

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

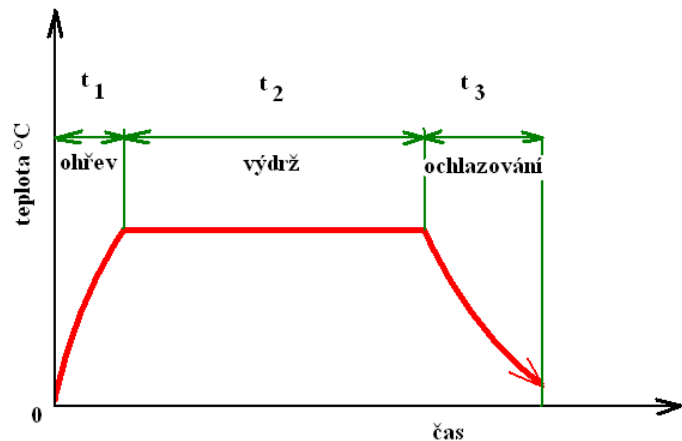
Projekt: Inovace oboru Mechatronika pro Zlínský kraj Registrační číslo:
CZ.1.07/1.1.08/03.0009

Základy metalografie a tepelné zpracování

Mechanické vlastnosti slitin železa jsou dány jejich chemickým složením. Velmi výrazně na ně působí zejména uhlík a rozhodným způsobem ovlivňuje jejich výslednou strukturu a vlastnosti ocelí, litin i barevných kovů.

Základy metalografie

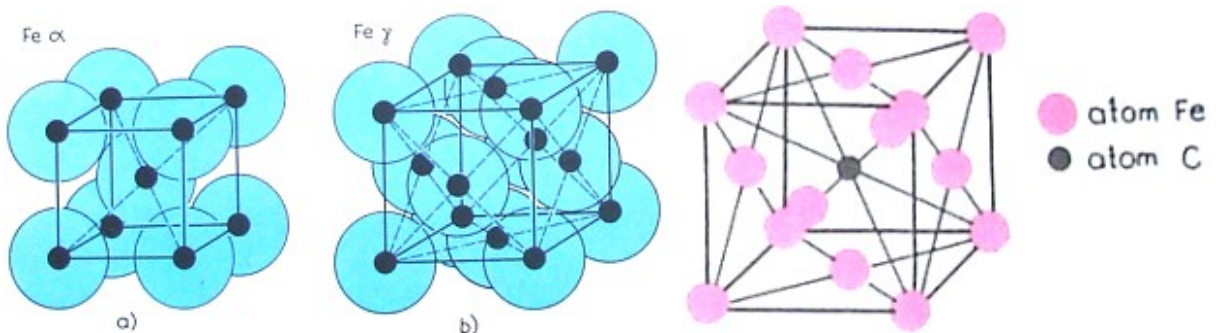
Dva základní úkony při tepelném zpracování oceli jsou ohřev a ochlazování tak, aby se dosáhlo požadovaných vlastností. Přitom se nemění tvar ani skupenství materiálu. Vlastnosti materiálu jsou určovány změnou jeho vnitřní stavby, které se dosahuje různými způsoby ohřevu materiálu a ochlazování.



Všechny kovy a slitiny jsou v pevném stavu složeny z krystalů. Uspořádání krystalů říkáme struktura. Jejím studiem se zabývá metalografie.

Základní stavební částice krystalické látky jsou atomy, které jsou u různých prvků různě velké. V krystalické látce jsou atomy rozloženy v prostoru podle přesného pořádku, který se nazývá mřížka. Ta může být u čistého železa:

- prostorově středěná (za teplot do 910°C)
- plošně středěná (od 910 – 1400°C)



Atomy uhlíku jsou tak malé, že uhlík může vyplnit mezerové tuhé roztoky.

Austenit – intersticiální tuhý roztok C v železe γ . V závislosti na C vzniká mezi teplotami 723 – 1492°C. Austenit lesklý, světlý, velmi dobře tvárný, houževnatý a nemagnetický.

Ferit - intersticiální tuhý roztok C v železe α . Ferit je světlý, měkký, tvárný a za teplot nižších než 768°C, je magnetický

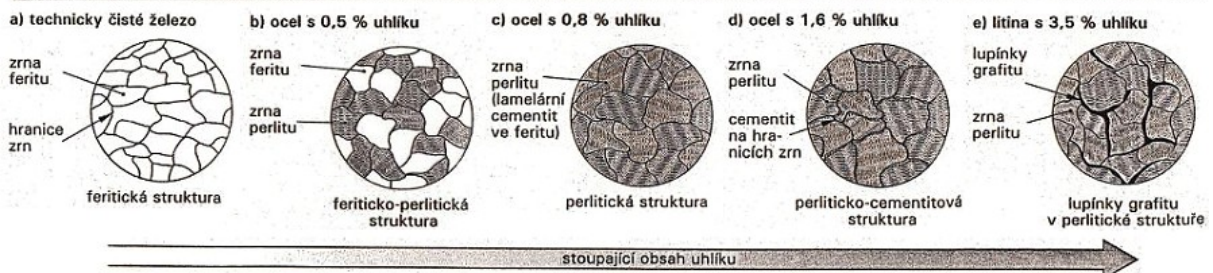
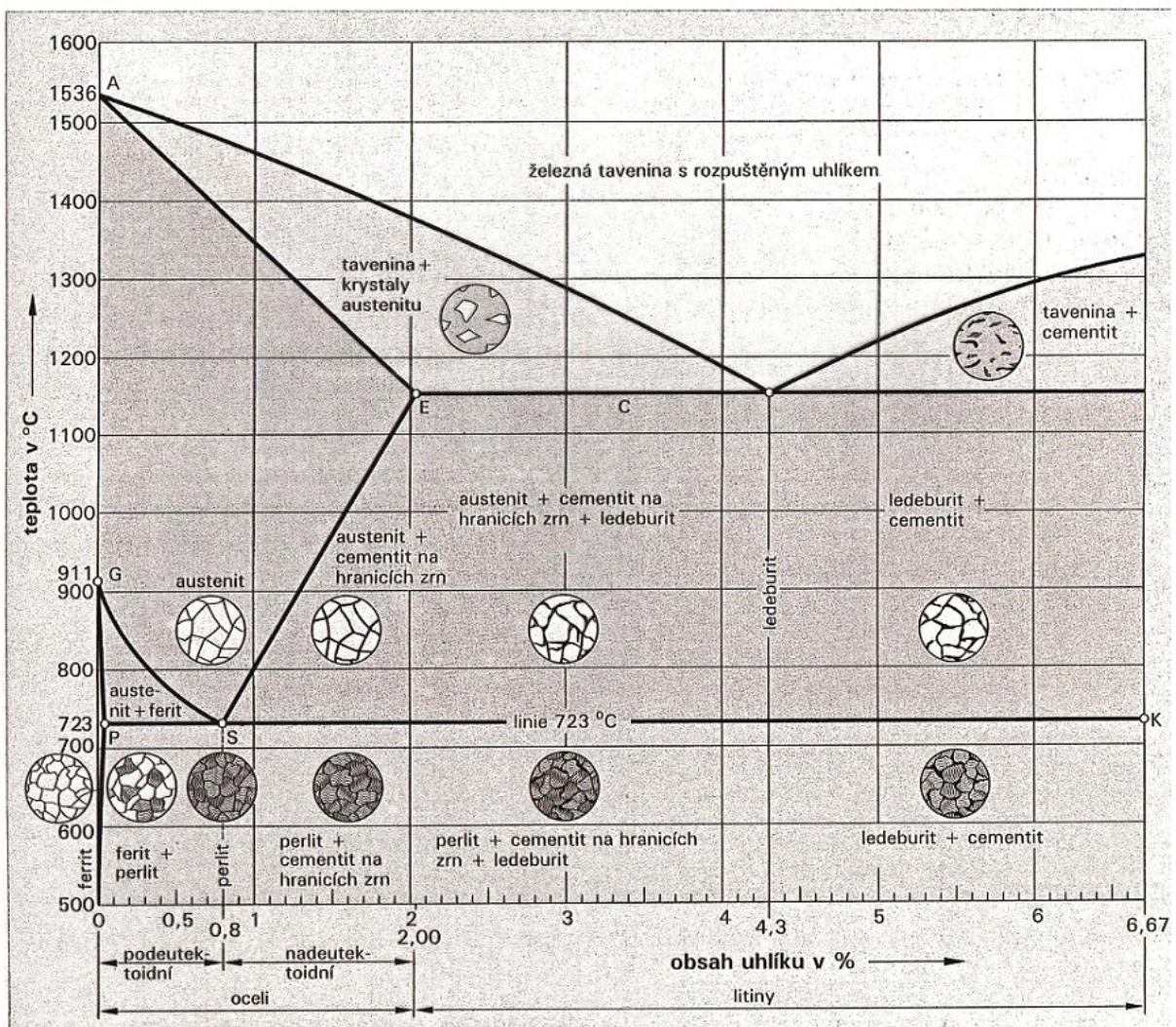
Cementit – je karbid železa (Fe_3C), Je třpytivě bílá, velmi tvrdá a křehká chemická sloučenina železa s uhlíkem

Perlit – je složen z jemných destiček cementitu a feritu. Je perleťově lesklý, poměrně pevný, málo tvárný.

Vzájemná velikost teploty, chemického složení slitiny a druhu její stavby se graficky znázorňuje tzv. rovnovážným diagramem.

Rovnovážný diagram Fe - Fe₃C

Diagram slitin železa s uhlíkem a oblasti struktur ocelí a litin



Podeutektoidní ocel má při pozvolném chladnutí z teplot ležících nad teplotou přeměny strukturu tvořenou zrny feritu a laminárního perlitu.

Nadeutektoidní ocel má při pozvolném chladnutí z teplot ležících nad teplotou přeměny strukturu tvořenou laminárním perlitem a cementitem.

Druhy tepelného zpracování:

1. **Žihání** (ochlazení je tak pomalé, že nevzniká zákalná struktura)
2. **Kalení** (ohřev nad překryštalizační teplotu a ochlazení je tak prudké, aby vznikla zákalná struktura)
3. **Popouštění**

Druhy chemicko tepelného zpracování:

1. **Cementace**
2. **Nitridace**
3. **Nitrocementace**

Tepelné zpracování

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

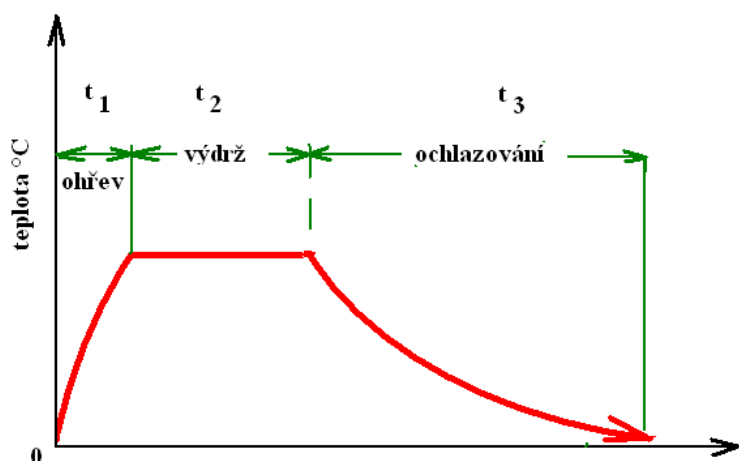
Tepelným zpracováním ovlivňujeme mechanické vlastnosti (**pevnost, tvrdost, tažnost, vrubovou houževnatost, odolnost proti opotřebení**) V mnoha případech je s tím spojena změna struktury, proto se vyžaduje znalost rovnovážných diagramů a fázových změn. Protože dosažení rovnovážného stavu při fázových změnách v tuhém stavu je zcela určováno **difúzí**, 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.

1) Žihání

Žihání je způsob tepelného zpracování, kterým chceme u součásti dosáhnout stavu blízkého stavu rovnovážnému. Ocel můžeme žihat buď bez překryštalizace (teplota nepřekročí teplotu A1), nebo s překryštalizací (teplota překročí teplotu A1, A3, Am), anebo kombinovaně.

Při rekrystalizaci jde o regeneraci zrn beze změny krystalografické mřížky.

Podstata žihání – ohřejeme na požadovanou teplotu, výdrž na teplotě a pozvolné ochlazení

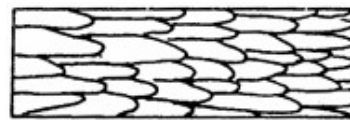
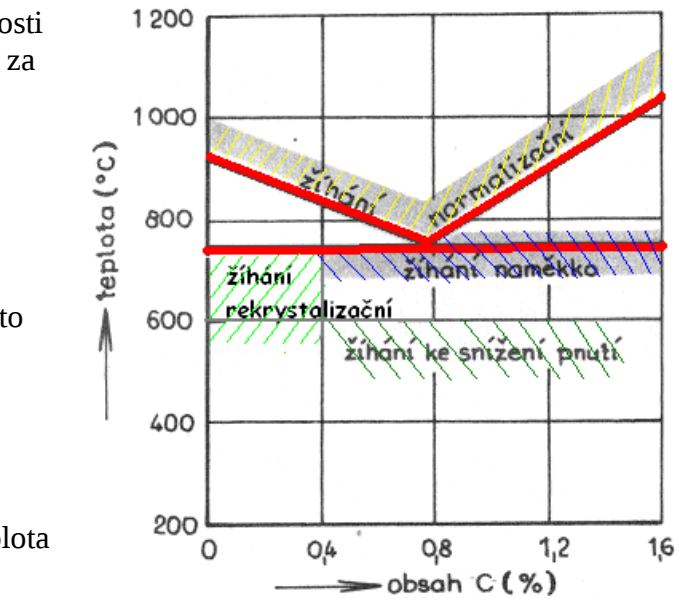


Druhy žíhání

a) **Naměkko** – účelem je zmenšení pevnosti a tvrdosti, zlepšení schopnosti ke tváření za studena.

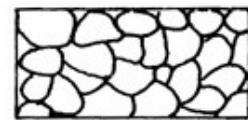
b) **Na odstranění vnitřního pnutí** – v součástkách dochází k hromadění vnitřního pnutí např. po obrábění, po tepelném zpracování, po svařování, po tuhnutí odlitku - to odstraníme právě tímto způsobem žíhání

c) **Rekrystalizační** – Při zotavení, které probíhá všeobecně za nízkých teplot (teplota 550° až 700°C), zůstává mikrostruktura deformovaného kovu nezměněna a také orientace mřížky v jednotlivých zrnech zůstává v podstatě zachována. Ani hustota mřížkových poruch se výrazněji nemění. Při tomto pochodu mizí původní deformovaná zrna a vznikají zrna nová, jejichž tvar, velikost a orientace mřížky jsou odlišné od zrn původních provádíme u oceli tvářené za studena – obnovuje se zrna (po hlubokém tažení plechů apod.)



Struktura:

a před rekrystalizací



b po rekrystalizací

d) Normalizační

Normalizační žíhání je nejčastěji používaným a nejdůležitějším postupem. Většinou se užívá pro podeutektoidní oceli. Jeho cílem je dosažení rovnoměrné a jemné struktury bez vnitřních pnutí a s dobrými mechanickými vlastnostmi. Žíhání je založeno na skutečnosti, že při překrystalizaci feritu a perlitu na austenit dojde k výraznému zjemnění zrna oceli. Teplota ohřevu je 30 až 80 °C nad čarami A_{c3} nebo A_{cm} . Prohřátí musí být dostatečně dlouhé, aby vznikl homogenní austenit. Potom se materiál ochladí na vzduchu

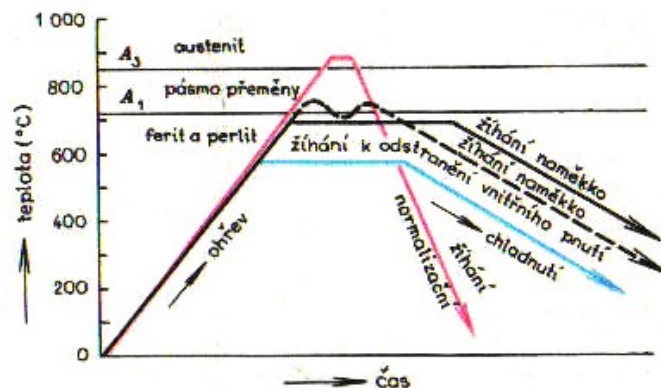
- provádí se téměř vždy u výlisku a výkovku

- odstraňuje se nerovnoměrnost struktury např. při předchozím tváření



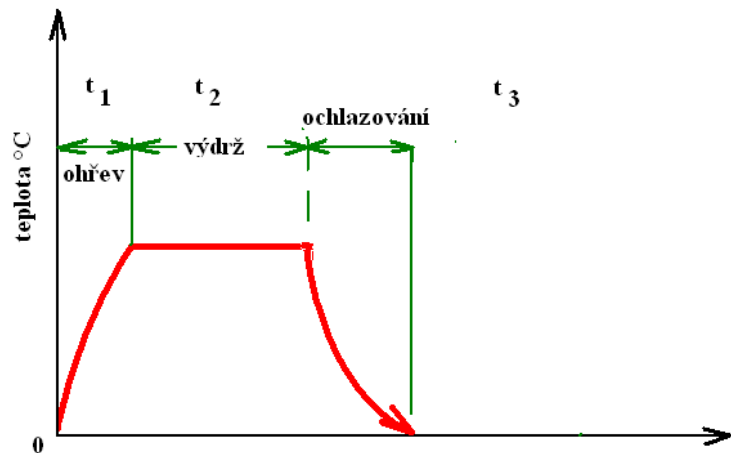
Žihací a kalicí pec

Průběh času a teploty při žíhání



2) Kalení

Účelem kalení je zvýšit tvrdost součástí. Principem kalení je převedení perlitického nebo perliticko feritického slohu (struktury) na sloh martenzitický nebo bainitický. Z toho vyplývá, že kalitelné jsou oceli obsahující alespoň 0,3 % uhlíku. U ocelí s obsahem uhlíku menším se vytváří jen malé množství martenzitu, které se v tvrdosti finální struktury výrazně neprojeví (martenzit je přesycený tuhý roztok uhlíku v železe α). Proto jsou oceli s obsahem uhlíku nižším než 0,2 % označovány jako nekalitelné.



Podstata kalení :

Zahřejeme součást na požadovanou teplotu, výdrž na teplotě a následné ochlazení

Chladicí prostředí

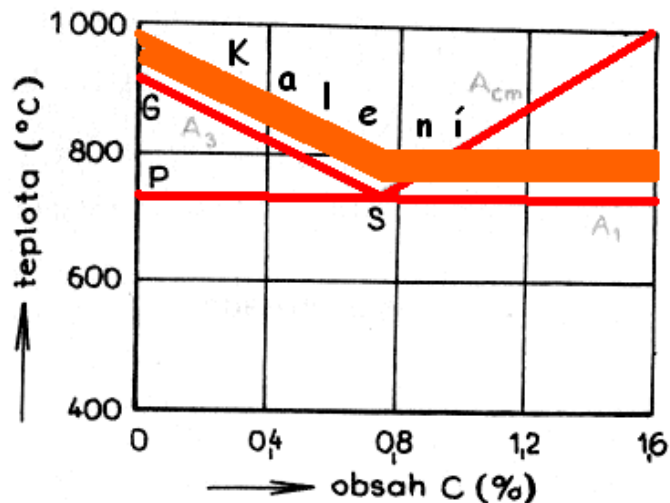
- VODA – prudké ochlazení působí trhliny
- OLEJ – nejčastější
- VZDUCH – samokalitelné oceli
 - rozhodujícím prvkem pro kalení je množství uhlíku
 - jestliže je obsah uhlíku malý, součást nelze zakalit
 - čím má ocel více uhlíku, tím je tvrdší a pevnější, naopak klesá tvrdost a houževnatost

Princip kalení

Při kalení se přeměňuje měkký a houževnatý austenit v martenzit. Uhlík v železe je násilně uzavřen, deformuje krystalickou mřížku, působí velká pnutí a velkou tvrdost. Vnitřní pnutí mohou vést k deformacím, trhlinám nebo lomům.

Kromě tvrdosti se zakalením zvětšuje i pevnost v tahu, ale značně klesá vrubová houževnatost. Na tvrdost ocelí po zakalení má největší vliv obsah uhlíku rozpuštěného v austenitu v okamžiku zakalení.

Přísada vhodných legujících prvků má na zvýšení tvrdosti jen menší vliv. Zmenšuje hlavně rychlost ochlazování, což je nutné k dosažení martenzitické struktury (samokalitelné oceli)



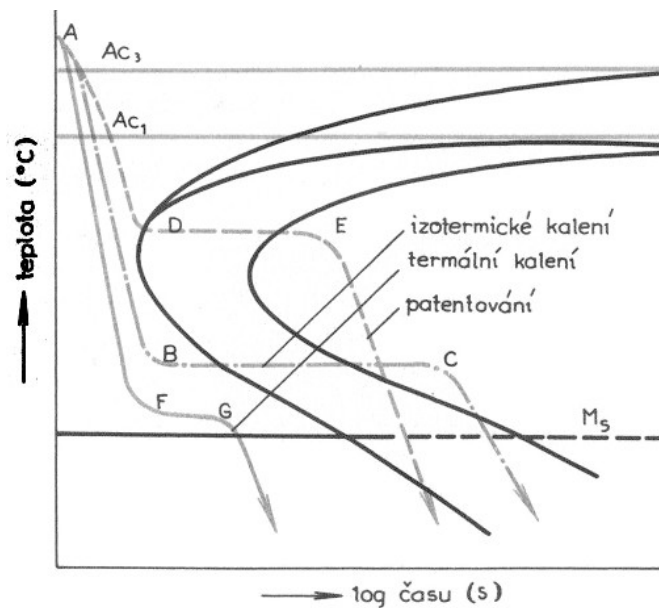
IRA diagram

Izotermický rozklad austenitu

Diagramy IRA se uplatňují při tepelném zpracování, usnadňují volit takové tepelné zpracování, které umožňují získat požadovanou strukturu nejvhodnějším způsobem.

Martenzit - je přesycený tuhý roztok uhlíku v železe alfa vyznačující se vysokou tvrdostí a pevností.

Bainit – feriticko- karbidická směs jehlicovitého tvaru, může být jemný i hrubý, poměrně tvrdý, tvárný, houževnatý a feromagnetický.



Izotermické kalení – austenit se mění na bainit. Vhodné pro kalení pružin

Patentování – tažení drátů, po tažení průvlakem – rekrytalizační žíhání, následuje olověná lázeň, (prodleva), doba průchodu musí být tak dlouhá, aby se rozpadl na velmi jemný perlit

Termální kalení – je vhodné zejména pro nástroje a jeho účelem je omezení pnutí vznikající při kalení.

Povrchové kalení

Účelem je dosažení dostatečně tvrdého povrchu, odolného proti otěru a opotřebení, při poměrně měkčím a houževnatějším jádru.

Pro povrchové kalení jsou vhodné oceli uhlíkové a některé slitinové, obsahující 0,45 – 0,60% uhlíku. Tvrdá martenzitická struktura zakaleného povrchu pak pozvolna přechází do žíhaného nebo zušlechtěného jádra.

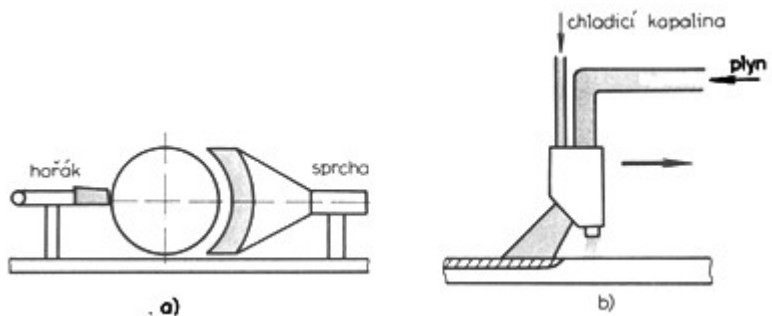
Způsoby kalení

- a) plamenem
- b) vysokofrekvenčně

a) plamenem

K ohřevu se používá vysokotlakých hořáků s kyslíkoacetylenovým, svítiplynovým nebo propanbutanovým plamenem,

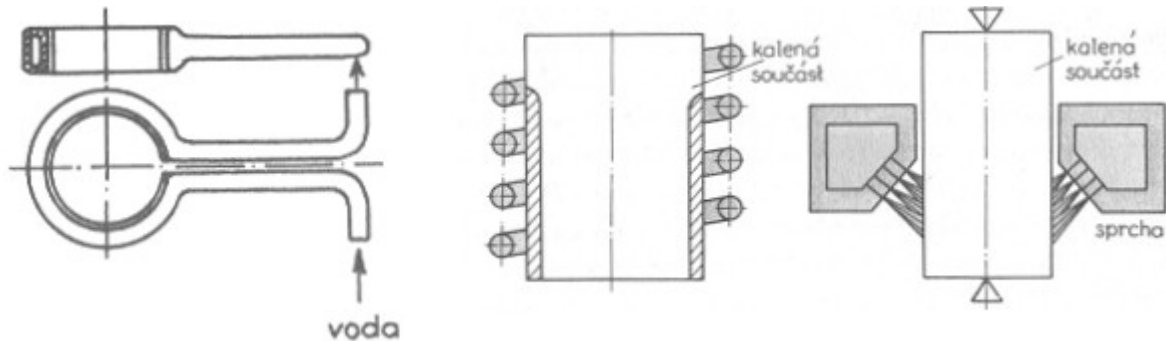
Při jednorázovém kalení se ohřívá rychle rotující součást a sprchou se zakalí celý povrch součásti. Při postupném kalení se je pomalu postupující hořák následován vodní sprchou



<http://www.youtube.com/watch?v=IYrUJiZw3Zg&feature=related>

b) vysokofrekvenční povrchové kalení

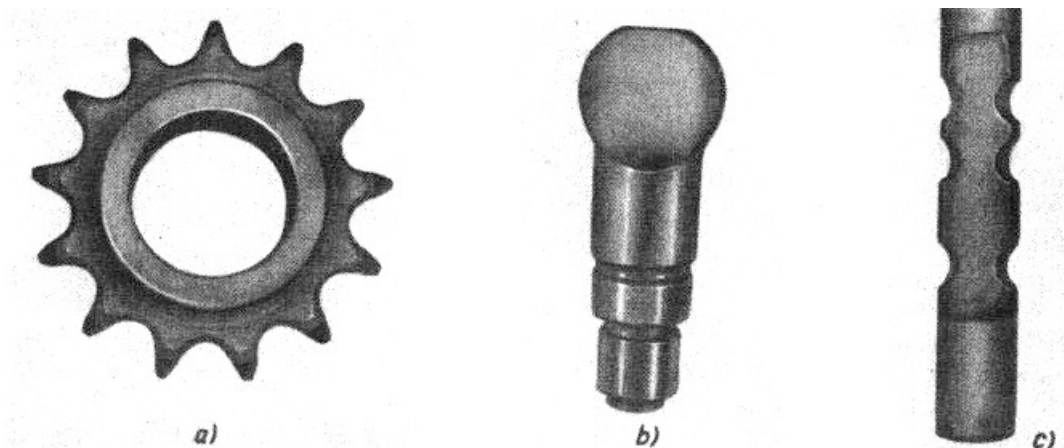
Předmět, který se má kalit se vkládá do cívky zvané induktor. V povrchu se indukuje vysokofrekvenční proud, ohřev je velmi rychlý, po ohřevu následuje ihned zakalení. Při postupném ohřevu se ohřívá jen část předmětu, který se posouvá, ohřátá část se ihned kalí.



http://www.youtube.com/watch?v=BZLmD3SOR_Y&feature=related

<http://www.youtube.com/watch?v=wIhKcGeIIPo&NR=1>

Příklady kalených součástí



Obr. 94. Indukčně kalené součásti
a) řetězové kolo, b) kulový čep, c) aretační tyč

<http://www.youtube.com/watch?v=pSII549XB1A>

<http://www.youtube.com/watch?v=EIcJvh0NAZU&feature=related>

3) Popouštění

Provádí se především po kalení, účelem popouštění je odstranit pnutí v materiálu po předchozím tepelném zpracování aniž by se snížila jeho tvrdost.

- Druhy popouštění – **a) za nízkých teplot** – teploty do 250°
b) za vyšších teplot – teploty nad 450°

a) Za nízkých teplot

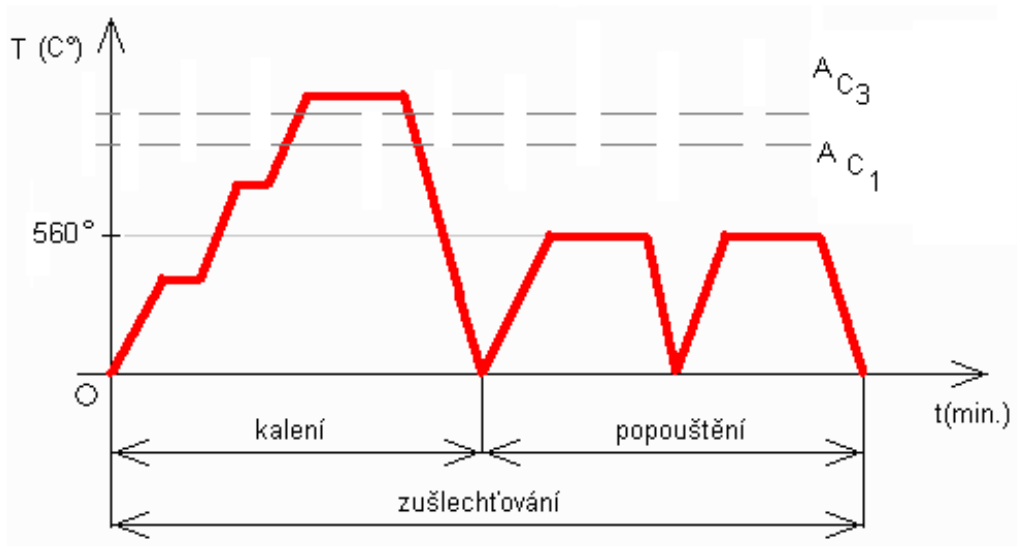
Účelem snížit vnitřní pnutí po kalení a zlepšit houževnatost. Martenzitická struktura zůstane zachována, mění se jen krystalická mřížka.

b) Za vyšších teplot

Účelem je získat strukturu s příznivějšími mechanickými vlastnostmi, zejména s velkou houževnatostí při vysoké mezi kluzu. Popouští se co nejdříve po kalení, kdy je nebezpečí praskání největší.

Kombinaci kalení a popouštění za vyšších teplot nazýváme **zušlechtování**

Příklad zušlechtování rychlořezných ocelí.

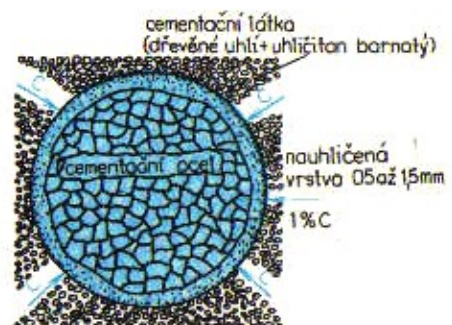


<http://www.youtube.com/watch?v=elTOI7Ry6w&feature=related>

Chemicko tepelné zpracování

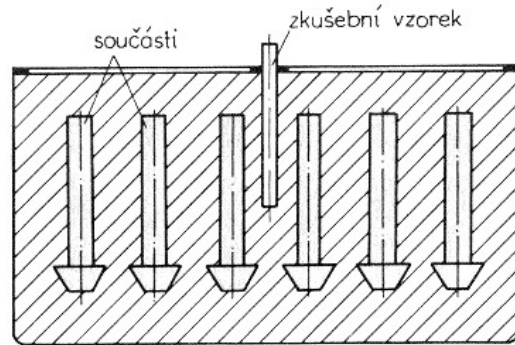
1. Cementace

- jedná se o nasycování povrchu materiálu uhlíkem při teplotě nad A_{C3}
- hloubka nasycené vrstvy se pohybuje v hloubce několik desetin mm
- provádí se především u oceli tvárných a houževnatých, vyznačující se nízkým obsahem uhlíku
- takto nasycený povrch uhlíkem lze do patřičné hloubky **zakalit**



Nasycování může probíhat v prostředí **tuhém, kapalném a plynném**

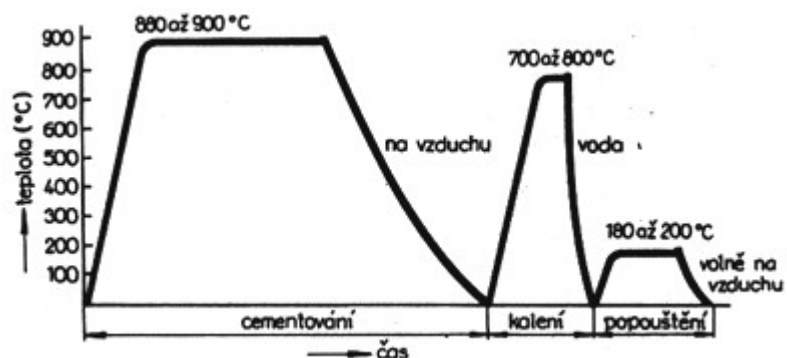
Někdy vyžadujeme, aby byly zakaleny jen určité části povrchu, nejčastěji zanecháváme přídavek, který po nacementování obrobíme.



Tuhé prostředí – dřevěné uhlí, uhličitan barnatý
 Tekuté lázně - uhličitan sodný, chlorid sodný
 Plynné prostředí – oxid uhelnatý.

Cementování v plynu trvá asi 3 hodiny, čas je závislý na uhlíčené hloubce (0,5 – 1 mm)

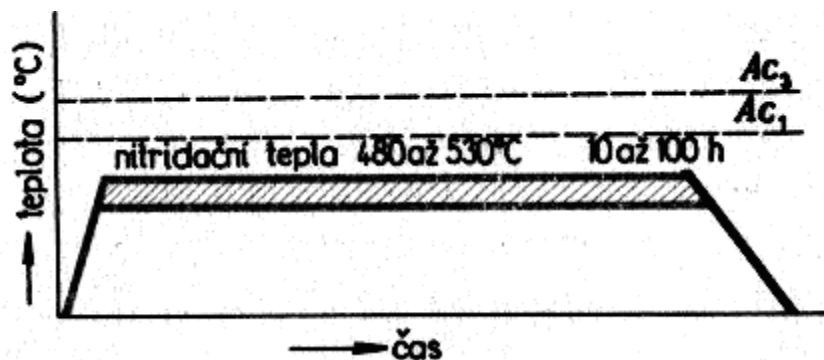
Průběh času a teplot při tepelném zpracování cementační oceli



2. Nitridace

Jedná se o nasycování povrchu dusíkem, který vytváří s vhodnými slitinovými kovy (Al, Cr, Ti, V) velmi tvrdé nitridy

Používají se u ocelí slitinových, úkolem je dosáhnout ještě vyšší tvrdosti a odolnosti proti opotřebení.



Rychlost nitridace je pouze asi 0,01 mm za hodinu.

Výhodami nitridace oproti povrchovému kalení a cementaci je

- vyšší tvrdost povrchové vrstvy
- nižší provozní teploty a s tím spojené nižší pnutí materiálu
- skutečnost, že se neprovádí kalení
- vedlejší efekt zvýšené odolnosti proti korozi
- vedlejší efekt zvýšené meze únavy materiálu

Princip:

Do pece ohřáté na 500°C se vhání čpavek NH_3 který se rozkládá, přičemž dusík vniká do oceli.

Nitridování trvá dlouho, je drahé, 0,3 mm trvá 30 h, 0,5 až 50 h.

Po skončení nitridování následuje pomalé ochlazení oceli, odpadá kalení, nevznikají deformace a vnitřní pnutí.

Nitridované povrchy jsou mnohem tvrdší než povrchy cementované

Příklad použití: - pístní kroužky spalovacího motoru

3. Nitrocementace

Nasycujeme povrch současně uhlíkem a dusíkem při teplotách 800-850°C v kyanidových solných lázních. Tomuto pochodu se říká kyanidování. Po nasycení povrchu následuje ihned kalení.

Používáme u součástí, kde chceme mít opět houževnaté jádro a pevný a odolný povrch.

Šachtová pec pro nitridaci a nitrocementace



Příklady nitridovaných a nitrocementovaných součástí

