

# Kalící vana jako součást technologie tepelného zpracování kovů

## Quenching tank as a part of heat treatment technology for metals



Ing. Karel Přihoda<sup>1</sup> Ing. Filip Vráblík<sup>2</sup>

<sup>1</sup>REALISTIC, a.s., Závodu míru 4, 360 17 Karlovy Vary, tel. 353 403 204, e-mail: prihoda@realistic.cz

<sup>2</sup>ECOSOND, s.r.o., K vodárně 531, 257 22 Čerčany, tel. 317 777 772-5, e-mail: vrablik@ecosond.cz

### Abstrakt :

Článek je zaměřen na používané kalící média (voda, olej, polymer) s ohledem na zpracovávané druhy materiálů a dále se zaměřením na problematiku vlastního technického řešení kalících van jak samostatně stojících, tak umístěných v linkách tepelného zpracování.

### Abstracts:

The article focuses on quenching media (water, oil, polymer) with regard to treated material types and further focuses on problematic of technical solutions of quenching tanks both standalone and integrated in heat treatment lines.

### Klíčová slova:

Kalení, kalící média, polymer, průmyslové pece

### Keywords:

Quenching, quenching media, polymer, industrial furnaces

### 1. ÚVOD

Tepelným zpracováním se rozumí záměrné využívání fázových a strukturálních přeměn v tuhém stavu s cílem získat požadované mechanické, technologické či jiné vlastnosti výrobků nebo polotovárů. Princip tepelného zpracování spočívá v ohřevu určitou rychlostí na požadovanou teplotu, výdrž na této teplotě a ochlazování vhodnou v mnoha případech nadkritickou rychlostí. K získání požadovaných vlastností a změny struktury je tedy dosaženo řízenými změnami teploty. Pokud dochází ke změně chemického složení povrchových vrstev vlivem působení vhodného prostředí za zvýšené teploty, mluvíme o chemicko-tepelném zpracování. Postupy, které využívají změny teploty a plastické deformace, jsou označovány jako tepelně-mechanické zpracování.

Existuje více druhů tepelného zpracování. Je-li cílem dosažení rovnovážného strukturálního stavu, pak se jedná o žihání. Naopak silně nerovnovážený stav v důsledku bainitické nebo martenzitické přeměny vzniká při kalení. Stupeň napětí v zakaleném stavu se snižuje popouštěním.

Ohřev je jednou z nejdůležitějších operací tepelného zpracování. Jedná se o pochod, při kterém se zvyšuje teplota předmětu na požadovanou teplotu. Pro popis jednotlivých způsobů tepelného zpracování je důležitá jeho rychlost, ta se v praxi udává v °C/min<sup>1</sup>, popř. °C/h<sup>1</sup>. Rychlost se volí hlavně v závislosti na metodě zpracování a vlastnostech materiálu, ale ohled se musí brát i na tvar a velikost zpracovávané součásti potažmo vsázky. Nevhodně zvolenou rychlostí může během ohřevu v součásti vzniknout nerovnoměrné teplotní pole, které má za následek vznik nežádoucích tepelných pnutí. Z tohoto důvodu se vlastní ohřev při tepelném zpracování uskutečňuje různými způsoby. Obvykle se skládá z více fází a začínají se prodlevy, protože je v průběhu ohřevu potřeba měnit jeho rychlost a je potřeba vyrovnávat teplotu povrchu a jádra součásti.

Ochlazováním rozumíme pochod, jímž se snižuje teplota výrobku na žádanou hodnotu určitou rychlostí. Rychlost ochlazování závisí především na chladicím prostředí a lze ji upravovat pomocí parametrů jako je proudění, teplota a vsázkování. Volí se podle požadavku na výslednou strukturu. Pro různé způsoby zpracování se tak výrazně liší. Chlazení může probíhat v peci s regulovaným poklesem teploty a rychlost ochlazování je pak malá. Naopak pokud je výrobek chlazen ve vodní nebo olejové lázni dosahuje se rychlostí až několik stovek °Cs<sup>-1</sup>. Průběh ochlazování závisí na způsobu přenosu tepla při různých teplotách výrobku.

### 2. TYPY KALICÍCH MÉDIÍ

**Oleje** jsou nejrozšířenějším kalícím prostředkem pro nízkolegované i vysokolegované oceli (např. kalitelné korozivzdorné oceli).

**Voda** je nejčastějším kalícím prostředkem především pro nelegované a nízkolegované oceli, zejména pro součásti velkých rozměrů. Rychlost ochlazování je u vody i přes velkou závislost na teplotě a rychlosti proudění vody největší ze všech běžně používaných kalících prostředků. Nejvyšší ochlazovací rychlosti se dosahuje při teplotě vody kolem 20 °C.

**Polymerní roztoky** vyplňují velkou mezeru mezi ochlazovací rychlostí vody a kalícího oleje. Uplatňují se především v případech, kdy vodu ani olej nelze z technologických, ekologických či bezpečnostních důvodů použít. Oproti olejům mají polymerní roztoky výhodu ve větší ochlazovací rychlosti, jsou nehořlavé a netvoří škodlivé zplodiny. V porovnání s vodou je rychlost ochlazování menší a je zejména závislá na koncentraci roztoku.

Schéma srovnání ochlazovacích rychlostí různých typů kapalných prostředí je uvedeno na obr.1

Intenzita ochlazování jednotlivých kalících médií



Obr. 1 Intenzita ochlazování různých kalících médií.

### 3. KALÍČÍ VANY

#### 3.1 Typy kalíčích van

##### 3.1.1 Samostatné kalíčí vany

Klasické provedení vany od objemu 1 m<sup>3</sup> do více než 100 m<sup>3</sup>. Vany jsou podle typu vsázky řešeny ve tvaru kvádrů nebo válců. Obvykle jsou konstruovány pro jedno z používaných médií tj. olej, voda nebo polymer. Pro manipulaci se vsázkou používají ruční přípravky a kleště (u malých kalíčích van), pro větší vsázky však s ohledem na hmotnost pomocné nebo halové jeřáby.

##### 3.1.2 Průběžné

Průběžná kalíčí vana je umístěna jako součást technologie průběžných válečkových pecí pro tepelné zpracování dílů. Jako média se převážně s ohledem na druh výrobků (zápustkové výrobky) používají média olej nebo polymer.

Vlastní zakalení zajišťují mechanismy umístěné vně nebo uvnitř vany.

Při použití kalíčích oleje je nutné dále provést mezioperační oplach proto, aby z výrobků byly odstraněny zbytky oleje před vstupem do popouštěcí části zařízení.

#### 3.2 OSAZENÍ KALÍČÍ VANY

Každá kalíčí vana mimo vlastní nádoby s kalíčím médiem je osazena dalšími částmi zařízení, které zajišťují jak technologické podmínky kalení, tak zajišťují přípravu média při a po kalení.

##### 3.2.1 Systém cirkulace

V principu každá kalíčí vana musí být osazena systémem cirkulace pro zajištění utržení parního polštáře a dále pro rovnoměrné ochlazení zpracovávaných dílů při procesu kalení. Vhodné víření lázně zrovnoměňuje teplotní pole v objemu kalíčích média při procesu kalení tak i následně při vychlazení nebo nahřátí. Obvykle pro tuto technologii se používají míchadla umístěná v kalíčích vaně, vnější čerpadla nebo systém trysek umístěných po obvodu kalíčích vany a ve dně. Vhodné řešení vychází z charakteru výroby, typu vsázky a manipulace se vsázkou.



Obr. 3 Detail rozvodů média do trysek kalíčích vany

##### 3.2.2 Topení vany

Pro přípravu a udržení pracovní teploty kalíčích média je vhodné, respektive v některých případech (zvláště u polymeru) nutné osadit kalíčí vany topným systémem s jednoduchou regulací na nastavenou teplotu. Ve většině případů se používají uzavřená topná tělesa umístěná v blízkosti míchadel tak, aby při nahřívání vany byla zajištěna vhodná proudění média a zároveň bylo zajištěno dostatečné proudění okolo topných těles pro přenos tepla do média a nedocházelo k lokálnímu přehřívání média.



Obr. 2 Kalíčí vana – součást linky tepelného zpracování

### 3.2.3 Chlazení vany

Po procesu kalení je nutné tuto energii z kalicího média odebrat. Ve většině případů se pro ochlazení používají deskové výměníky v režimu kalicí médium / voda. Obvyklé řešení komplexní chladicí jednotky, kromě vlastního výměníku, dále obsahuje oběhová čerpadla, filtraci média, systém regulace a záznam důležitých parametrů pro lepší orientaci fungování systému a údržby.

Jako možnou variantu je možné dále použít i výměník typu kalicí médium / vzduch. V tomto případě je také možné ohřátý vzduch vypouštět do prostoru haly jako systém vytápění provozů.

V některých případech lze uvažovat o využití energie odebírané z kalicí lázně jako zdroj tepla pro vytápění nebo ohřev TUV.

### 3.2.4 Systém regulace a řízení

Dnes je již standardem při provozu kalicích van, že mimo řízení teploty média je používáno i řízení chlazení (výměnkové stanice), spínání příslušných čerpadel a míchadel.

V případě polymeru pro zajištění životnosti média je nutné řízeně dodržovat jeho provozní a udržovací teploty a zajistit pravidelné řízené promíchávání, jinak může dojít k jeho rychlé degradaci.

## 4. POLYMERY

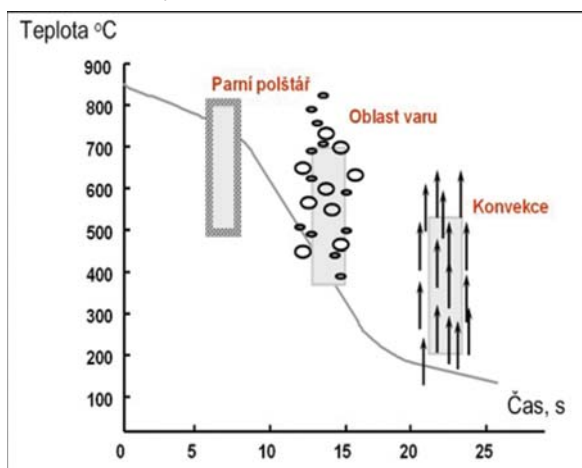
### 4.1 Princip zpomalování ochlazovací rychlosti vodních lázní pomocí polymerů

Během ochlazování v kapalném médiu, které vytváří parní fázi, např. ve vodě nebo v oleji, dochází ke třem fázím ochlazování. V první fázi se vytvoří během krátké doby značný objem páry, která po počátečním velmi rychlém ochlazení součásti tuto součást izoluje. Nastane tzv. perioda parního polštáře, během které je rychlost ochlazování součásti velmi pomalá. Po určité době se izolující parní polštář od součásti odtrhne a součást je ochlazována intenzivním varem kapaliny. Ochlazovací mohutnost je dána skupenským teplem vypařování. Po skončení intenzivní fáze varu ochlazování dále pokračuje poměrně pomalu mechanismem konvekce - proudění. Všechny tři fáze jsou patrné na obr. 4.

V roztoku polymeru dochází k pokrytí povrchu součásti tenkou vrstvou polymeru. Tenká vrstva polymeru zabraňuje odtrhávání parního polštáře od povrchu kalené součásti. To výrazně snižuje rychlost ochlazování ve srovnání s vodou. Stejný mechanismus probíhá také v oblasti varu, během které se zpomaluje var, a tím i odvod tepla a rychlost ochlazování.

S rostoucí koncentrací se intenzita tohoto jevu zvyšuje. Proto se s koncentrací polymeru ochlazovací rychlost ochlazování ve všech fázích snižuje.

V konvekční fázi rovněž dojde k mírnému zpomalení proudění, a tím i snížení rychlosti ochlazování.



Obr. 4 Schematické znázornění jednotlivých fází kalení do kapalných kalicích prostředků

### 4.2 Výhody a nevýhody použití roztoků polymerů

Při nahrazování oleje polymerem je nutné zvažovat všechny výhody a nevýhody obou postupů. Výhody a nevýhody jsou stručně shrnuty v následujícím popisu

#### 4.2.1 Výhody polymeru oproti oleji

- Roztok polymeru není hořlavý – největší výhoda
- Kalení do polymeru výrazně méně zatěžuje životní prostředí

- Redukce rizika kontaminace životního prostředí při úniku kalicího prostředku jako u olejů
- Nevzniká olejová pára, kouř a saze při kalení
- Snížení zdravotního rizika
- Lze měnit ochlazovací schopnost roztoku v závislosti na koncentraci polymeru ve vodě
- Na povrchu kalených součástí nevzniká spálený olej -karbon, který by jejich povrch znečišťoval a způsobil vývoj kouře při popouštění
- Je možné zcela vypustit proces praní, protože zbytky polymeru při dostatečně vysokých teplotách popouštění (vyšších než 400 °C) shoří na oxid uhličitý a vodní páru
- Cena kalicí lázně i provozu je nižší

### 4.2.2 Nevýhody

- Kalicí lázně na bázi polymeru jsou náročnější na kontrolu lázně
- Vodní roztoky polymerů nejsou vhodné pro uzavřené kalicí lázně, např. pro víceúčelové pece – to není případ lázní u komorových a průběžných pecí
- Je nutné počítat s mírně vyšší deformací součásti ve srovnání s olejem. Deformace je však výrazně menší než po kalení do vody. S rostoucí hmotností součásti tato nevýhoda ztrácí na významu. U polotovárů rovněž hraje deformace menší roli než při kalení hotových výrobků.
- Vyšší opotřebení kalicích přípravků v porovnání s kalením do oleje - cena přípravků nehraje příliš velkou roli ve srovnání s ostatními výhodami.
- Životnost lázně závisí více na udržování čistoty lázně - doporučení pro údržbu lázní

### 4.3 Polymery pro objemové kalení

V současné době se pro objemové kalení používají polymery na bázi PVP (polyvinilpirrolidinu)

V závislosti na koncentraci PVP ve vodě je možné dosáhnout ochlazovacích účinků srovnatelných s olejovou lázní. V současné době jsou na polymery kladeny zvýšené požadavky z hlediska zdravotních a bezpečnostních rizik. Zatím pouze v automobilovém průmyslu je nastolen požadavek používat polymery neobsahující bor a formaldehyd. Jako reprezentant tohoto typu je možné uvést Polyquench VP85KB-F1. Přípravek je vhodný pro zušlechťování legovaných ocelí, při vhodné úpravě technologie kalení je možné použít i pro zušlechťování vysocelegovaných ocelí s vysokou náchylností k praskání. Přípravek lze velmi dobře použít i při vytahování z lázně za tepla, protože zplodiny nejsou závadné a nezapáchají. Tím se zvyšuje rozsah jeho použitelnosti. Jsou známy aplikace i pro velké součásti a v lázních o objemu až 400 m<sup>3</sup>.

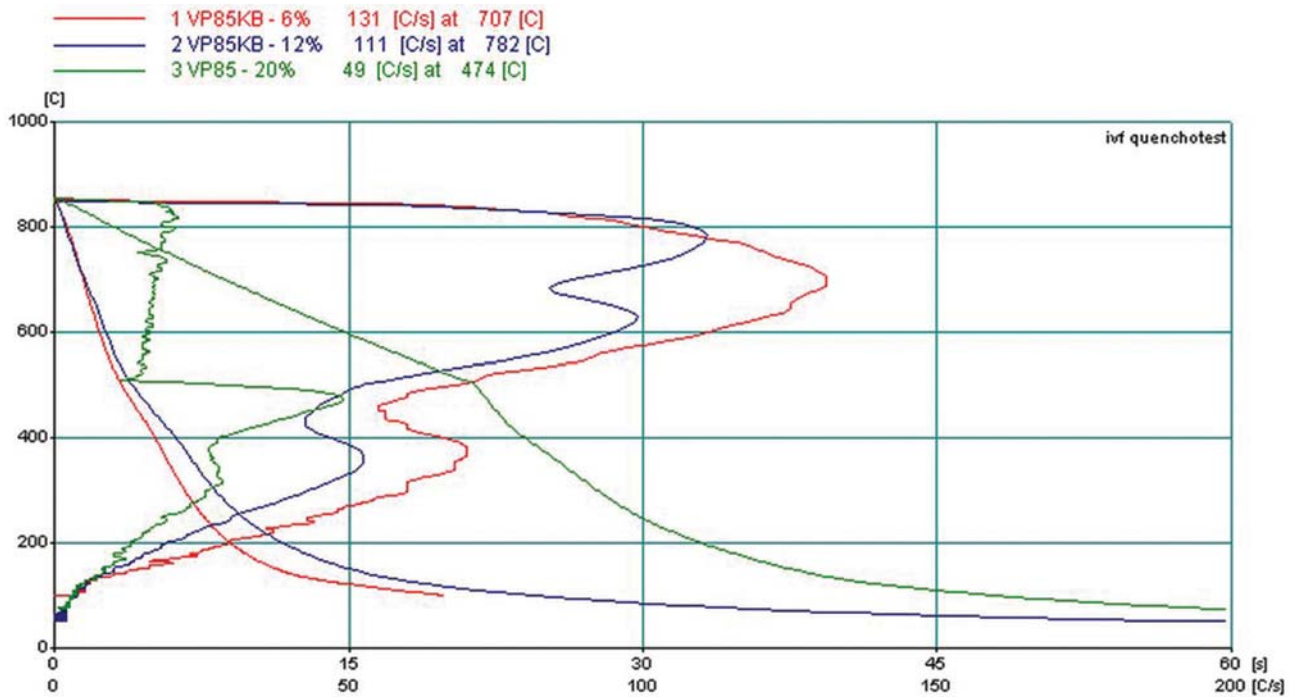
### 4.4 Závislost rychlosti ochlazování na koncentraci polymeru

Rychlost ochlazování roztoku polymeru je výrazně závislá na jeho koncentraci. S rostoucí koncentrací jsou na křivce ochlazování vidět následující změny, obr 5:

- prodlužuje se období parního polštáře a zpožďuje se nástup ochlazování varem
- snižuje se maximální ochlazovací rychlost
- mírně se snižuje teplota maximální ochlazovací rychlosti
- snižuje se celkové odvedené teplo za časovou jednotku - zmenšuje se plocha pod křivkou ochlazování

### 4.5 Vliv teploty vody nebo polymeru na ochlazovací rychlost

Z literatury je známá skutečnost, že ochlazovací rychlost vody nebo vodního roztoku polymeru závisí kromě jiných veličin výrazně také na teplotě lázně. Teplotní závislost je dána poměrně nízkou teplotou vypařování vody ve srovnání s olejem. Do teploty 30 až 40 °C se ochlazovací rychlost výrazně nemění, avšak při zvýšení teploty z 50 na 60 °C dochází již ke skokové změně ochlazovací rychlosti. Při ještě vyšší teplotě blízké se bodu varu dochází k výraznému snížení rychlosti ochlazování v důsledku velmi dobré izolační schopnosti parního polštáře. Stabilita par-



Obr. 5 Závislost ochlazovací schopnosti polymeru Polyquench VP 85KB-F1 na koncentraci

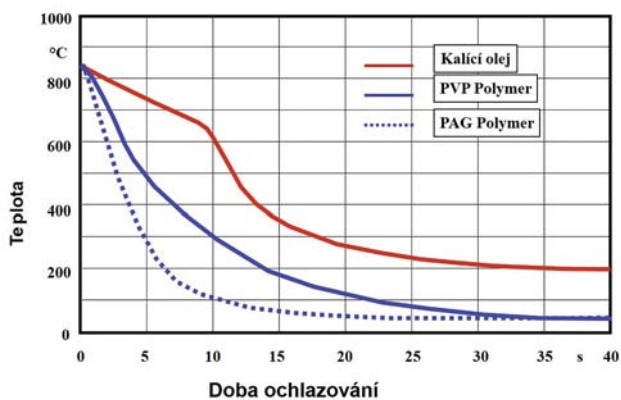
ního polštáře s rostoucí teplotou teploty vody před kalením součásti výrazně roste. Při teplotách blízkých se bodu varu roztoku se ochlazování prakticky zastavuje.

Je zřejmé, že teplotu polymeru je potřeba udržovat na konstantní hodnotě, protože změna teploty vody způsobuje výraznou změnu ochlazovací rychlosti. Při nárůstu teploty polymeru nad 45 °C klesá ochlazovací rychlost roztoku. Pokud tedy dochází k přehřívání vrchních vrstev lázně, je ochlazování horních oblastí součásti výrazně nižší. Chlazení a cirkulaci lázně je potřeba provést tak, aby byla teplota při nejhustěji uspořádané vsázce, případně největší vsázce, byla stále v rozmezí 20-45 °C, případně v rozmezí ještě užším, záleží na ostatních parametrech kalení.

Mezi jednotlivými cykly ochlazování (před kalením další součásti) se musí teplota lázně vrátit na výchozí teplotu nebo na teplotu, která zaručí, že při kalení další vsázky nedojde k nárůstu konečné teploty lázně nad 50 °C. Optimální je, aby k ochlazování lázně docházelo průběžně, tak jak dochází k ohřevu lázně kaleným předmětem.

## 5. ZÁVĚR

Článek by měl nahlédnout na provedení kalících van, jejich částí a používaných médií. Jedním z hlavních směrů, kam by měl provozy tepelného zpracování směřovat, je poukázat na moderní řešení, vyšší flexibilitu možností nastavení parametrů jako je rychlost proudění, teplota a náhradu olejové náplně za roztok polymeru s ohledem na pracovní a životní prostředí



Obr. 6 Porovnání doby chlazení pro jednotlivá média