

Kalení rychlořezných ocelí : metalurgické výhody soli

Proč se výsledky tepelného zpracování - zvláště v případě kalení rychlořezných nástrojových ocelí - vždy srovnávají s výsledky, které je možné získat pomocí zpracování v solných lázních ? Komerční poskytovatel tepelného zpracování vysvětluje vynikající možnosti soli, a uvádí důvody, proč je sůl stále častěji tím nejlepším - nebo jediným - médiem pro zpracování rychlořezné oceli.

autor : Gregory W. Dexter ¹, publikováno v Heat Treating/srpen 1989

Vsázkové pece s vakuovými technologiemi, s fluidní vrstvou a s ochrannou atmosférou prošly obrovským rozvojem z hlediska postupů pro ohřívání a ochlazování rychlořezných a vysokolegovaných nástrojových ocelí. Zvláště nedávná zlepšení, dosažená u několika výrobců vakuových zařízení při ochlazování v tlakovém plynu, znamenají velký příslib do budoucnosti pro kalení rychlořezných ocelí s nižším obsahem legur a s rozměrnějším průřezem. Výrobci nových zařízení stále ještě, po vyhodnocení zkušebních programů výzkumu a vývoje, srovnávají výkony těchto postupů s tepelným zpracováním v solné lázni. Proč ?

Technologie tepelného zpracování v roztavených solných lázních se všeobecně uznává jako nejvyšší metoda pro zpracování širokého spektra kovů od bainitické tvárné litiny až k rychlořezným nástrojovým ocelím. U společnosti „Metallurgical Solutions“ se komerční tepelné zpracování rozběhlo v tomto létě (1989), pracujeme se zařízeními s fluidní vrstvou, s vakuem a s vysokoteplotní atmosférou. Ovšem technologie solné lázně, jedna z nejstarších technologií, přijatých pro tepelné zpracování nástrojů a dílů, poskytuje i nadále ty nejvyšší metalurgické parametry a vlastnosti, nezbytné pro dosažení

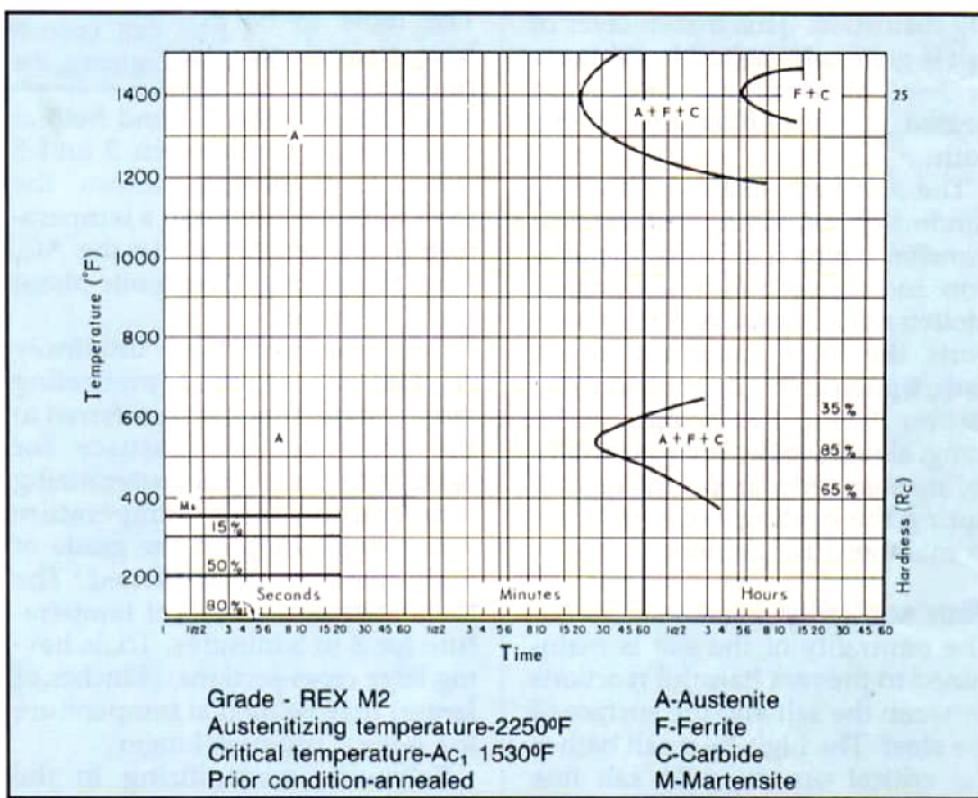
optimální výkonnosti nástrojů z rychlořezné oceli. Protože jsme přesvědčení, že ovladatelnost, univerzálnost a účinnost tepelného přenosu v solných lázních nemají v soudobém průmyslu tepelného zpracování žádného konkurenta, tak jsme se specializovali na kalení v solné lázni. Tento článek je napsaný s cílem poskytnutí výkladu některých metalurgických výsledků, které je možné dosáhnout při kalení ocelí v solné lázni.

Základní údaje ke zpracování v solné lázni

Termín „solná lázeň“ popisuje médium, vytvořené roztavením jedné nebo většího počtu chemických solí do formy kapalné lázně, do které se mohou ponořovat materiály určené k tepelnému zpracování. Složení solné lázně k danému použití je určeno teplotním rozsahem, ve kterém se bude tato lázeň provozovat.

Jako sole pro tepelné zpracování rychlořezných nástrojových ocelí se používají sodné, draselné a barnaté chloridy. Procentní podíl chloridu barnatého v lázni se zvyšuje s narůstajícími teplotními požadavky. Vysokoteplotní lázeň pro použití v kalici lince je typicky složená ze 100% chloridu barnatého.

¹ G. W. Dexter je viceprezidentem společnosti Metallurgical Solutions Inc („Metalurgická řešení“), East Providence, Rhode Island 02914, USA, tel (401) 431-2990. Předtím byl manažerem metalurgické výroby a tepelného zpracování u společnosti Thielsch Engineering Associates.



Obr. 1: Typický IRA diagram pro rychlořeznou ocel typu M2 HSS (spol. Crucible Steel Co.)

Kalici linka je obvykle tvořena třemi lázněmi - pro předehřívání, pro vysokoteplotní ohřev a pro zchlazení. Předehřívací lázeň se obvykle provozuje v rozsahu teplot mezi 810°C a 870°C). Lázeň pro vysokoteplotní ohřev pracuje v rozsahu teplot od 1100°C do 1300°C. Lázeň pro zchlazení se normálně udržuje v rozsahu teplot mezi 540°C a 620°C. Tyto tři lázně jsou typicky konstruované se šamotovým kelímkem pro umístění sole, a jsou vyhřívány elektrickým odporovým topením pomocí dvou nebo většího počtu kovových elektrod, ponořených v roztavené soli.

Jak se omezuje vznik deformací

Jakmile se rychlořezná nástrojová ocel na začátku procesu ponoří do předehřívací roztavené solné lázně, tak se na nástroji vytvoří tenká vrstva ze ztuhlé soli, který obklopuje celý zpracováváný nástroj. Tato vrstvička ztuhlé soli funguje jako tepelný izolátor, chrání nástroj před tepelným šokem

a tím omezuje vznik deformací. Vrstvička ztuhlé sole se všeobecně rozpustí v průběhu jedné minuty nebo v kratší době, a tak se umožní vyhřátí zpracovávaného nástroje na teplotu lázně.

Solná lázeň vyhřívá nástroj na základě vedení tepla, a tak zajišťuje rovnoměrný přenos tepla, který je výhodnější než tomu je v případě přenosu tepla na základě záření nebo proudění. Vztlaková síla roztavené soli dále nese nástroje, ponořené v soli, a výrazným způsobem omezuje vznik deformace nástrojů v průběhu vyhřívacího cyklu. Dlouhé a štíhlé nástroje, jako jsou protahovací trny, jsou v průběhu vyhřívacího cyklu v roztavené soli zavěšené pro zachování jejich přímosti.

Neutralita lázně

Neutralita sole se dodržuje s cílem zamezení vzniku škodlivých reakcí mezi solí a povrchem oceli. Nejkritičtější

místo v kalici lince se solnou lázní představuje vysokoteplotní solná lázeň. Tato lázeň se v pravidelných intervalech a plánovitě čistí při použití křemíku nebo grafitu.

V průběhu provozní doby se vytvářejí nerozpustné a rozpustné oxidy kovů, které mohou způsobovat oduhličující charakter lázně. Křemík se s těmito oxidy váže a vytváří křemičitany, které se usazují ve spodní části lázně. Tyto křemičitany se potom odstraňují pomocí odkalování.

Lázeň lze čistit i přidavkem grafitu, například cementačního granulátu Durferit. Uhlík redukuje oxidy na čistý kov. K čištění lze také použít grafitovou tyč.

Vysokoteplotní austenitizace

Austenitizační fáze kaliciho cyklu začíná při tepelném zpracování v průběhu předehřivacího kroku. Nástroje, určené ke zpracování, se předehřívají na teplotu kolem 840°C a udržují se na této teplotě po dobu mezi 3 a 5 minutami. Předehřívání slouží k rovnoměrnému dosažení teploty, která je obvykle nad úrovní Ac1 (začátek fáze přeměny austenitu).

Jakmile nástroj rovnoměrně dosáhne požadovanou předehřivací teplotu, tak se přemístí do vysokoteplotní solné pece k vyhřátí na kritickou austenitizační teplotu. Tato teplota je různá podle typu rychlořezné oceli, určené ke kalení. Nástroje se obvykle drží na austenitizační teplotě po dobu 3 až 5 minut. Nástroje s velkým průřezem (4 palce a větší) mohou být na teplotě o několik minut déle.

Po austenitizaci ve vysokoteplotní lázni se nástroje přemístí do kalici solné lázně, kde se udržuje teplota mezi 540°C a 600°C. Nástroje se nechají v lázni po dobu několika minut k vyrovnání jejich teploty s teplotou lázně, a potom se vyjmou a nechají se vychladnout na vzduchu na teplotu místnosti.

V průběhu přemísťování nástrojů mezi předehřivací, vysokoteplotní a zchlazovací pecí jsou nástroje

ochráněné tenkou vrstvičkou ze ztuhlé soli. Tím se prakticky vylučuje oduhličení a oxidace povrchu nástrojů v době, kdy jsou při vysoké teplotě vystavené vzduchu místnosti.

Rychlořezné oceli, zpracovávané v pecích s fluidní vrstvou, jsou naproti tomu v průběhu přenášení z vysokoteplotní austenitizační pece do zchlazovací lázně vystavené určitému povrchovému oduhličení. Inertní částičky ve fluidní vrstvě (obvykle oxid hlinitý) nepřilnou k povrchům nástrojů. S určitým úspěchem se pro eliminaci tohoto problému povrchového oduhličování v průběhu zpracování ve fluidní vrstvě používají natírané směsi nebo látky. Ovšem výhody, získané použitím natíraného materiálu, jsou omezené podle pečlivosti a rovnoměrnosti jejich aplikace.

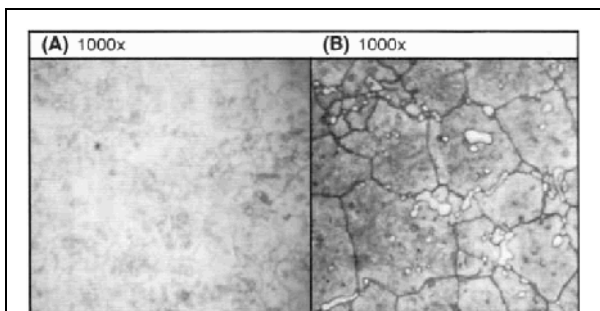
Postup kalení rychlořezných nástrojových ocelí v solné lázni umožňuje realizaci kalení v „zónách“ nebo realizaci selektivního kalení. Spirálové vrtáky se typicky austenitizují ponořením vrtáku jen do takové hloubky, do které zasahují drážky vrtáku. Dřík spirálového vrtáku se tepelně nezpracovává a zůstává v popuštěném nebo v měkkém stavu. Selektivní kalení spirálových vrtáků ve vakuových pecích nebo v atmosférických komorových pecích, pokud není přímo nemožné, tak není ekonomicky přijatelné.

Použití zonálního kalení při procesu s fluidním ložem je možné. Ovšem valivý pohyb fluidního lože, vznikající na základě průtoku ochranného plynu přes médium oxidu hlinitého, velmi znesnadňuje dodržení rovnoměrné dělicí čáry mezi kalenou a popuštěnou částí v délce ponořených nástrojů.

Sůl a mikrostruktura

Pro potřeby tohoto článku se zde probírají tepelně zpracované vzorky rychlořezné oceli typů M2, M4 a T15. Ocel řady „M“ („Molybden“) představuje oceli legované molybdenem, ocel řady „T“ („Tungsten“) představuje oceli legované wolframem.

Typická křivka IRA pro rychlořeznou ocel typu M2 je znázorněná v obrázku 1. U oceli M2 začíná fáze austenitické přeměny „Ac1“ na teplotě 832°C. Tato ocel se běžně tepelně zpracovává při kritické austenitizační teplotě v rozsahu od 1204°C do 1218°C v roztavené soli. Jednu z výhod přenosu tepla vedením při ohřevu v solných lázních představuje použití nižších austenitizačních teplot. Nástroje z rychlořezné oceli při zpracování



Obr. 2: Zkušební vzorky rychlořezné oceli typu M2, o průměru 4 palce (mikrofotografie, leptáno 2% Nital) :

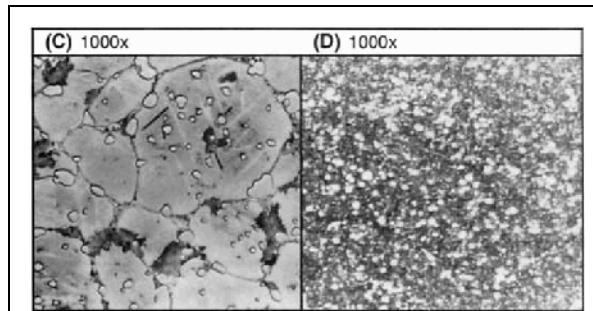
(A) Austenitizace při teplotě 1200°C po dobu 5 minut v soli, zachlazení do soli na teplotu 590°C, a potom ochlazení na vzduchu na pokojovou teplotu.

(B) Austenitizace při teplotě 1250°C po dobu 1 hodiny ve vakuu, následovaná zachlazením v plynném médiu na teplotu místnosti.

v solných lázních mají rovněž podstatně kratší požadované doby výdrže na teplotě. Kratší doba výdrže na kritické austenitizační teplotě minimalizuje nárůst zrn austenitu a aglomeraci karbidů primárních legujících prvků (obrázek 2). Zkušební vzorek oceli typu M2, kalený v solné tavenině (vzorek „A“), vykazuje zrna primárního austenitu o rozměru 11,8, podle měření přímkovou metodou. Vzorek oceli M2, zpracovaný ve vakuu (vzorek „B“), vytváří zrna austenitu o rozměru 9,4. Nerozpuštěné karbidy primárních legujících prvků ve vzorku, zpracovaném v soli, jsou menší, jsou náhodně rozptýlené, a jsou četnější, než tomu je v případě vzorku zpracovaného ve vakuu.

Nerozpuštěné karbidy primárních legujících prvků ve vzorcích tepelně zpracovaných ve vakuu se počínají „natavovat“ nebo splývat podél hranic primárních austenitových zrn.

Tento stav není neobvyklý u nástrojů z rychlořezných ocelí, které prošly v průběhu austenitizace dlouhou dobou setrvání v blízkosti nebo v horní části rozsahu jejich kalických teplot. Primární aglomerace karbidu a růst austenitových zrn může u nástroje vést



Obr. 3: Zkušební vzorky rychlořezné oceli typu M4, o průměru 4 palce (mikrofotografie, leptáno 2% Nital) :

(C) Austenitizace při teplotě 1230°C po dobu 1 hodiny ve vakuu, následovaná zachlazením v plynném médiu na teplotu místnosti.

(D) Austenitizace při teplotě 1160°C po dobu 5 minut v soli, zachlazení do soli na teplotu 590°C, a potom ochlazení na vzduchu na pokojovou teplotu.

k výraznému narušení odolnosti proti opotřebení a houževnatosti, s následným snížením výkonových parametrů.

Po patřičné austenitizaci nástrojů proběhne cyklus ochlazení nebo zakalení. To je spojené s rychlým ochlazením nástroje na pokojovou teplotu. Je potřeba věnovat pozornost dostatečně rychlému ochlazení, aby se předešlo vzniku proeutektoidních fází v mikrostruktuře. Chlazení ovšem musí být zároveň dostatečně pomalé, aby se omezily deformace a aby se předešlo vzniku trhlin.

Mikrostruktura zkušebního vzorku oceli M4, kalených s ohřevem ve vakuu a se zachlazením v plynném médiu, je znázorněná v obrázku 3(C). Je zde

vidět znatelné hrubnutí zrna austenitu a aglomerace karbidů primárních legujících prvků. Dochází ke slabému začínajícímu natavování na hranicích primárních austenitových zrn.

Rychlost ochlazování u tohoto vzorku byla dostatečně pomalá, aby umožnila vznik proeutektoidních fází na okrajích zrn. Aktuální ochlazovací křivka tohoto vzorku prošla horním výběžkem IRA křivky pro rychlořeznou ocel typu M4.

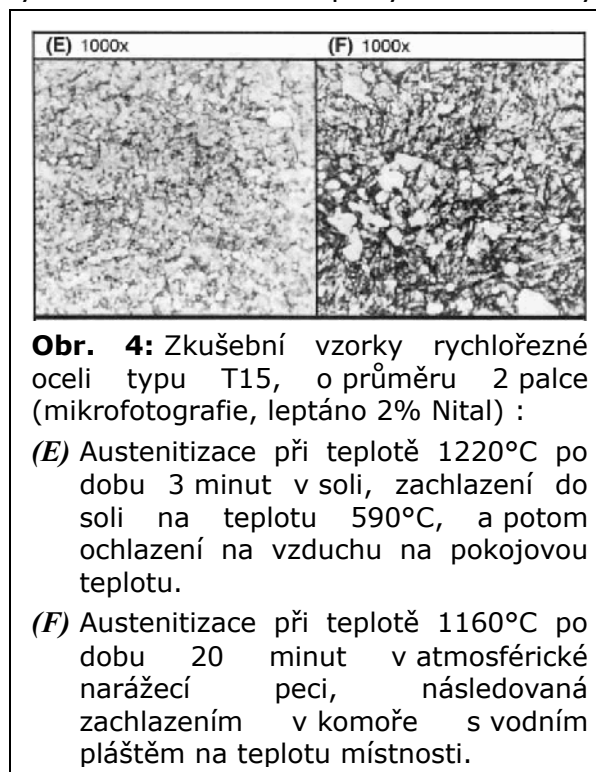
Mikrostruktura zkušební vzorku oceli typu M4, zpracovaného v soli s následným zachlazením do solné taveniny, žádné proeutektoidní fáze na okrajích zrn neobsahuje - viz obrázek 3(D). (Je potřeba poznamenat, že tento vzorek byl temperovaný při teplotě 540°C pro zbarvení martenzitu s cílem lepšího optického rozlišení.) Martenzit je zde jemný a jehlicovitý. Hrubnutí zrn není u vzorků zpracovaných v solné lázni patrné. Mikrostruktura, uvedená v obrázku 3(C), která představuje vzorek zpracovaný ve vakuu, je složena z rovnoosých primárních austenitových zrn, netemperovaného martenzitu, proeutektoidního cementitu a z náhodně dispergovaných karbidů primárních legujících prvků.

Mikrografie zkušebních vzorků rychlořezné oceli T15, zpracované v ochranné atmosféře a v soli, jsou uvedené na obrázku 4. Oba vzorky byly jednou temperované při teplotě 480°C pro zbarvení martenzitu s cílem dosažení lepšího rozlišení a kontrastu mezi nerozpuštěnými karbidy a martenzitickou maticí.

Mikrostruktura, uvedená v obrázku 4(E), představuje vzorek kalený v soli, který je složený z jemně zrněného,

jehlicovitého temperovaného martenzitu s náhodně dispergovanými karbidy primárních legujících prvků. Mikrostruktura pro vzorek oceli T15, zpracovaný v narážecí peci, je tvořena hrubým, jehlicovitým temperovaným martenzitem s určitým viditelným zbytkovým austenitem.

Karbidy primárních legujících prvků zde prošly určitým „natavováním“ a aglomerací. Jsou zde vidět projevy vyšší austenitizační teploty a delší doby



Obr. 4: Zkušební vzorky rychlořezné oceli typu T15, o průměru 2 palce (mikrografie, leptáno 2% Nital) :

(E) Austenitizace při teplotě 1220°C po dobu 3 minut v soli, zachlazení do soli na teplotu 590°C, a potom ochlazení na vzduchu na pokojovou teplotu.

(F) Austenitizace při teplotě 1160°C po dobu 20 minut v atmosférické narážecí peci, následovaná zachlazením v komoře s vodním pláštěm na teplotu místnosti.

výdrže pro vzorky oceli T15, které byly zpracované v narážecí peci. Nižší kalící teplota a kratší doba výdrže pro vzorky oceli T15, zpracované v solné lázni, vykazují kvalitnější mikrostrukturu, která výrazně přispívá ke zlepšení metalurgické výkonnosti tohoto nástroje v provozu.