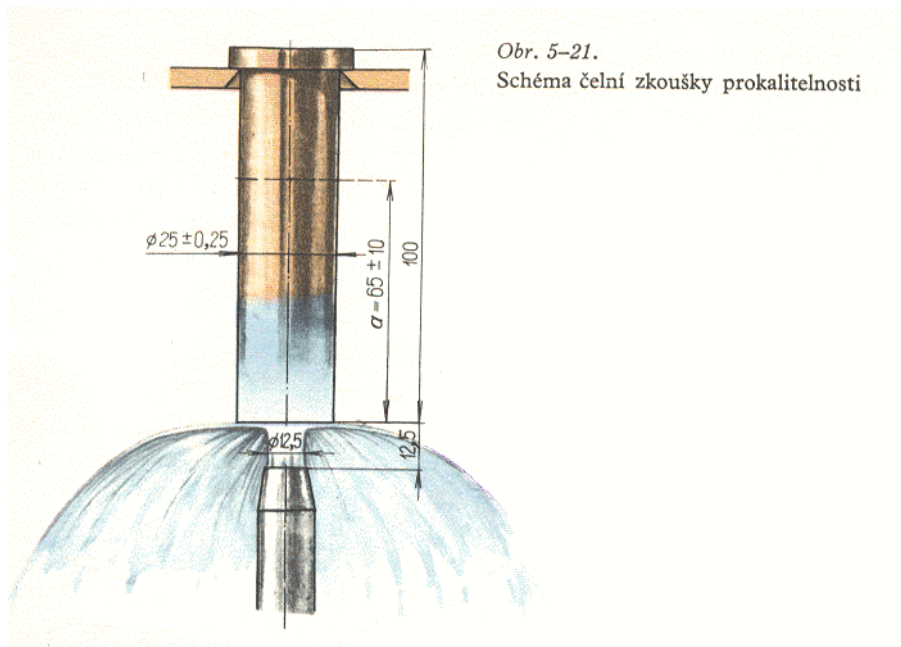
Kalitelnost

Je to schopnost oceli dosáhnout kalením zvýšení tvrdosti. Přitom nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli po kalení je závislá především na obsahu uhlíku. Při nízkém obsahu uhlíku se nedosáhne vysoké tvrdosti.

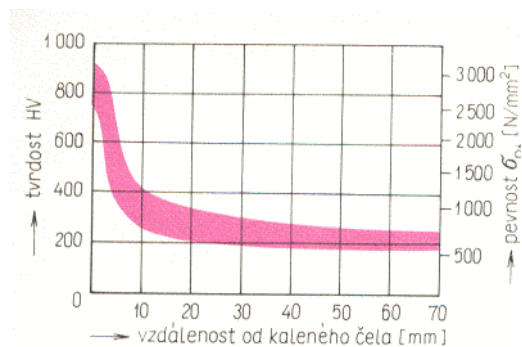
Prokalitelnost

Je schopnost dosáhnout po kalení v určité hloubce pod povrchem tvrdosti odpovídající kalitelnosti dané oceli při 50% martenzitu ve struktuře. Prokalitelnost bude v první řadě závislá na tvaru diagramu ARA.

Na tvar diagramu ARA mají velký vliv přísadové prvky a budou proto určovat prokalitelnost ocelí. Veškeré prvky, s výjimkou kobaltu, které se rozpouštějí v austenitu, zpomalují rozpad austenitu, prodlužují inkubační doby a posunují rozpadové křivky doprava k delším časům. Snižují tedy kritickou rychlost ochlazování.



Při této zkoušce se čelo standardního válcového zkušebního vzorku, který se v peci ohřeje na kalící teplotu, ochlazuje ve zvláštním přípravku proudem vody. Zjištěné hodnoty tvrdosti v jednotlivých bodech vyneseme do diagramu a jejich spojením dostaneme tzv. **křivku prokalitelnosti**.



Kalící prostředí

Pro oceli s malou prokalitelností, tj. s krátkou inkubační dobou podle diagramu ARA, musíme volit kalící prostředí intenzivněji působící.

Voda - nejstarší kalící prostředí. Ochlazení však neprobíhá plynule.

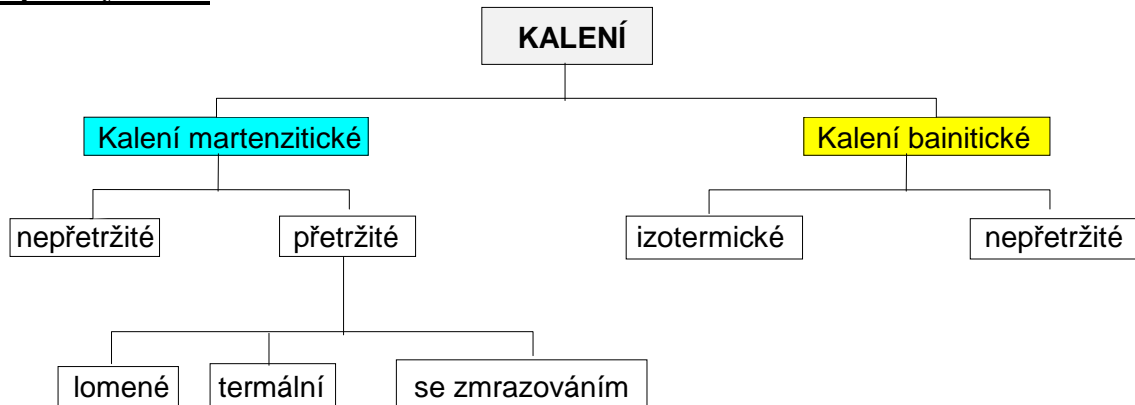
Olej - mnohem mírnější prostředí, ale ochlazování v nich proniká podobně jako u vody.

Solné lázně - vyznačují se plynulým ochlazováním.

Kovové lázně - používáme jen v některých případech, podobné vlastnosti jako solné.

Vzduchem - kalí se hluboko prokalitelné oceli, např. rychlořezné oceli.

Způsoby kalení



Chemické tepelné zpracování

Cementování

Jeden z nejpoužívanějších způsobů chemicko-tepelného zpracování. Při něm se povrch ocelového předmětu z měkké oceli (s obsahem uhlíku max. 0.2%) nasycuje uhlíkem v pevném, kapalném nebo plyném prostředí.

Jako kapalné cementační prostředí se používají **solné lázně** obsahující kyanid sodný.

Po cementaci musíme součásti ještě kalit, aby nauhličená vrstva dosáhla potřebné tvrdosti a odolnosti proti opotřebení.

Nitridování

Je to sycení povrchu oceli dusíkem, který reaguje se železem a s jinými úmyslně přidávanými prvky (Al, Cr) a vytváří tím tvrdé nitridy, které způsobují značné zvýšení tvrdosti povrchové vrstvy.

V plyném prostředí je zdrojem dusíku **čpavek**, který ve styku s povrchem součásti při nitridačních teplotách disociuje na atomární dusík a vodík.

Vzhledem k nízkým nitridačním teplotám mohou být součásti před nitridací plně zušlechťeny a vzhledem k neoxidačnímu prostředí obrobenej na hotovo.

Nitrocementování

Nitrocementuje se v kyanidových lázních při teplotě 750 až 850 C, nebo v plyné cementační atmosféře s přísadou čpavku při teplotách 800 až 880 C. Dojde k sycení povrchu dusíkem a uhlíkem současně tak, že **čím vyšší teplota, tím víc převládá nasycení uhlíkem a naopak**. Po nitrocementaci se součásti kalí do oleje, což snižuje pnutí. Po kalení se součásti popouštějí stejně jako po cementaci.

Kromě uvedených způsobů se někdy používá tzv. **sulfonitridace**. Je to sycení povrchu sírou, uhlíkem a dusíkem. Tyto vrstvy se vyznačují výbornými kluznými vlastnostmi i při špatném mazání.