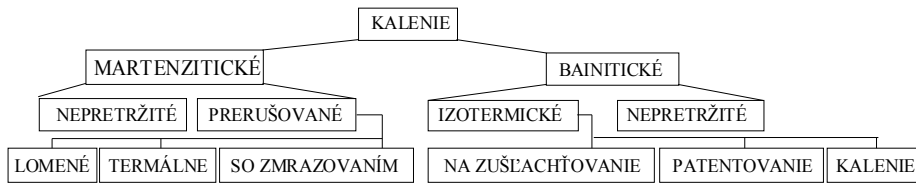


KALENIE

Kalenie spôsob tepelného spracovania, ktorého cieľom je dosiahnuť stav odlišný od rovnovážneho.

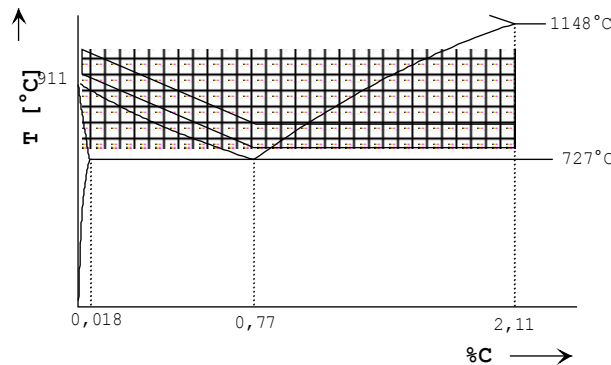
Podľa prevažujúcej štruktúrnej zložky sa kalenie delí na:

- a) **martenzitické kalenie**
- b) **bainitické kalenie**



Podmienky kalenia:

- Kaliace teploty**
- podeutektoidné ocele 30-70°C nad A_{C3}
 - nadeutektoidné ocele 30-70°C nad A_{C1}



Kaliace teploty znázornené v časti rovnovážneho binárneho diagramu Fe-Fe₃C

Kaliaca teplota sa nevolí nad A_{Cm} , pretože by sa rozpustil cementit, ktorý prispieva k tvrdosti ocele po kalení.

Prekročenie kaliacej teploty a príliš dlhé zotrvanie na kaliacej teplote spôsobujú rast austenitického zrna, ktorý sa zmení na hrubý martenzit s väčšou krehkosťou a zvyšuje sa množstvo zvyškového austenitu, čo má za následok pokles tvrdosti po kalení.

Dostatočnú rýchlosť ochladzovania zabezpečíme vhodnými **kaliacimi prostrediami**.

Ochladzovacie prostredia:

- VODA**
- účinné kaliace prostredie
 - priebeh ochladzovania nie je plynulý - okolo súčiastky sa po ponorení vytvorí vrstva pary, ktorá spomaľuje ochladzovanie. Táto vrstva sa poruší pri teplote okolo 400°C a až potom dôjde k intenzívnemu ochladzovaniu prudkým varom vody
 - zvýšením teploty vody ochladzovacia schopnosť klesá
 - účinok možno znížiť aj pridaním olejov, mydla...
 - naopak zvýšiť účinok vody je možné pomocou látok, ktoré zvyšujú bod varu vody
 - vysoká ochladzovacia schopnosť vody spôsobuje vznik vnútorných napätí

OLEJ

- miernejšie kaliace prostredie
- ochladzovanie je podobné ako u vody, vrstva pary sa poruší skôr a maximálna ochladzovacia teplota je okolo 500°C
- rýchlosť ochladzovania je 10x nižšia ako u vody, čo má za následok nižšie vnútorné napätia
- na legované ocele a drobné súčiastky z nízkouhlíkových ocelí
- používajú sa prevažne minerálne oleje
- olejové kúpele sa používajú zohriate na 50°C
- čistý olej je riedky a má vysoký bod vzplanutia
- zvýšenie jeho ochladzovacej schopnosti je možné pomocou cirkulácie kúpeľa
- pri prevádzke olej starne - následok oxidácie, uhoľnatenia a znečistenia

SOĽNÉ KÚPELE

- plynulé ochladzovanie
 - rýchlosť ochladzovania je najskôr vyššia a postupne sa znižuje s klesajúcim teplotným rozdielom medzi predmetom a kúpeľom
 - spočiatku je ochladzovanie intenzívnejšie ako pri olejoch, ale v oblasti martenzitickej premeny sa spomalí. Preto vznikajú len veľmi nízke vnútorné napätia

KOVOVÉ KÚPELE

- najčastejšie ide o roztavené olovo
- podobné vlastnosti ako soľné kúpele

VZDUCH

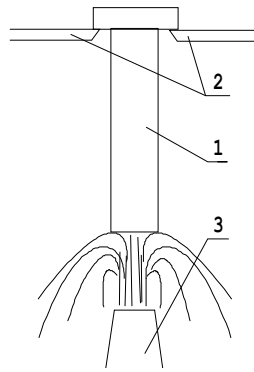
- pre hlboko prekaliteľné ocele
- na zvýšenie ochladzovacieho účinku sa môže dúchať zo všetkých strán rovnako, čo má priaznivý vplyv na vznik a rozloženie vnútorných napätí, lebo rozdiely teploty povrchu a jadra sú zanedbateľné, ale hrozí zasa oduhlíčovanie povrchu.
- dúchanie sa používa pri kalení veľmi zložitých predmetov (zápustky)

Kaliteľnosť - schopnosť ocele dosiahnuť kalením zvýšenú tvrdosť. Dosiadnutá tvrdosť závisí od obsahu C

- pri nízkom obsahu C nemožno dosiahnuť vysokú tvrdosť
- ocele s obsahom C do 0,2% sú **nekaliteľné**
- ocele s obsahom C vyšším ako 0,35% sú **dobré kaliteľné**
- legované ocele sú kaliteľné aj pri nižšom obsahu C
- nadeutektoidné ocele - tvrdosť s rastúcim obsahom C nestúpa, zvyšuje sa iba reznosť
- karbidotvorné prvky môžu tvrdosť aj mierne zvýšiť

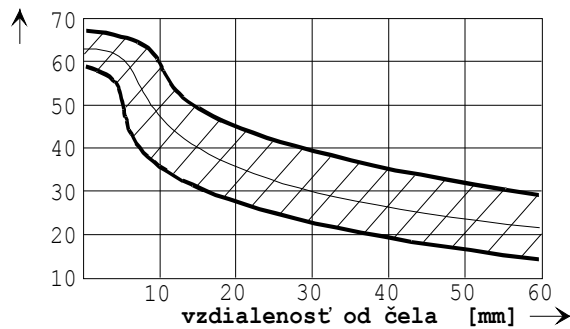
Prekaliteľnosť - schopnosť ocele dosiahnuť pri kalení určitú tvrdosť do určitej hĺbky pod ochladzovaný povrch

- na praktické hodnotenie prekaliteľnosti je hĺbka
- závisí od obsahu zliatinových prvkov a je daná tvarom diagramu ARA
- legované ocele sa volia tam, kde treba prekalit' väčšie prierezy, ako dovoľuje uhlíková oceľ
- na prekaliteľnosť vplýva: veľkosť austenitického zrna (jemnejšie zrno = väčšia kritická rýchlosť ochladzovania)
- čelná skúška prekaliteľnosti - Jomminiho skúška prekaliteľnosti



- 1) skúšobná tyčka
- 2) držiak
- 3) dýza

Krivka prekaliteľnosti - možno z nej stanoviť hĺbku prekaliteľnosti h
 - prekaliteľnosť ocele sa pohybuje v určitom rozmedzí - **pás prekaliteľnosti**



Druhy kalenia

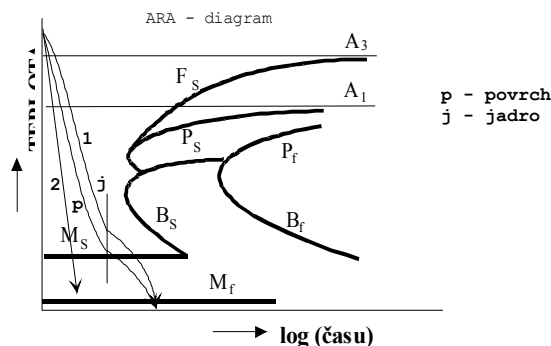
MARTENZITICKÉ KALENIE - výsledná štruktúrna zložka je tvorená martenzitom

Spojité martenzitické kalenie - najjednoduchší a najpoužívanejší spôsob kalenia

- ohrev na kaliacu teplotu a ihneď plynulé ochladzovanie v kaliacom prostredí
- čím je vyššia rýchlosť ochladzovania a čím je väčší priemer, tým je väčší rozdiel medzi teplotou jeho stredu a povrchu a tým je vyššie nebezpečenstvo vzniku tepelných napätí a deformácií, príp. až trhlín

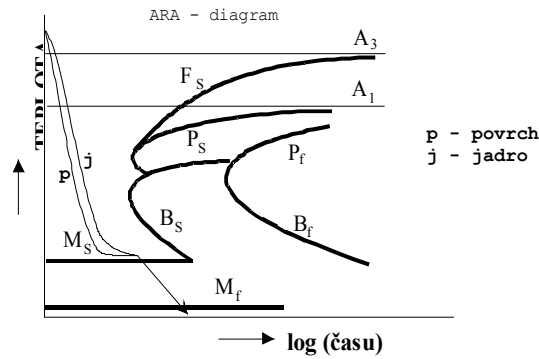
Lomené kalenie - je to kalenie do dvoch prostredí za sebou

Slúži na potlačenie bainitickej premeny - najskôr rýchlejšie ochladzovanie a ochladzovanie v intervale martenzitickej premeny sa dokončí v miernejšom ochladzovacom prostredí (voda + olej, olej + vzduch).



Lomené kalenie (krivka 1) a spojité martenzitické kalenie (krivka 2)

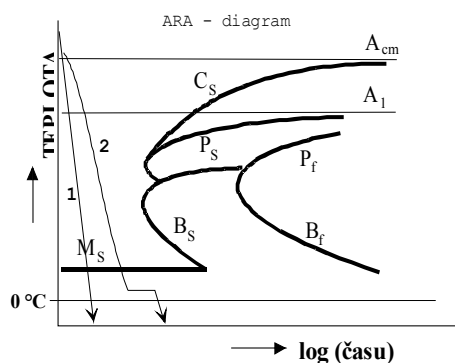
Termálne kalenie



Termálne kalenie

- dovoľuje znížiť rozdiel medzi teplotou povrchu a teplotou jadra na najmenšiu mieru. Využíva tvar diagramu ARA (dlhší inkubačný čas pri teplotách tesne nad M_s)
- ohrev na kaliacu teplotu, potom ochladenie v sol'nom kúpeľi na teplotu asi 30°C nad M_s ocele. Na tejto teplote sa zotrúva (čas zotrúvania nesmie zasiahnuť do oblasti bainitickej premeny), pri ktorom sa vyrovnávajú teploty v jadre a na povrchu. Potom sa ochladzuje v intervale martenzitickej premeny (voľne na vzduchu)
- oddelia sa tepelné a štruktúrne napätia a zmenší sa ich spoločný účinok
- vhodné na kalenie menších súčiastok zložitejších tvarov a nástrojov z uhlíkových a nízkolegovaných ocelí.

- Kalenie so zmrazovaním** - ak teplota M_f leží pod 0°C , potom na dosiahnutie čo najväčšieho rozpadu zvyškového austenitu na martenzit sa súčiastka ďalej chladí v zmrazovacích prostrediach
- pri nadeutektoidných oceliach
 - kalit' sa môže priamo do zmrazovacieho kúpeľa (krivka 1). Toto má za následok vznik vysokých vnútorných napätí, deformácií a výskyt trhlín. Preto sa kalí normálne do vody (oleja) a potom sa čo najrýchlejšie preniesie do zmrazovacieho kúpeľa (krivka 2). Zväčša stačí zmrazovať na teplotu -80°C v kúpeľi zo zmesi liehu a tuhého oxidu uhličitého
 - pri vysokolegovaných oceliach sa na zmrazovanie používa tekutý dusík (-196°C)
 - pri oceliach, pri ktorých sa požaduje stabilizácia rozmerov a pri oceliach na nástroje na zvýšenie tvrdosti a reznosti

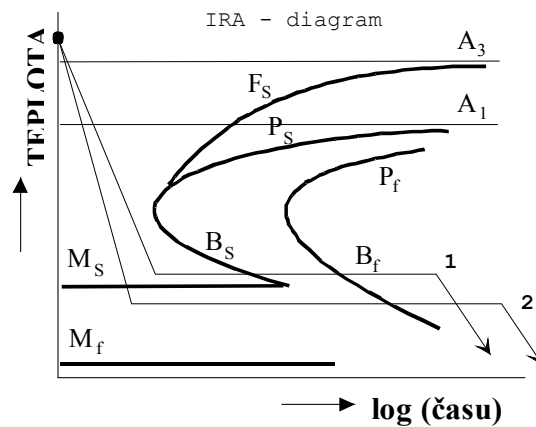


Kalenie so zmrazovaním

BAINITICKÉ KALENIE - hlavná štruktúrna zložka je bainit

Izotermické bainitické kalenie

- rozpad nestabilného austenitu po ochladení z kaliacej teploty izotermicky v sol'ných (kovových) kúpeľoch. Po skončení izotermickej premeny sa ďalej ochladzuje na vzduchu



Izotermické bainitické zušľachtovanie (krivka 1) - výsledná štruktúra: $B+A_Z$ a izotermické bainitické kalenie (krivka 2) - výsledná štruktúra: $B+M+A_Z$

- vlastný izotermický rozpad austenitu môže prebiehať dvoma spôsobmi:

1) izotermické zušľachtovanie

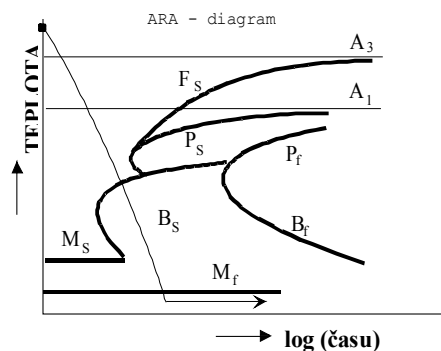
- v oblasti premeny austenitu na bainit (krivka 1) nevzniká martenzit, oceľ sa už nepopúšťa, lebo vnútorné napätia sú malé a deformácia súčiastky takmer nulová
- možno dosiahnuť vysokú pevnosť pri dobrej húževnatosti

2) patentovanie

- osobitný prípad izotermického zušľachtovania v kúpeľoch s teplotou 500-550°C
- teplota izotermického rozpadu je veľká, preto je výsledná štruktúra zložená zo zmesi jemného perlitu s vysokou húževnatosťou, ktorá dovoľuje veľké redukcie prierezov pri nasledujúcom tvárnení za studena
- výroba patentovaného drôtu z uhlíkových ocelí s obsahom blízkym eutektoidnému zloženiu

3) - izotermický rozpad austenitu môže prebiehať tesne pod M_s (krivka 2) - vo výslednej štruktúre sa vyskytuje určitý podiel martenzitu a preto sa popúšťa = **izotermické kalenie**

Nepretržité bainitické kalenie



- v dostatočne rýchlom a plynulom ochladzovaní po ohreve na kaliacu teplotu, na zabezpečenie rozpadu austenitu na bainit alebo zmes bainitu a martenzitu, pri ktorej nasleduje po ochladení popúšťanie (pri stredne a vysokolegovaných oceliach aj viacnásobné)
- robí sa iba pri oceliach s výrazne predsunutou bainitickou oblasťou v diagrame ARA

POVRCHOVÉ KALENIE - realizuje sa na získanie tvrdého povrchu a jadro zostáva mäkké a húževnaté

- ohrev sa uskutočňuje:

- indukčne
- plameňom
- ponorom

- typy povrchového kalenia:

1) prerušované

2) postupné