

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 08

strojírenská technologie
zaměření

strojírenská metalurgie

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ PŘESNÝCH BEZEŠVÝCH TRUBEK Z OCELI

L - CM 3 PRO LETECKÝ PRUMYSL

KMM - 316

Martina Knopová

Vedoucí diplomové práce : Ing. Vendula Štefanová

Konzultant : Ing. Jan Pacák, CSc, VTŽ Chomutov

Rezsah práce a příloh

Počet stran	..52..
Počet tabulek	...10..
Počet obrázků	...25..
Počet příloh	...4..
Počet výkresů	...7..

Liberec 2. června 1989

Vysoká škola: strojná a textilní Fakultu: strojná
Katedra: materiálu a strojírenské metalurgie Školní rok: 1988/89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Martěnu KNOPOVOU
obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Tepelné zpracování přesných bezešvých trubek z oceli L - CM 3 pro letecký průmysl.

Zásady pro vypracování:

1. Zhodnoťte a posuďte v současné době používanou technologii tepelného zpracování přesných bezešvých trubek z oceli L - CM 3 v n.p. Válcovny trub a železárny, Chomutov.
2. Vyšetřete nedokonalosti této technologie, které způsobují nízké hodnoty mechanických vlastností.
3. Navrhněte vhodné parametry tepelného zpracování vyráběného rozměrového sortimentu trubek a ověřte je.
4. Proveďte ekonomický rozbor navrhovaného řešení.

V 189/89 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

*Trubky oceli bezešvé -
zpracování
Heslov
- lehle*

SM/KMM

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury."

V Liberci dne 2. 6. 1989

Martina Knepevá

Martina Knepevá

OBSAH

	strana
Seznam použitých zkratk a symbolů	3
1. Úvod	5
2. Teoretická část	7
2.1 Výroba trubek	7
2.2 Tepelné zpracování	9
2.2.1 Způsoby tepelného zpracování	10
2.2.1.1 Žihání	10
2.2.1.2 Kalení	13
2.2.1.3 Popouštění	14
2.2.2 Tepelné zpracování trubek	15
2.3 Rychlost ochlazování	15
2.3.1 Hodnocení rychlosti ochlazování	16
2.3.2 Využití údajů rychlosti ochlazování	18
2.4 Dilatometrie	18
2.4.1 Dilatometr Sadamel	19
2.5 Zkouška tahem	20
2.5.1 Zkouška trubek tahem	21
2.5.2 Zařízení Instron pro zkoušku tahem	21
3. Experimentální část	23
3.1 Používaná technologie tepelného zpracování přesných bezešvých trubek z oceli L - CM 3	23
3.2 Materiál L - CM 3	24
3.3 Popis a technická data pece RODR 3000	25
3.4 Výroba vzorků a příprava pro měření	27
3.4.1 Výroba vzorků pro zkoušku tahem	27
3.4.2 Příprava vzorků pro pozorování mikroskopem	27
3.4.3 Chemické složení vzorků	27
3.5 Hodnocení technologie, která způsobuje nevyhovující hodnoty mechanických vlastností ...	28
3.5.1 Průběh tepelného zpracování, vyhodnocení mechanických hodnot a struktury materiálu L - CM 3.1	28
3.5.2 Průběh tepelného zpracování, vyhodnocení mechanických hodnot a struktury materiálu L - CM 3.9	30
3.5.3 Průběh tepelného zpracování, vyhodnocení mechanických hodnot a struktury materiálu L - CM 3.6	34

3.6	Diagram anizotermického rozpadu oceli L - CM 3 ..	36
3.6.1	Dilatometrická měření	37
3.6.2	Metalografické hodnocení	37
3.7	Provozní měření teplotních režimů a ochlazovacích rychlostí na peci RODR 3000	40
3.7.1	Popis měření	40
3.7.2	Zhodnocení měření	41
3.8	Experimentální měření ochlazovacích rychlostí ve vztahu k mechanickým hodnotám	42
3.8.1	Chemické složení vzorků	42
3.8.2	Popis měření	42
3.8.3	Vyhodnocení mechanických vlastností a struktury	44
3.9	Výsledky měření	46
3.10	Návrh vhodných parametrů tepelného zpracování ...	47
3.11	Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení	48
4.	Závěr	50
5.	Seznam použité literatury Příloha	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Údaje pro výpočet rychlosti ochlazování

- v součinitel rychlosti ochlazování
 $t_{A/2}$ [s] doba ochlazování z teploty austenitizace
na její polovinu
 W_T [mm] charakteristický rozměr trubky
 s [mm] tloušťka stěny trubky
 D [mm] vnější průměr trubky

Zkouška tahem

- $F[N]$ osové tahové zatížení
 R_m [MPa] pevnost v tahu
 R_e [MPa] výrazná mez kluzu
 $R_{p0,2}$ [MPa] smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace
pod zatížením
 R [MPa] smluvní jmenovité napětí
 A [%] tažnost
 A_5 [%] tažnost na krátké tyči
 A_{10} [%] tažnost na dlouhé tyči
 ϵ poměrné prodloužení

Rovnovážný diagram

- A_{cm} teoretická teplota rovnováhy austenit \Rightarrow sekundární cementit u ocelí nadeutektoidních
 A_{c1} teplota, při níž při použité rychlosti ohřevu začíná přeměna perlitu v austenit
 A_{c2} teplota, při níž při použité rychlosti ohřevu končí přeměna feritu v austenit
 A_{r1} teplota, při níž při použité rychlosti ochlazování končí přeměna austenitu v perlit
 A_{r2} teplota, při níž při použité rychlosti ochlazování začíná přeměna austenitu ve ferit
 M_s teplota, při níž při ochlazování začíná přeměna austenitu na martenzit
 M_f teplota, při níž při ochlazování končí přeměna austenitu na martenzit

- Bs teplota, při níž při ochlazování začíná přeměna austenitu na bainit
- Bf teplota, při níž při ochlazování končí přeměna austenitu na bainit
- Ps teplota, při níž při ochlazování začíná přeměna austenitu na perlit
- Pf teplota, při níž při ochlazování končí přeměna austenitu na perlit
- S eutektoid - směs dvou fází, vzniká eutektoidní přeměnou
- E eutektikum - směs dvou nebo více fází, vzniká eutektickou přeměnou

1. Úvod

Perspektivy dalšího rozvoje československého národního hospodářství se opírají o koncepci zabezpečení vysoké úrovně výrobně technické základny. Snahou všech oborů našeho hospodářství a strojírenství je zajištění intenzivního dynamického rozvoje, který vyžaduje především zvýšení produktivity práce a kvality výroby při současném zdokonalení struktury výroby a snížení materiálové náročnosti, pracnosti a zejména spotřeby energie. Požadavek materiálové hospodárnosti využití jak pracovních, tak surovinových či energetických zdrojů se stává limitujícím činitelem všech investičních akcí. Za těchto okolností vystupuje do popředí snaha o komplexní efektivnost každého výrobku.

Důležité je najít cesty vedoucí k lepšímu využití druhotných energií, zavádění bezodpadových technologií a hlavně urychleně a důsledně rozšiřovat nové progresivní technologie.

Rozvoj perspektivních oborů strojírenského průmyslu vyžaduje kovové materiály se stále vyššími pevnostními vlastnostmi při zachování vyhovujících tvárných charakteristik. V posledních deseti až patnácti letech převládá ve výzkumu kovových materiálů směr, který se snaží získat materiály s vyšším komplexem mechanických vlastností nikoliv zásadními zásahy do jejich chemické konstituce, vývojem nových typů a značek, nýbrž aplikací nových způsobů zpracování na oceli již dobře metalurgicky a technologicky zvládnuté, v konstrukcích osvědčené a v provozních podmínkách ověřené. Tento úkol vystupuje do popředí stále více vzhledem k celosvětové rostoucí spotřebě kovů a k omezeným zásobám surovin.

Tepelné zpracování je z časového a energetického hlediska velmi náročné. V této souvislosti celosvětový výzkum oblasti tepelného zpracování směřuje k intenzivnímu studiu možností ovládnutí průběhu fázových a strukturních přeměn řízení vnějších podmínek, za kterých se tepelné zpracování děje. Touto problematikou, respektive výrobou a tepelným zpracováním přesných bezešvých trubek, se i mimo jiné, zabývají

v n. p. VTŽ Chomutov.

Tato diplomová práce navazuje na dosažené výsledky v oblasti tepelného zpracování trubek v n. p. VTŽ Chomutov. Jejím cílem je zhodnocení a posouzení v současné době používané technologie tepelného zpracování přesných bezešvých trubek z oceli L - CM 3, dále vyšetření nedokonalostí této technologie, které způsobují nízké hodnoty mechanických vlastností, a návrh vhodných parametrů tepelného zpracování vyráběného rozměrového sortimentu trubek a jejich ověření.

Důvodem zjišťování vhodných parametrů tepelného zpracování přesných bezešvých trubek z oceli L - CM 3 je již dlouholetý problém nevyhovujících mechanických vlastností u trubek pro letecký průmysl udávaných dle oborové normy ONL 2102.

2. Teoretická část

2.1 Výroba trubek

Základním typem ocelí, ze kterých jsou v n.p. VTŽ Chomutov vyráběny přesné bezešvé trubky, jsou oceli uhlíkové, střednělegované a vysokolegované.

Technologie výroby trub pro náročné použití je závislá na rozměrové skupině trub. Pro výrobu trubkového polotevaru se používá výtlačné lisování na mechanickém lisu. Dochází k osvojení výroby trubkových polotevarů na tříválcové děrovací stelici s následným prodlužováním na tříválcové stelici typu Assel.

Při výrobě trub je dodržována zásada, že před válčováním zastudena se trubkový polotevar, vyrobený tvářením zatepla, třískově opracovává na vnějším i vnitřním povrchu.

Původně se trubky válcovaly pouze peutnickým / Mannesmanovým / způsobem. Ten byl později modernizován a doplněn ohřevem v karuselových pecích. Za peutnickými stelicemi byly instalovány kalibrovací stelice nebo redukovny. V současné době se trubky vyrábějí obvykle čtyřmi způsoby: průtlačným lisováním, protlačováním, válčováním silnostěnných trubek a polotevarů pro další zpracování na tříválcové stelici typu Assel tažením a válčováním zastudena. Tímto způsobem válčováním se dosahuje rovnoměrné tloušťky stěny i při silnostěnných trubkách.

Trubky vyrobené zatepla se dále zpracovávají zastudena buď tažením na profilevé trubky, nebo válčováním zastudena na trubky tenkostěnné velmi přesných rozměrů.

Válčováním na peutnických stelicích zastudena je mnohem výkonnější způsob zpracování než tažení. Dosažení větších úbytků průřezu je ovlivněno především podmínkami deformace.

Při tažení pevným průvlakem působí v rovině průvlaku deformační síly tlakové, výhodné pro deformaci, ale pohyb trubky průvlakem musí vyvolat síla tahová, která musí překonat nejen deformační odpor v pásmu deformace, ale také tření mezi nástroji a trubkou na straně vnitřní a matricí a trubkou na straně vnější. Toto tření se snažíme zmenšit vhodným mazáním - vytvořením fosfátového povlaku na povrchu trubek a sycením vhodným roztokem stearanu sodného. Nářadí, které se používá pro tažení zastudena, se upravuje na funkčních plochách elektrolytickým tvrdým pochromováním a vysokým leštěním pracovní plochy.

Válcování zastudena probíhá při tlakových napětích prakticky ve všech třech směrech. Proto je tímto způsobem možné docílit nejvyšší úbytky průřezu - prakticky až 70 %. Ke stejnému konečnému rozměru se dospěje menším počtem operací a tedy ekonomicky výhodněji.

Peutnické válcovací stolice zastudena pracují podobným způsobem jako peutnické stolice zatepla. Jedná se o postupné, přerušované válcování předvalku / lupy / se silnější stěnou na slabostěnnou trubku pomocí vnitřního trnu a vnějších válcovacích segmentů.

Rezdíl proti válcování zatepla je v tom, že stolice zastudena používá trn kuželový, z důvodů příznivějšího průběhu deformace. Povrch válcovaných trubek je velmi hladký a rozměry je možné udržet v užších tolerancích než při tažení.

Přes nesporné výhody válcování oproti tažení je někdy výhodné oba způsoby kombinovat. Protože výroba nástrojů válcovacích stolice je nákladná, válcuje se jen menší počet průměrů trubek a potřebné průměry mezi nimi se dokončují jedním, obvykle beztrnovým tahem. [1]

2.2 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování je proces, při němž je předmět nebo jeho část v tuhém stavu podroben jednomu nebo více tepelným cyklům za účelem dosažení požadovaných vlastností materiálu vhodného chemického složení. [3]

Tepelným zpracováním se rozumí všechny postupy, při nichž se vnitřní stavba kovu záměrně mění pomocí změny teploty. Jestliže při zvýšené teplotě působíme zároveň na povrch oceli vhodným prostředím tak, aby se změnilo její chemické složení buď v celém objemu, nebo ve vrstvě určité tloušťky, jde o chemicko-tepelné zpracování. Postupy, při nichž se změna struktury dosahuje společným působením změny teploty a plastické deformace, označujeme jako mechanicko-tepelné nebo tepelně-mechanické zpracování.

Postupy tepelného zpracování se obvykle zobrazují v souřadnicích teplota - čas. Každý postup tepelného zpracování se obecně provádí ve třech částech : ohřev na teplotu, výdrž na teplotě a ochlazování.

Při tepelném zpracování mohou probíhat změny struktury v podstatě ve dvou směrech. Jestliže je struktura ve stavu nerovnovážném, je možné použít postupů směřujících k dosažení termodynamické rovnováhy, vyjádřené za ideálních podmínek rovnovážným diagramem Fe - Fe₃C. Takovéto postupy označujeme jako žíhání. V jiných případech je naopak žádoucí vytvoření struktur nerovnovážných, které vznikají při rychlých změnách teploty. Do této skupiny patří především všechny postupy kalení. Kalení je vždy doplněno popouštěním, které vyvolává změny struktury, směřující postupně zpět k rovnovážnému stavu. [2]

2.2.1 Způsoby tepelného zpracování

2.2.1.1 Žihání

Žihání je proces, při němž se materiál ohřívá na žihací teplotu, výdrž na této teplotě nebo kolísání kolem této teploty a další, zpravidla pomalé ochlazování na klidném vzduchu nebo podle předepsaného postupu.

Účelem žihání je obvykle jednotlivě nebo současně :

- a/ odstranit vliv jiných operací na strukturu, např. tuhnutí, plastické deformace, svařování, jiného tepelného zpracování
- b/ snížení tvrdosti
- c/ vyvolání vzniku struktur vhodných k obrábění nebo tváření zastudena
- d/ vyvolání vzniku struktur vhodných pro další tepelné zpracování
- e/ snížení vnitřních pnutí
- f/ zmenšení nerovnoměrností chemického složení [3]

Podle žihací teploty lze postupy žihání rozdělit na žihání bez překrytalizace a žihání s překrytalizací.

Žihání bez překrytalizace

Jedná se o žihání, při němž je žihací teplota v podstatě pod příslušnou teplotou A_{c1} . Vzhledem k nízkým teplotám žihání probíhají tyto děje pomalu, proto musí být žihací cykly dostatečně dlouhé. Mezi hlavní postupy žihání bez překrytalizace patří :

Žihání na měkko

Provádí se ohřev na teplotu těsně pod dolní mez rozmezí přeměny nebo uvnitř tohoto rozmezí, výdrž na této teplotě, popř. kolísání kolem jmenovité žihací teploty a další řízené ochlazování obvykle v peci nebo ochranném obalu. Účelem tohoto žihání je zpravidla převedení perlitu lamelárního na

globulární a zmenšení tvrdosti. Zlepšuje se tím obrobitelnost ocelí s obsahem uhlíku nad 0,4 %, u eutektoidních a nadeutektoidních ocelí se dosahuje větší homogenizace struktury před kalením, u nízkouhlíkových ocelí se zlepšuje jejich schopnost ke tváření zastudena. [3]

Žihání ke snížení pnutí

Obvykle se provádí pomalý ohřev pod teplotu Ac_1 / asi 500 až 650°C /, výdrž na této teplotě a následné pomalé ochlazení. Účelem tohoto žihání je snížení vnitřních pnutí vzniklých při předchozích operacích, např. tuhnutí, tepelném zpracování, mechanickém opracování nebo svařování, bez záměrné změny struktury.

Rekrytalizační žihání

Charakterizuje ohřev zastudena tvářených ocelí na teplotu nejméně rekrytalizační / obvykle 550 až 700°C /, výdrž na této teplotě asi jednu hodinu a další libovolné ochlazení. Účelem tohoto žihání je odstranění protažených zrn a zpevnění způsobeného tvářením zastudena za současného vzniku nových feritických zrn bez znaků deformace a obnovení schopnosti plastické deformace oceli. Často se užívá jako mezioperační žihání při tváření zastudena. Používá se obvykle u ocelí s nízkým obsahem uhlíku. [3]

Žihání s překrytalizací

Jde o žihání, při němž je žihací teplota nad příslušnou teplotou Ac_3 , popř. mezi Ac_1 a Ac_3 u ocelí podeutektoidních a nad Ac_1 , popř. nad Acm u ocelí nadeutektoidních.

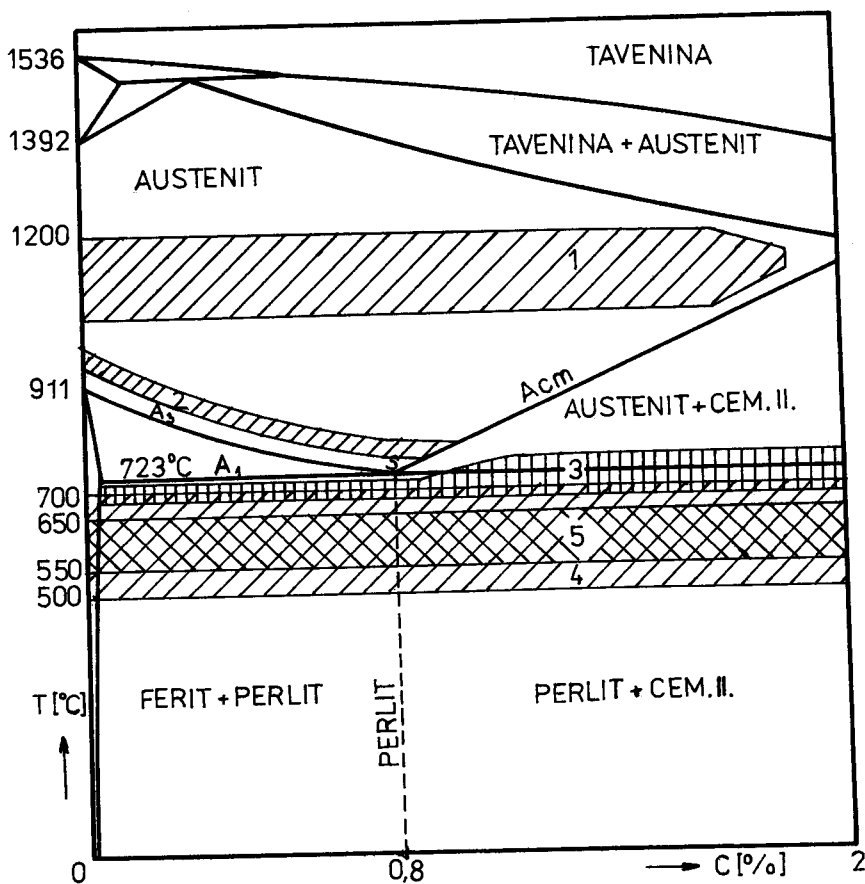
Homogenizační žihání

Jde o žihání s překrytalizací, spočívající v ohřevu na teplotu podstatně vyšší než Ac_3 , popř. Acm / obvykle na teplotu 150 až 250°C pod teplotou solidu /, s delší výdrží na této teplotě a následné ochlazení v peci. Po homogenizačním žihání musí vždy následovat normalizace, kterou se zrno opět zjemní. Účelem tohoto žihání je difuzní vyrovnání koncentrací

prvků v oceli, aby se zmenšila heterogenita jejího chemického složení.

Normalizační žíhání

Je dalším způsobem žíhání s překrytalizací a zároveň nejčastěji používaným postupem žíhání vůbec. Teplota normalizačního žíhání je obvykle 30 až 50°C nad A_{c3} , popř. A_{cm} , vyrovnání teploty v celém průřezu a následné ochlazování se provádí obvykle na klidném vzduchu. Účelem tohoto žíhání je zjemnění zrna austenitu a vytvoření jemné rovnoměrné výsledné struktury tvořené obvykle směsí feritu a perlitu. U ocelí s vyšším obsahem uhlíku nebo legujících prvků se při ochlazování na vzduchu vytvářejí struktury smíšené, popř. čistě bainitické či martenzitické. Výsledná struktura není tedy jednoznačně definována a závisí na chemickém složení oceli a na velikosti žíhaného kusu. Toto žíhání se používá téměř výhradně pro pederitektoidní oceli. [3]



- 1-HOMOGENIZAČNÍ ŽÍHÁNÍ
- 2-NORMALIZAČNÍ ŽÍHÁNÍ
- 3-ŽÍHÁNÍ NA MĚKKO
- 4-REKRYSTALIZAČNÍ ŽÍHÁNÍ
- 5-ŽÍHÁNÍ KE SNÍŽENÍ VNITŘNÍHO PNUTÍ

Obr. 1 Oblasti žíhacích teplot v rovnovážném diagramu Fe-Fe₃C

[4]

2.2.1.2 Kalení

Některé součásti z konstrukčních ocelí, a téměř všechny nástroje, musí mít vysekou tvrdost a dobrou odolnost proti opotřebení. Takové vlastnosti získá ocel zakalením. Kromě součástí, které mají mít tvrdý pracovní povrch, se však kalí i všechny vysoce namáhané konstrukční součásti z ušlechtilých ocelí, u nichž se vyžaduje co nejlepší kombinace pevnosti a houževnatosti. V tomto případě je kalení jen první částí zušlechťování / kalení a popouštění /, jímž se takovéto kombinace dosahuje.

Kalení spočívá v ohřevu na kalicí teplotu, výdrži na této teplotě a v ochlazení rychlostí větší, než je kritická rychlost příslušné oceli - tzv. nadkritickou rychlostí. Austenit přitom transformuje v rozmezí teplot M_s - M_f na martenzit. Některé oceli s výraznou oblastí bainitické přeměny se kalí úmyslně tak, že ve struktuře je po zakalení značný podíl bainitu, který není na závadu, ale může naopak přispět ke zlepšení houževnatosti. Kalicí teplota se volí podle rovnovážného diagramu přibližně 30 až 80 °C nad teplotou A_c_3 . [2]

Způsoby kalení lze rozdělit do dvou skupin.

1. Martenzitické kalení - provádí se buď kalení na vysoce teplotu, kdy spolu s popouštěním vzniká sorbitická struktura, nebo na nízkou teplotu, kdy dochází k napouštění.

Cílem martenzitického kalení je získat martenzitickou strukturu. Ocel ochlazujeme tak rychle, aby ochlazovací křivky povrchu i jádra kaleného materiálu minuly křivky difuzního rozpadu. Při kalení vzniká silné tepelné pnutí, které nelze odstranit, ale pouze omezit tím, že volíme přetržité způsoby kalení. Účelem tohoto kalení je snížení tepelných a strukturálních pnutí a omezení deformací.

2. Bainitické kalení - při tomto způsobu kalení se transformuje austenit na bainit v průběhu plynulého ochlazení nebo izotermickým kalením. Po ochlazení je struktura tvo-

řena převážně bainitem a zbytkovým austenitem, přičemž podmínky ochlazování z kalící teploty vylučují přeměnu austenitu na perlit a úplně nebo alespoň částečně přeměnu austenitu na martenzit. Přeměna austenitu v bainitické oblasti probíhá buď při izotermické výdrži, nebo při nepřetržitém ochlazování. [3]

Volba kalícího prostředí

Ochlazování nadkritickou rychlostí při kalení ocelových součástí se dosahuje vhodnou volbou kalícího prostředí. Pro oceli s malou prekalitelností je nutno volit intenzivnější působící prostředí, jako je voda nebo vodní roztoky. Pro oceli s větší prekalitelností se používá nejčastěji ochlazování v oleji nebo na vzduchu. Při velké rychlosti ochlazování vzniká nezbytně velký rozdíl teploty mezi povrchem a jádrem, který je příčinou teplotních pnutí. Hluboce prokalitelné oceli je možno kalit proudem vzduchu, nebo na klidném vzduchu. Toto kalení je příznivé z hlediska vzniku a rozložení vnitřních pnutí, neboť rozdíly teploty na povrchu a v jádře jsou malé. Je však spojeno s oxidací, proto se používá jen při kalení rozměrných kusů. [2]

2.2.1.3 Popouštění

Zakalená ocel je křehká a náchylná k praskání. Hlavně u nástrojových ocelí je nebezpečí vzniku kalících trhlin. Mohou vzniknout buď ještě v kalící lázni, nebo po vyjmutí z lázně. Aby se úroveň vnitřních pnutí snížila a zlepšila houževnatost, musí po zakalení následovat popouštění. Popouštěním se snižuje rovněž tvrdost, pevnost, mez kluzu.

Popouštění spečívá v ohřevu zakalené oceli na určenou teplotu pod A_{c1} , následuje výdrž na této teplotě k vytvoření struktur bližších rovnovážnému stavu a další operací je ochlazení na teplotu ocelí způsobem vhodným pro danou ocel.