



## Vliv technologie tepelného zpracování na řezivost RO nářadí

Dr. Ing. Miloslav KESL

PILSEN TOOLS s.r.o., Plzeň, Česká Republika

Příspěvek vychází z dlouholetých zkušeností fy PILSEN TOOLS s.r.o. s výsledky tepelného zpracování kovů, především ocelí a dává de facto odpověď na otázku, proč významní výrobci moderních vakuových zařízení se vždy srovnávají s výsledky, které je možné získat při zpracování v solných lázních. Na mnoha případech jsou prakticky konfrontovány přednosti a nedostatky jednotlivých technologií ve vztahu na ekonomické a užité parametry výrobků, především z oboru speciálního nářadí. Kritériem hodnocení technologií nejsou jen dosažované parametry nákladové, strukturní, mech. a fyzikálních hodnot, atd., ale i dodržování ekologických (EMS - ISO 14000) a bezpečnostních (OHSAS 18001:2007).

**Klíčová slova:** tepelné zpracování, vakuová pec, solná lázeň

### 1 Význam tepelného zpracování

Jednou z nejexponovanějších technologických operací ve výrobní etapě je proces tepelného zpracování, který musí garantovat vysoké parametry z hlediska užitných vlastností, tj. řezivosti, otěruvzdornosti, stálost rozměrů i geometrie, odolnost proti degradačním procesům jako je např. oxidace, homogenita napěťových stavů, mechan. a fyzikálních hodnot, ....

Průběh a úroveň TZ ovlivňuje až z 80% užité vlastnosti především řezného nářadí.

Obecně platí, že vlastnosti kovů a jejich slitin lze ovlivnit:

- a) legováním základ. kovu (Fe) jiným prvkem (legurou – Mn, Cr, V, W, Mo, Co, ...);
- b) plastickou deformací za studena (výroba závitů tvářením, tah. zkouška, ...);
- c) kalením (martenzitickou) nebo zušlechťováním (bainitickou) přeměnou (bezdifúzní transformací);
- d) precipitačním vytvrzováním (např. při kryogenním zpracování, ...);

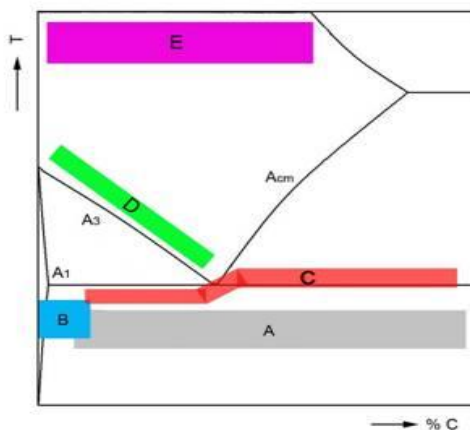
Vlastnosti oceli jsou závislé nejen na chemickém složení, ale především na struktuře – tj. na fázovém složení, na tvaru a uspořádání jednotlivých fází. Požadované struktury se dosahuje u ocelí vhodného chemického složení tepelným zpracováním. Tepelné zpracování zahrnuje všechny postupy, při nichž se vnitřní stavba kovu cíleně mění pomocí změn teploty.

### 2 Technologie změn struktur

Při tepelném zpracování mohou probíhat změny struktury de facto ve dvou směrech:

a) je-li **struktura v nerovnovážném stavu**, lze použít postupů směřujících k dosažení termodynamické rovnováhy, kterou představuje známý diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C. Tyto postupy se souhrnně označují jako **žihání**, jejichž cílem je snížit vnitřní pnutí ve struktuře, zlepšit technologické vlastnosti (např. obrobiteľnosť – změna lamelárního perlitu na globulární, tzv. sferoidizace cementitu) a v neposlední řadě i snížení vlivu segregací při tuhnutí (homogenizace) a strukturních heterogenit (normalizace).

Procesy žihání se vyznačují velmi malou rychlostí změn teploty, čímž vznikají struktury blízké rovnovážným. Změny struktury při žihání jsou spojeny s fázovými přeměnami (žihání s překrytalizací) nebo pouze se změnami uspořádání fází (žihání bez překrytalizace).



Obr.č.1: Oblasti žhacích teplot v diagramu Fe - Fe<sub>3</sub>C: a) žhání na snížení pnutí, b) rekrytalizační, c) na měkko, d) normalizační, e) homogenizační

S ohledem na geometrii, tuhost, fyzikální vlastnosti dané ocele je nutné pro minimalizaci deformací vlivem teplotního gradientu povrch – jádro zvolit optimální průběh ohřevu.

b) druhou skupinou procesů je vytváření **nerovnovážných, silně přesycených struktur**, které vznikají rychlým ochlazením. Tyto procesy se označují jako **kalení**, přičemž rozeznáváme tyto způsoby: a) základní – přímé; b) termální; c) přerušované – lomené; d) izotermické – tzv. zušlechťování.

Nástroje ke kalení se musí ohřívat pozvolna a rovnoměrně! Nerovnoměrný ohřev vede k tvarovým deformacím a v krajním případě i k trhlinám. Je proto nutné ohřev realizovat v několika teplotních stupních. To se týká především ocelí RO a to z důvodu jejich nižší tepelné vodivosti  $\lambda[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ . Během ohřevu se nástroje musí chránit před zokuzením (oxidy při ochlazování působí jako izolant) a oduhlíčením povrchu (nebezpečí kolísání tvrdosti po TZ). Z tohoto pohledu je výhodný ohřev ve vakuu. Kontinuální ohřev v jedné peci lze provádět při ohřevu malých nástrojů z NO jednoduchého tvaru nebo i u rozměrnějších nástrojů, je-li kalicí teplota do 950°C, přičemž je ekonomické zakládat tyto nástroje do předehřáté pece při teplotě 350°C až 400°C, pak zvyšovat pozvolna teplotu na 550°C až 600°C a po prohřátí - prodlevě na této teplotě pokračovat v ohřevu větší rychlostí, nejvíce však 200°C za hodinu!

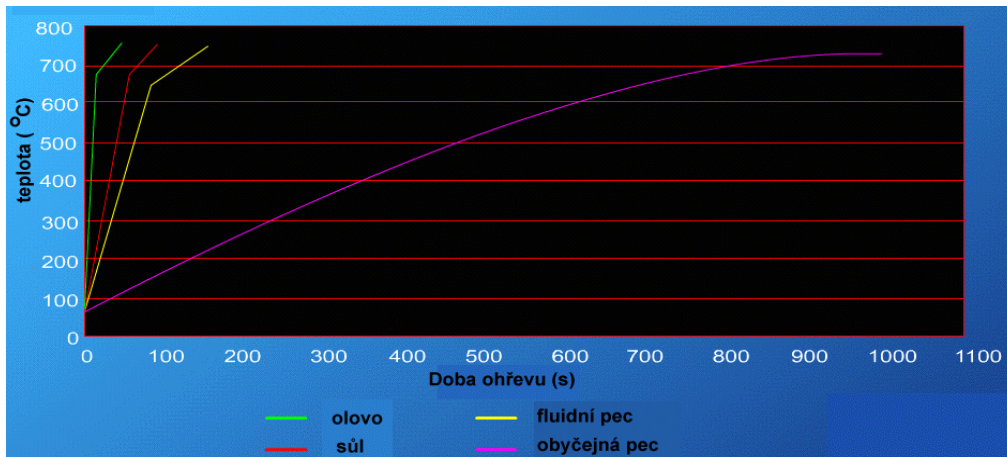
Nástrojové oceli slitinové s kalicí teplotou nad 950°C se ohřívají s předehřevem ve dvou stupních, např. 650°C a 850°C a to s prodlevou na vyrovnání teplot povrch - jádro v každém stupni. Po druhém stupni pak následuje ohřev na austenitizační teplotu.

Rychlořezné oceli se v prvním stupni předehřevu ohřívají při teplotě 450°C až 500°C a ve druhém stupni při 850°C. U nástrojů složitějších tvarů se doporučuje ještě třetí stupeň předehřevu při 1050°C.

Doby na vyrovnání teplot se volí přibližně 0,5 min. na 1 mm tloušťky ohřívávaného nástroje pro předehřev do 650°C a asi 1 minutu na 1 mm tloušťky při předehřevu na 850 až 900°C.

U rychlořezných ocelí jsou prodlevy s ohledem na vysoké kalicí teploty (nebezpečí zhrubnutí  $\gamma$  zrna, popř. vzniku tzv. „spálené“ oceli) výrazně kratší.

Doba ohřevu potřebná k dosažení kalicí teploty v celém průřezu nástroje závisí na průřezu, na výši předehřívací, kalicí teploty a použitém zařízení pro ohřev. K jejímu stanovení slouží různé diagramy (ARA) nebo tabulky závislosti doby ohřevu na průřezu, platné pro zvolené podmínky ohřevu. Určení optimálních dob ohřevu, jakožto funkce druhu média a přenosu (vedení) tepla (obr. 2) pro konkrétní nástroj, druh oceli a typ zařízení je však dáno **hlavně velkou zkušeností kaliče!!!**



Obr.č. 2: závislost rychlosti ohřevu na typu media a způsobu přestupu tepelné energie

### 3 Požadavky a faktory ovlivňující TZ rychlořezných ocelí.

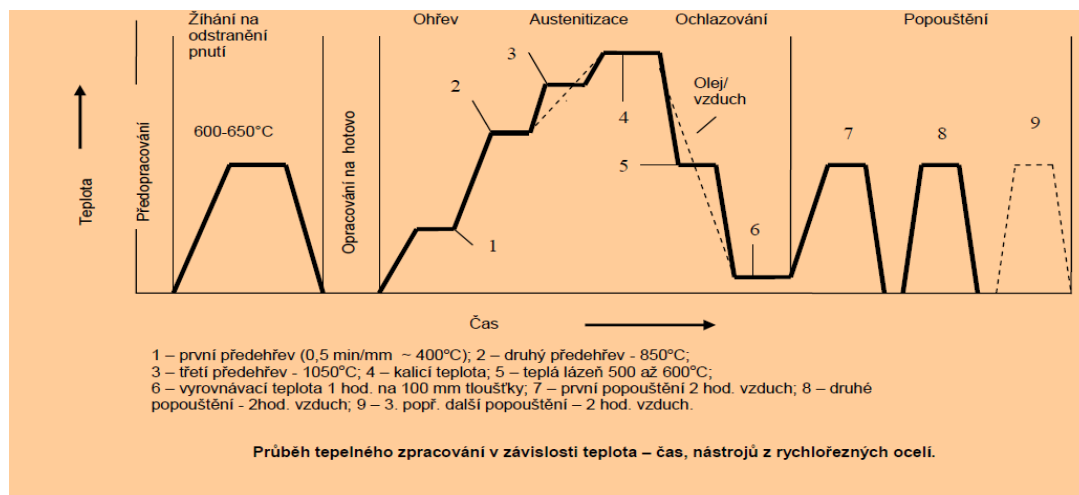
S ohledem na velmi širokou a složitou problematiku technologie TZ, se dále budeme zabývat jen TZ, které realizujeme při výrobě náradí z RO.

Základní požadavky na RO:

- vysoká řezivost a trvanlivost;
- vysoká tvrdost i za zvýšených teplot  $T \leq 600^{\circ}\text{C}$ ;
- vysoká odolnost proti všem mech. druhům opotřebení;
- vysoká houževnatost ve vztahu k tvrdosti a struktuře;
- značná odolnost proti popuštění (snížení tvrdosti, geometrickým změnám,...);
- min. a rovnoměrné změny vlivem transformací při TZ ;
- vyváženost mech. a fyzikálních vlastností;
- vyvážená obrobitelnost a obrusitelnost;

Jednou z rozhodujících operací, která ovlivňuje funkční parametry nástroje, je právě úroveň tepelného zpracování (TZ), a to nejen z hlediska dosažené tvrdosti, jakožto podmínka nutná, ale zejména dosažení optimální struktury ve vazbě na získání max. oteruvzdornosti proti abrazivnímu otěru v procesu řezání.

Konečné vlastnosti nástroje se získávají kalením a následným popuštěním viz obr.č.3.



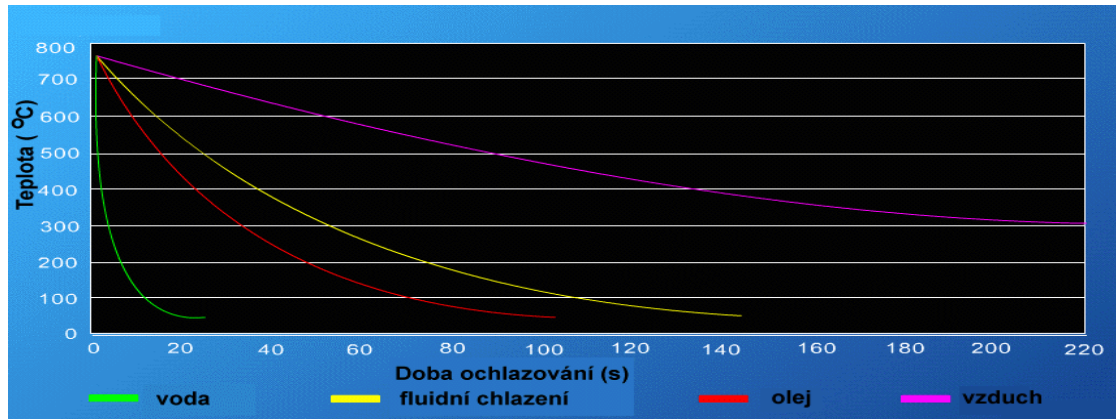
Obr. č. 3: obecný průběh TZ pro RO

Pod pojmem kalení se rozumí ohřev na teplotu austenitizace po které následuje rychlé ochlazení pod teplotu počátku vzniku martenzitu (Ms). Teplota austenitizace musí být zvolena tak, aby došlo k rozpuštění přiměřeného množství karbidů do roztoku a tím k **obohacení austenitu uhlíkem** a dalšími leg. prvky, které se na tvorbě karbidů podílely. Uvedení karbidů do roztoku je též funkcí času, proto je nutná i prodleva na teplotě austenitizace (kalicí teplotě). Ochlazení v doporučeném prostředí musí proběhnout takovou rychlostí, při které se co nejvíce austenitu přemění na martenzit. Přeměna na martenzit však není u RO úplná, a proto je nutno počítat s vysokým % tzv. zbytkového austenitu  $\gamma'$ .

Po dosažení kalicí teploty v celém průřezu musí ještě následovat prodleva na této teplotě, nezávislá na velikosti průřezu. U rychlořezných ocelí jsou prodlevy, s ohledem na vysoké kalicí teploty, výrazně kratší.

Po ohřevu za výše uvedených podmínek, kdy nástroj dosáhl kalicí teplotu v celém průřezu, následuje fáze řízeného ochlazování v prostředí, jehož volba závisí na druhu oceli, velikosti a tvaru nástroje. Nejběžnější ochlazovací prostředí jsou voda, olej, solná lázeň nebo plyn (vzduch,  $N_2$ , Ar, He,  $H_2$ ) viz obr.č.4.

POZN: plyny nemění své skupenství během ochlazování a teplo odvádí **konvekcí**;



Obr.č.4: závislost druhu média na rychlosti ochlazování

Každé prostředí umožňuje jinou ochlazovací rychlost, tj. rychlost poklesu teploty ve  $^{\circ}C$  za jednotku času (sec., popř. min.) viz obr.č.5.

## Kalicí účinek – Intenzita kalení

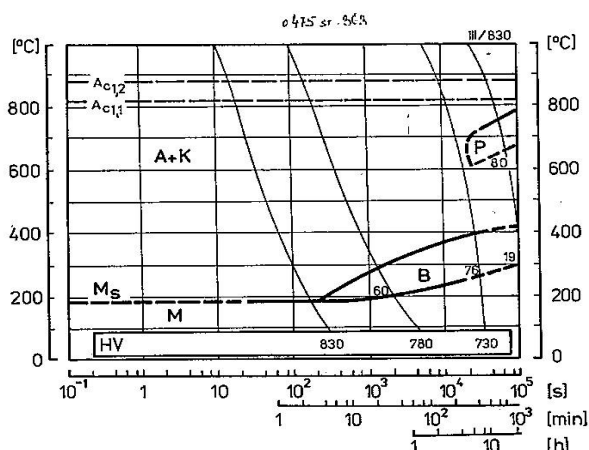


Obr.č.5: vliv prostředí na rychlosti ochlazování

Na rychlosti ochlazování z kalicí teploty závisí konečná tvrdost daná vznikem přesyceného martenzitu. Pro každý druh oceli existuje tzv. kritická ochlazovací rychlost, při které ještě probíhá přeměna austenitu na martenzit. Při kalení je proto nezbytné nastavit, použitím vhodného ochlazovacího prostředí, ochlazovací rychlost pro daný druh oceli a rozměr a tvar kaleného předmětu tak, aby byla větší než kritická (obr.č.6). Pomůckou k určení kritické ochlazovací rychlosti pro jednotlivé druhy ocelí jsou diagramy anizotermického rozpadu austenitu (ARA-diagramy), které popisují průběh rozpadu austenitu a vznikající struktury při plynulém ochlazování z austenitizační teploty.

Rychlost ochlazování by neměla být větší, než je pro docelení požadované tvrdosti nezbytně nutné. V opačném případě vznikají v kaleném nástroji nadměrná pnutí, která mohou vést až k destrukci nástroje, tzn. **kalit tak pomalu jak je možné, ale tak rychle jak je nutné !!!**

POLDI MAXIMUM SPECIAL MO5 – Ocel 19 830: austenitizační teplota 1210 °C



Obr. č. 6: ARA diagram pro ČSN 41 9830

Způsob ochlazování má zásadní vliv na: mikrostrukturu, homogennost pole tvrdosti, zbytková pnutí, mechan. vlastnosti a deformace.

Před definováním vlastního režimu TZ je nezbytné provést kvantifikaci polotovaru tzn.:

- charakteristika nástroje (mnohobřitý, rozměrově i geometricky náročný nástroj, ...);
- s velkým počtem vrubů;
- se značně nerovnoměrnou tloušťkou stěny;
- mat. – polotovar válcovaný- tj. nízký stupeň protváření a to znamená nebezpečí karbidické řádkovitosti („fragmentace ledeburitického síťoví“ – oslabení hranic původních austenitických zrn a nebezpečí iniciace křehkého interkrystalického porušení);
- vysoce legovaná rychlořezná ocel s ledeburitickou strukturou (litinové eutektikum) se špatnou tepelnou vodivostí;
- vysoké austenitizační teploty sebou nesou nejen odpevnění, ale i nebezpečí natavení po hranicích zrn tzv. „spálená ocel“;
- sklon k vylučování sekundárních karbidů po hranicích  $\gamma$  zrn při „pomalém“ ochlazování, zejména v rozmezí teplot  $T = 800\text{ °C} - 500\text{ °C}$  proeutektoidních fází, které způsobí nižší hodnoty tvrdosti HV, HRC.

Vysoká odolnost, především proti abrazivnímu a částečně adhezivnímu opotřebení u námi používaných (ČSN 41 9824, 41 9830, 41 9852, ...) ledeburitických ocelí (tzn. karbidicko-austenitického eutektika) je dána především tvrdou maticí spolu s rozpuštěnými karbidickými fázemi solidifikačního původu (eutektického) a precipitací legujících prvků v austenitu – tj. v  $\gamma$  zrně.

#### 4 Režimy TZ u tvarově a štíhlostně složitých těles

Vlastní TZ lze realizovat 2 způsoby:

- a) termálně – v solných lázních
- b) vakuově – ve vakuových pecích v inertní atmosféře

##### 4.1 Termální kalení v solných lázních – mat. ČSN 41 9830 (protahovací trn)

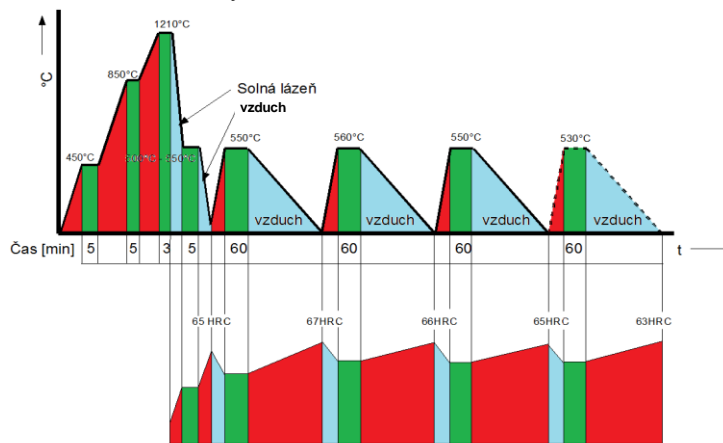




Obr. č. 7: ohřev na teplotu austenitizace



Obr. č. 8: fáze ochlazování v termální lázni



Obr. č. 9: grafický průběh tepelného režimu při TZ v solné lázni

Výsledkem tohoto režimu bylo získání výsledné tvrdosti po 3 x popouštění HRC = 63, dle zákonité transformační změny.

**Výhody** tohoto způsobu zpracování:

- pozitivní vliv vrstvičky ztuhlé soli z předešlého ohřevu (působí jako izolátor před tepelným šokem nástroje při zamáčení do následné solné lázně – 2. přehřevu);
- rovnoměrný ohřev, s konstantní rychlostí ohřevu povrchu nástroje v důsledku přestupu tepla vedením (kondukcí) a částečně prouděním (konvekcí);
- vztlaková síla nese těleso – platí Archimédův zákon, čímž se zamezuje větším deformacím (prodloužení) vlivem gravitační síly G;
- selektivní austenizační prodleva, tj. s ohledem na zub, nikoliv na celé těleso (HRC zubů = 63, tvrdost tělesa = 58HRC);
- krátká prodleva (max.3 min.) na austenizační teplotě, tzn. minimalizace růstu  $\gamma$  zrna, četnější výskyt náhodně rozptýlených primárních karbidů legujících prvků;
- min. výskyt proeutektoidních fází po hranicích zrn v mikrostruktúře vlivem odnímání tepla vedením v termální lázni – GS 430 při  $T = 540^\circ\text{C}$  je  $\alpha = 350\text{--}450 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  (viz obr. č. 8);
- možnost rovnání tělesa za tepla mezi  $T = 540^\circ\text{C}$  (teplota termální lázně) a počátku martenzické transformace  $M_s$  ( $T = 160^\circ\text{C}$ );
- přidáním inertoru R2 (na bázi Si) dojde k zamezení oduhlčení a oxidaci povrchu v solích GS 430, GS 670;
- struktura jemného, jehlicovitého, kubického (popuštěného) martenzitu s dobrou houževnatostí (KCV 2) - vliv malých, četných, náhodně rozptýlených, nerozpuštěných primárních karbidů legur);
- časově krátký průběh režimu TZ; vysoká flexibilita procesu;
- parciální, zonální, lokální TZ na jednom nástroji;
- flexibilní reprodukovatelnost procesu.

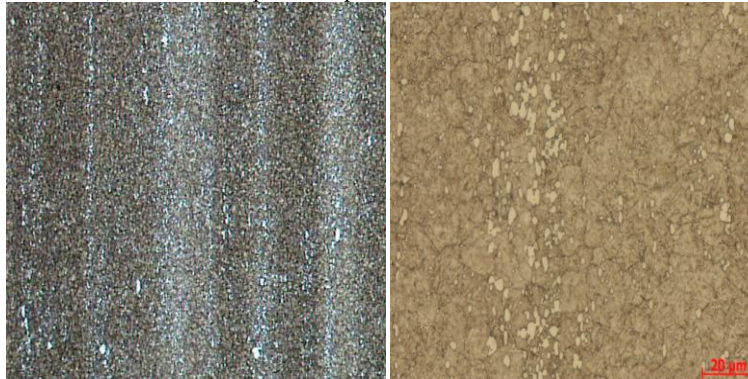
**Nevýhody** tohoto zpracování:

- ekologické dopady – likvidace škodlivého odpadu včetně zatížení prostředí jedovatými plyny (zejména od chloridu barnatého  $\text{BaCl}_2$ ) – nutnost intenzivního odsávání;
- POZN: k omezení škodlivých reakcí sole s povrchem oceli lze přidáním Si a grafitu do roztavené lázně tzv. „neutralita“ lázně;
- zhoršená bezpečnost práce;

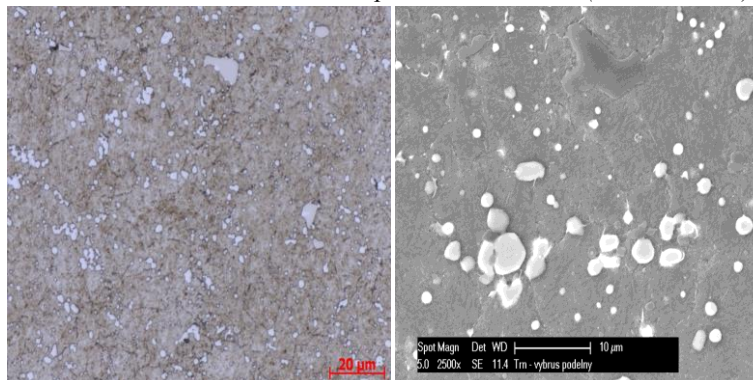
- omezené intervaly předehřevu – atmosférický přenos, větší tepelné šoky (teplotní gradienty povrch - jádro);
- vysoká závislost na zkušenostech a znalostech prac. - kaliče;
- vznik nerozpustných tuhých křemičitanů (s oxidy kovů) a jejich usazování ve spodní části lázně, tzv. zamrzání soli, čímž se snižuje funkční hloubka pece;
- % omezené využívání již použitých solí při novém tavení lázně;

Nejčastější zdroje chyb:

- nízká kalící teplota – neúplné rozpuštění karbidů legur, tzn. malý výkon, řezivost nástroje; náprava – vyžítat na měkko ( $T = 820^{\circ}\text{C} - 860^{\circ}\text{C}/4\text{hod.}$ ) a opětovně kalit;
- vysoká kalící teplota - vznik hrubého  $\gamma$  zrna, event. natavení po hranicích zrn, tzv. spálení (velmi nízká houževnatost); náprava - žádná, mat. nutno opětovně přetavit.



Obr.č.10: martenzitická struktura po TZ v solné lázni (zvětšeno 100x)

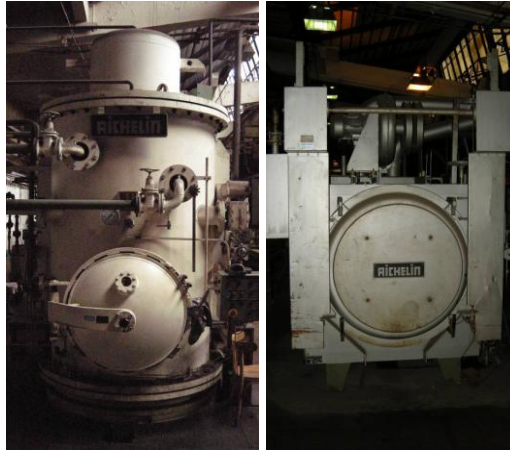


Obr. č.11: strukturní stav v podélném směru. Tmavý větší karbid obsahuje více vanadu, jedná se o primární karbid  $\text{V}_4\text{C}_3$ . Tyto karbidy jsou charakteristické svojí tepelnou stálostí a výskytem po hranicích zrn. Ostatní karbidy jsou na bázi  $\text{W}$  a  $\text{Mo}$ ,  $\text{Cr}$ .

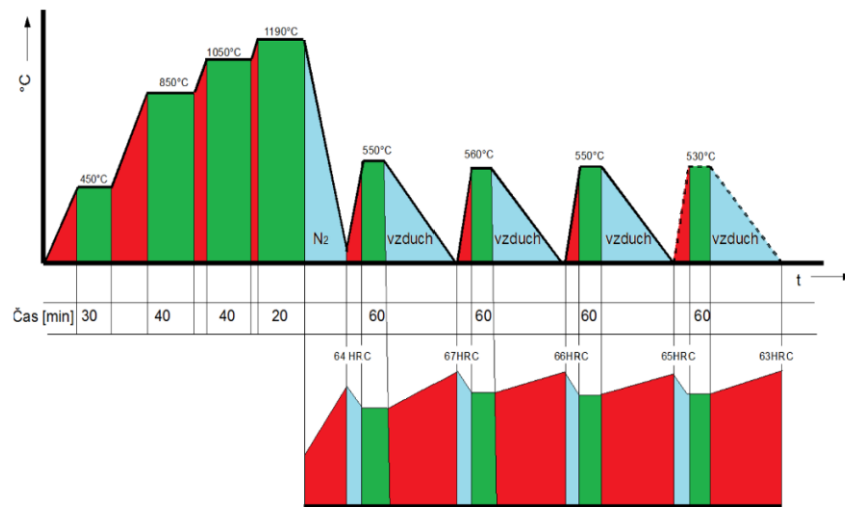
#### 4.2 TZ ve vakuových pecích s inertním plynem (mat. ČSN 41 9830 – protah. trn)

Uvedený způsob TZ byl realizován ve vakuových pecích AICHELIN (obr.č. 12) s přetlakem  $p \geq 0,2$  MPa dle režimu (průběhu) uvedeného na obr. č. 13.

Výsledkem bylo získání tvrdosti 64 HRC a značné objemové deformace (dáno podmínkami TZ a zákonitou transformací  $\gamma$  v  $\alpha'$ ).



Obr.č.12: kalicí a popouštěcí pec od fy Aichelin



Obr. č. 13: průběh tepelného režimu při TZ ve vakuových pecích



**Výhody TZ:**

- variantnost režimů (vícečetnost prodlev), intenzita - rychlosti předehřevů ve vazbě na tepel. vodivost dané jakosti oceli, tvar – geometrie a velikost nástroje, tepelný výkon pece, řízené přetlakové chlazení inertním plynem ( $N_2$ );
- lepší ochrana povrchu dílů před oduhličením;
- bezpečný, čistý, ekologický proces;
- rychlé ochlazení zamezuje vzniku proeutektoidních fází (zejména v intervalu teplot  $850^\circ\text{C} - 600^\circ\text{C}$ );
- průběh TZ dle stanoveného režimu, bez zásahu a vlivu lidského faktoru;
- čistý (bez oxidů), lesklý povrch;

**Nevýhody TZ:**

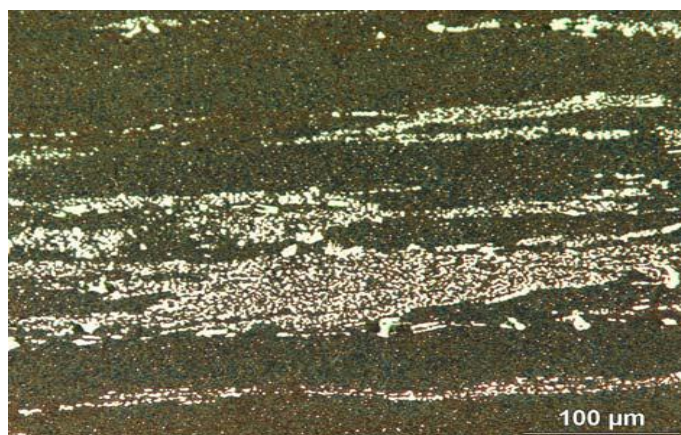
- podstatně delší průběh TZ v důsledku přenosu tepla pomocí elektromag. záření (sálání);
- poměrně dlouhá austenitizační prodleva vyvolává sklon ke zhrubnutí  $\gamma$  zrna, proto se volí teplota nižší (o ca  $20 - 30^\circ\text{C}$ ), než v solné lázni, ale na druhé straně se rozpustí menší % karbidů legur, což by teoreticky mohlo snižovat řezivost nástroje;
- nižší koeficient přestupu tepla (u  $N_2$  je  $\alpha = 259 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ );
- mikrostruktura je znázorněna na obr.č. 14, kde jsou patrná zhrublá austenitická zrna ....;
- nehomogenní teplotní pole (vysoký teplotní gradient) v průřezu nástroje během předehřevů a ochlazování - nebezpečí vzniku mikrotrhlin;
- při nedodržení nadkritické rychlosti ochlazování hrozí možnost lokalizace nerozpuštěných karbidů primárních leg. prvků podél hranic  $\gamma$  zrn, tzv. primární aglomerace karbidů, což snižuje houževnatost nástroje;
- pouze objemové kalení a zušlechťování;



Obr.č.14: mikrostruktura po TZ ve vak. pecích

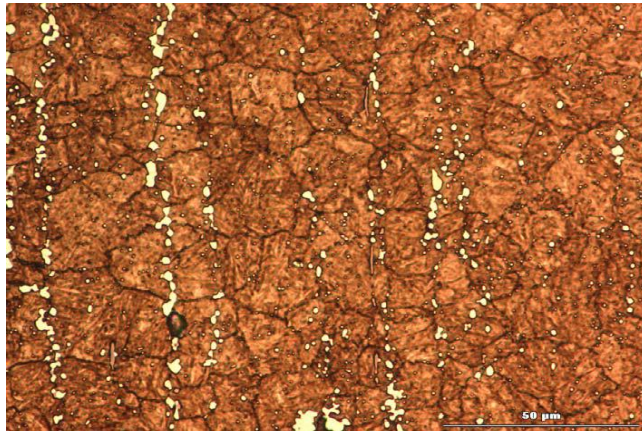
Na druhé straně výsledek TZ ovlivňují i další, velmi často podceňované faktory, jako je např. výchozí stav polotovaru, tj.:

- a) vliv karbidické nestejnorození (řádkovitosti), což ukazuje na nízký stupeň protváření



Obr.č. 15: karbidická řádkovitost ocele 19 830

b) vliv velikosti  $\gamma$  zrna (hrubé zrno – hrubý martenzit)

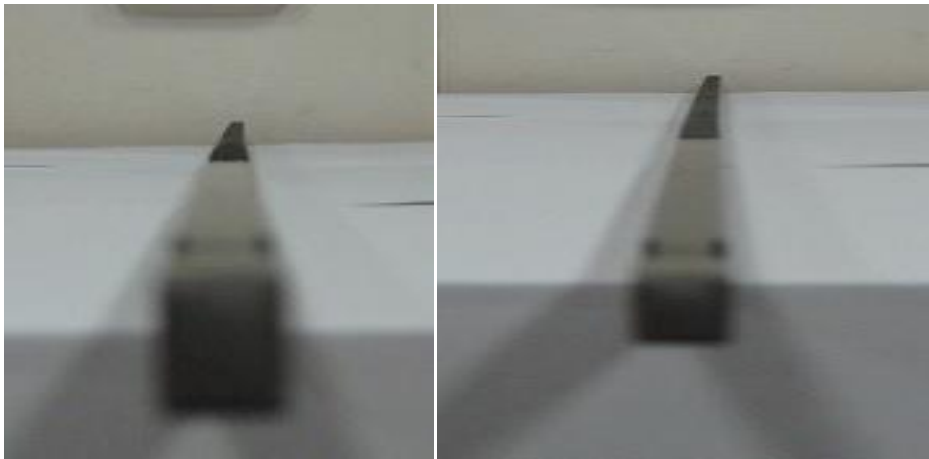


Obr.č.16: detailní snímek velikosti  $\gamma$  zrna (austenitu)

c) orientace vláken v polotovaru ve vztahu k funkčním plochám (břítu) nástroje

Bohužel, pokud se polotovar volí jen dle ceny, dostupnosti a kvalita (po chemické stránce, velikosti zrna, rozložení karbidických fází a množství případných nečistot (vměstků), mikrostruktura, ...) je až na posledním místě, pak tomu odpovídají i výsledky zkoušek nástroje (nízká řezivost, trvanlivost, ...).

Na druhé straně je však skutečností, že při vakuovém TZ dochází zejména u štíhlostně nevýhodných dílů (L:D) k enormním deformacím ( $w > 0,1\text{mm}$ ) viz následující obr. č. 17, 18.



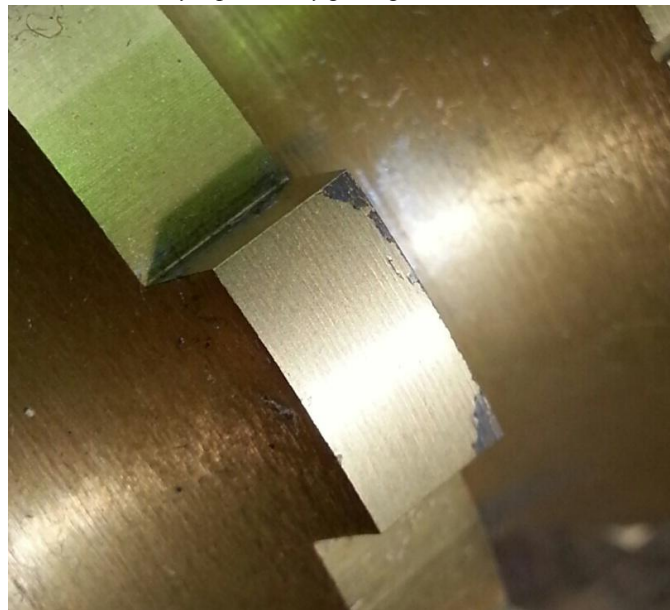
Obr.č.17: deformace nástroje po vakuovém TZ



Obr.č. 18: prasklé nástroje po zakalení ve vakuové peci Schmetz

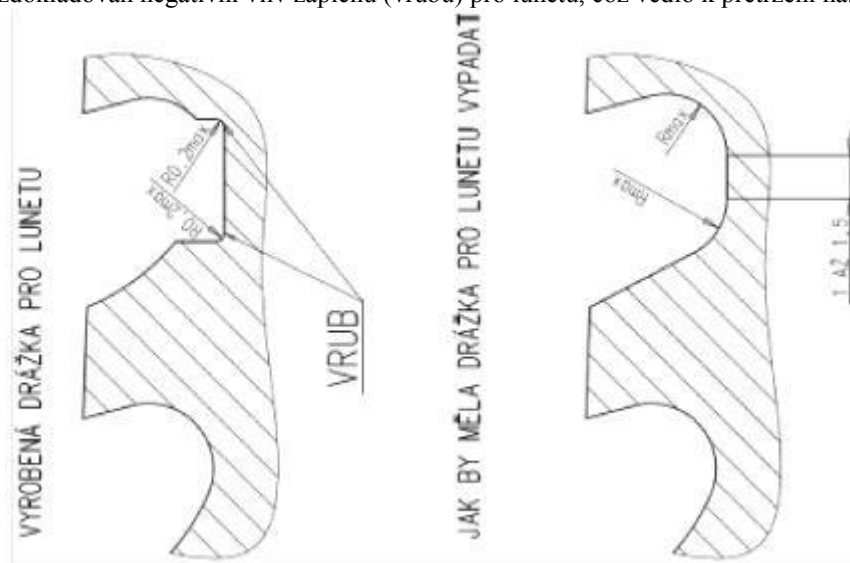


Obr. č. 19: vyštípané zuby po 1. průtahu – TZ ve vakuu



Obr. č.20: lavinovitý otěr břitu zubu PT

POZN: samozřejmě i konstrukce nástroje a technologické zpracování mají významný vliv na užité vlastnosti; na obr.č. 21 je zdokladován negativní vliv zápinu (vrubu) pro lunetu, což vedlo k přetržení nástroje;



Obr. č.21: vliv tvaru drážky pro lunetu na vrubovou houževnatost nástroje

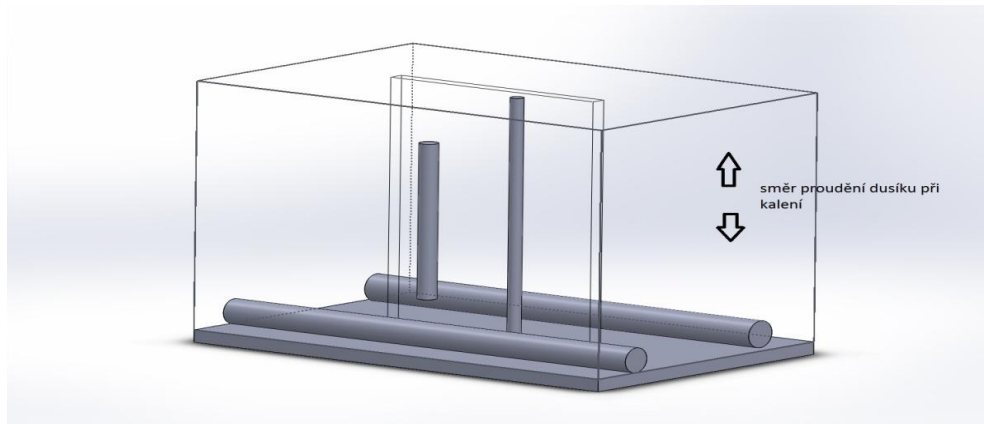


## 5 Diskuse, doporučení

- s ohledem na vysoce legované RO, zejména mechanismus krystalizace, ..., nelze získat ideální homogenní strukturu ani při použití polotovaru z vakuové metalurgie (VMR);  
POZN: bohužel, navíc i absence všestranného, objemového tváření v ČR má velký vliv na častý výskyt karbidické řádkovitosti u RO;
- pokud budeme požadovat od dodavatele velikost  $\gamma$  zrna dle Snyder-Graffa 8 – 12, ale i dodržení karbidické řádkovitosti v závislosti na průměru dle SEP 1615-75 (v našem případě skupina A5), technologii přetavovacího procesu ESU, popř. DESU, pak jen těžko najdeme vhodného dodavatele a navíc se stanou naše výrobky cenově neprodejně !!!;
- z uvedeného reálného stavu RO vyplývá zásadní otázka: do jaké míry uvedené vnitřní vady ovlivňují entropii soustavy (stav vnitřních pnutí) a následně superponují při zákonitých transformačních dějích při TZ (kde se nachází inflexní bod) a kdy je plastická deformace tělesa zákonitou reakcí na změny mřížek, mřížkových parametrů po TZ ?
- je nezpochybnitelné, že termální kalení v solných lázních je daleko „citlivější“ k těmto zákonitým transformacím (blíží se teoretické kritické rychlosti viz obr.č.7 ) a právě nadkritická ochlazovací rychlost dosahovaná ve vakuových pecích má za následek silné přesycení tuhého roztoku uhlíku v železe  $\gamma$ , navíc delší prodlevy na austenitizaci vedou k hrubnutí  $\gamma$  zrna, čímž po prudkém ochlazení vznikají dlouhé martenzitické jehlice šířící se průřezem rychlostí zvuku !!!! a výsledkem pak je nehomogenní napěťové pole (tah – tlak = ohyb tělesa !!!!, popř. i zkrut viz obr. č. 18,19);
- z uvedené dodávky od Schmolz – Bickenbach (viz atest) bylo vyrobeno 6 ks PT, kaleny v solných lázních bez výrazných problémů v TZ;

## 6 Závěr

Přestože přední výrobci vakuové techniky (Schmetz, Ibsen, IVA, SECO/WARWICK, KOPP, RUBIG, ...) na TZ kovů věnují max. snahu přiblížit zejména fázi ochlazování (řízené směry 2R, 2 x 2R, 2 PLUS, RD PLUS, sub zero,... viz obr.č.22) k podmínkám probíhající v termální lázni, tj. se stabilní kalicí charakteristikou, přesto se doposud nepodařilo štiřlostně náročným polotovarům z RO bez velkých deformací (vnitřního pnutí soustavy), popř. destrukce 100% zakalit.



Obr.č. 22: řízené ochlazování 2R ve vakuové peci

Pro kalení platí všeobecně tato základní pravidla; zakaleni je tím dokonalejší a vnitřní pnutí tím menší, čím více odpovídá teplota ohřevu teoretickým požadavkům. To ovšem vyžaduje dobře teplotně regulovatelnou kalicí pec a pokud možno přesné měření teploty termočlánky. Každé šetření na těchto investicích se projevuje větším odpadem při kalení a menší trvanlivostí nástrojů. K omezení vnitřních pnutí musí být nástroj již předem bez pnutí; nástroje složitější se tedy musí před kalením vyžít !!!

V rámci projektů CRYOTOOLS a EUROSTARS jsme řešili nestandardní metody (režimy kryogenního zpracování s následným popouštěním, simulace termálního režimu pomocí vzorku s termočlánky,...) TZ RO, přesto výsledky u štiřlostně nevýhodných poměrů  $L : d > 100$  jednoznačně dokazují, že i v moderních pecích dosud neumíme nasimulovat poměry blízké se solným lázním. Je to samozřejmě pro nás výzva k dalšímu výzkumu a ověřování režimů TZ, zvláště nyní, kdy jsme pořídili novou vakuovou pec od fy SECO/WARWICK.

**Abstract****Artilec:** Effect of heat-treatment technology to the cutting properties of HSS tools**Authors:** Dr. Ing. Miloslav Kesl**Workplace:** PILSEN TOOLS s.r.o., Plzeň, Czech Republic**Keywords:** heat treatment, vacuum furnace, salt bath

Contribution is based on long experience of the company PILSEN TOOLS s.r.o with heat treatment of metals, especially steels. The contribution gives an answer to the question, why important producers of modern vacuum furnace compare results of the heat treatment reached in vacuum furnace with results of heat treatment in salt bath. Advantages and disadvantages of each technologies are shown on practical examples from manufacture of special tools. The evaluation criterias of the technologies are costs, structure of material, mechanical and physical values, etc.. Further the technologies are evaluate according to environmental management system (ISO 14000) and safety norm (OHSAS 18001:2007).

