

Optimální postupy tepelného zpracování materiálů pro práci za tepla

Jiří Stanislav, Bodycote HT, CZ

1. Úvod

Tepelné zpracování nástrojových ocelí pro práci ze tepla patří k nejnáročnějším disciplinám oboru. Ne z hlediska vlastních postupů, které navíc podporuje stále sofistikovanější technika vakuových pecí, ale z hlediska optimálních výsledků životnosti. Tak jak jsou praktické aplikace variabilní, tak stejně variabilních výsledků je dosahováno v životnosti nástrojů a mnohdy je velice obtížné hodnotit nejenom příčiny, ale i důsledky.

Částečně je to dáno trvale vyskytujícími se vadami při výrobě nástroje – i když postupy jsou zřejmé, především ekonomické tlaky stále ještě vedou k vynechávání doporučených nebo dokonce zcela zásadních operací jen proto, aby došlo k úspoře nákladů při výrobě nástroje.

I přes tento stav můžeme dnes konstatovat, že existují obecné zásady, jejichž dodržováním a standardizováním lze postupně zvyšovat životnosti.

2. Materiál

Pokud budeme hovořit o materiálu, jedná se především o skupinu materiálů 1.2343, 1.2344 a dále 1.2365 nebo 1.2367 se zvýšenou odolností proti abrazi. Pro všechny tyto typy materiálů platí následující:

- materiál musí mít nízký obsah síry < 30 ppm
- materiál musí dezoxidován a musí mít přesně limitovaná množství nečistot a vměstků
- materiál musí být vyroben metodou ESR nebo VAC
- materiál musí mít definovanou velikost primárního zrna
- materiál musí mít minimální množství primárních karbidů a jejich rovnoměrné rozložení
- materiál musí mít definovanou houževnatost a ta musí být větší než minimálně povolená
- materiál musí mít vysokou odolnost proti tepelné únavě

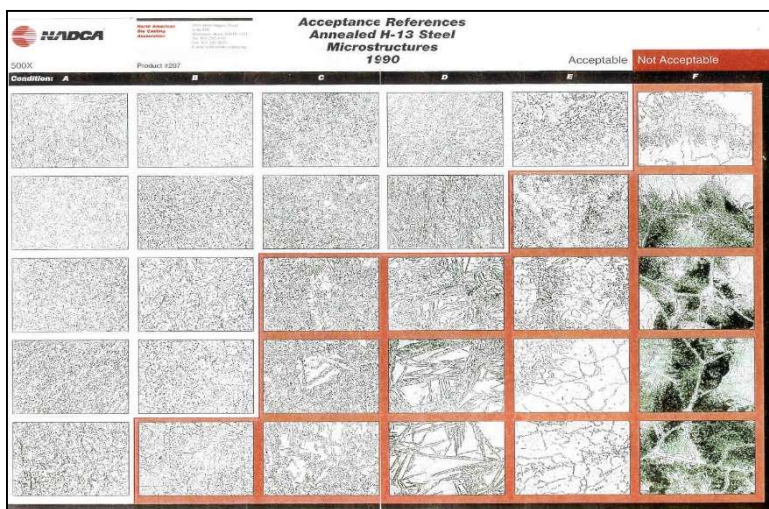
Proto, aby materiál splňoval uvedené vlastnosti, musí mít jednoznačnou definici svého původu. Proto, aby materiál zajistil potřebnou životnost, jsou jeho strukturální vlastnosti důležitější, než-li jeho chemické složení. Chemické složení u těchto ocelí vyhovuje (vyjma záměn materiálu) prakticky vždy, struktura však pouze někdy.

Platí jedno důležité pravidlo – nákup nekvalitního materiálu nemůže nikdy zajistit optimální výsledky životnosti, a nelze žádným, ani neoptimálnějším postupem tepelného zpracování zlepšit jeho mechanické vlastnosti.

Nákup kvalitního materiálu je podmínkou, proces výroby a tepelného zpracování může však výrazně snížit jeho výkonnost.

3. Výchozí struktura

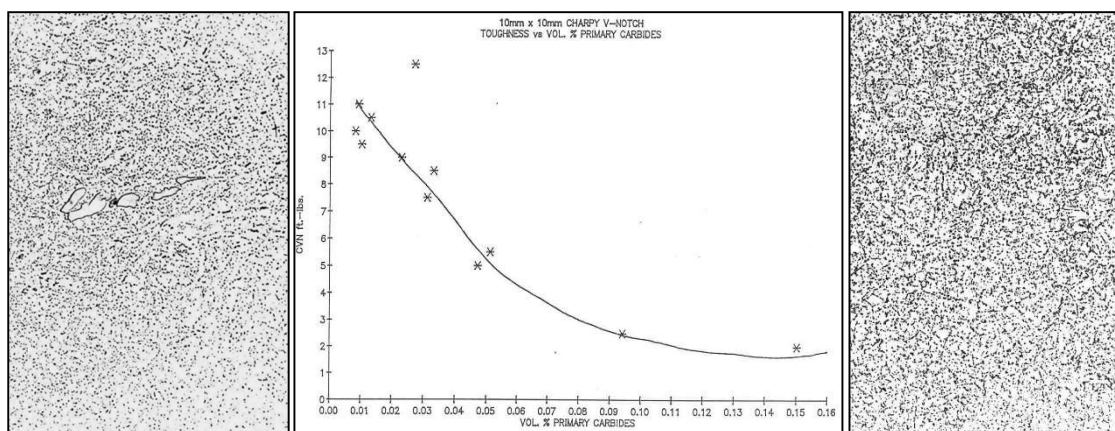
Výchozí struktura je důležitá pro přejímku materiálu. Její definice je dána např. normou NADCA 207-97 pro formy na tlakové lití, lze ji však obecně použít i pro jakoukoliv jinou aplikaci včetně tvářecích nástrojů. Ta určuje A) toleranci chemického složení materiálu, B) žíhací strukturu a její tvrdost, C) velikost a množství nečistot typu sulfidy, hlinitany, křemičitany a globulárních oxidů, D) nepřítomnost trhlin po ultrazvukovém testu, a E) zkoušky rázové houževnatosti.



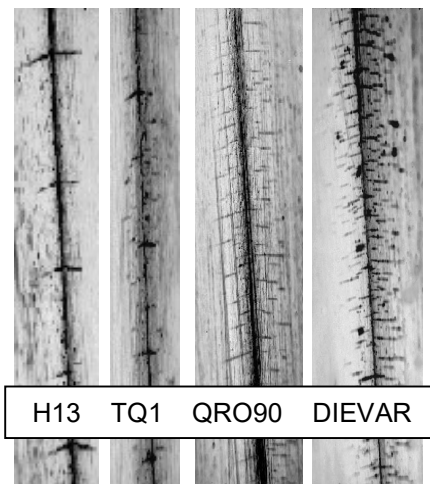
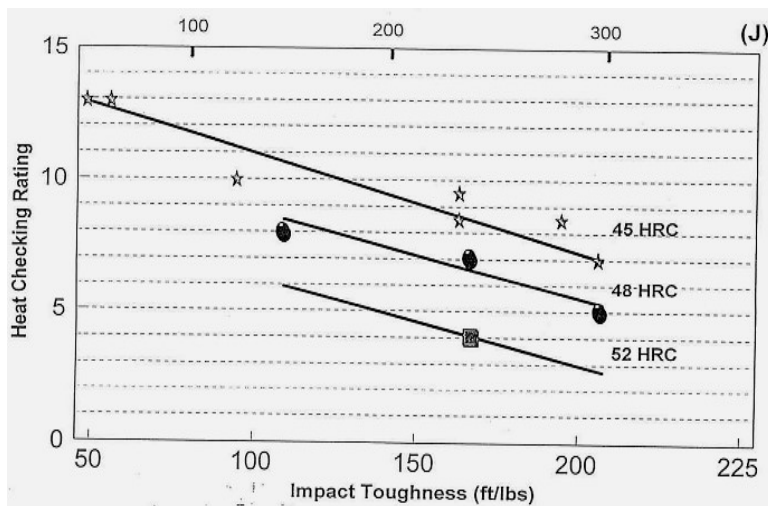
Obr.č. 1 Povolené a nepovolené žíhací struktury podle NADCA 207-9 [1]

Jedním z rozhodujících parametrů je jemnozrnnost struktury a ničím nenarušené hranice zrn. Tyto strukturní defekty (primární karbidy, oxidy, nečistoty) zcela zásadně snižují houževnatost oceli. Např. přítomnost a rozložení primárních karbidů může až 10x snížit houževnatost oproti ideálnímu stavu.

Na obr.č. 2 je graf závislosti mezi množstvím primárních karbidů a houževnatostí, na obr.č.3 pak závislost mezi množstvím trhlin z tepelné únavy a houževnatostí.



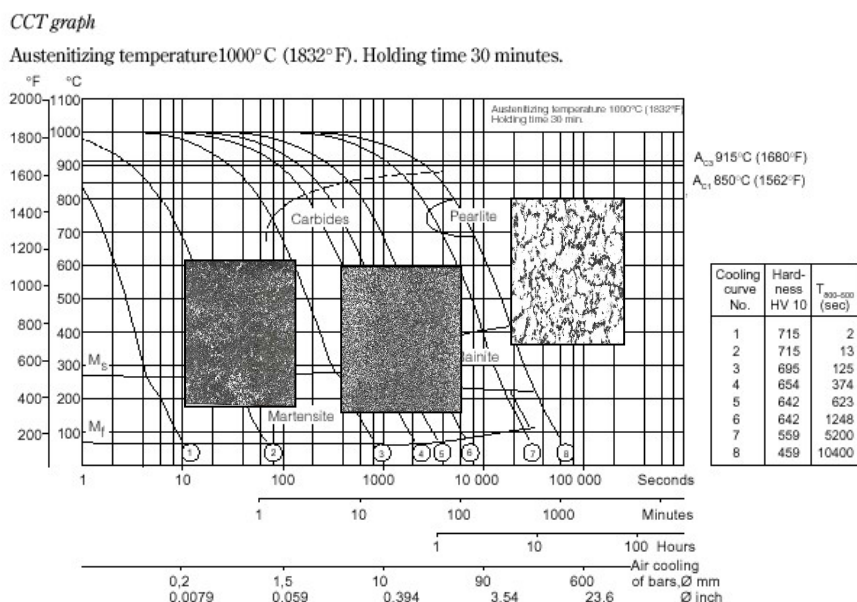
Obr. č. 2 Vliv množství primárních karbidů na houževnatost oceli [3]



Obr. č. 3 Vliv houževnatosti na odolnost proti tepelné únavě [3]

4. Tepelné zpracování

Tepelný zpracováním lze ovlivnit výsledné vlastnosti materiálu. Základním problémem je, že materiál musí být ochlazován tak rychle, aby nemohlo dojít k vylučování karbidů při přeměně austenitu. Na obr.č. 4 je typický diagram pro materiál typu 1.2343, kde kromě oblasti tvorby martenzitu je znázorněna i oblast vylučování karbidů, tvorby perlitu, popř. bainitu. Proto, aby ocel byla dobře zpracována, musí být volena taková ochlazovací rychlost, která umožní minout oblast precipitace karbidů. Tato rychlost by měla být větší jak 28 C/minut a to je zásadní parametr pro technické vybavení kalícího zařízení.

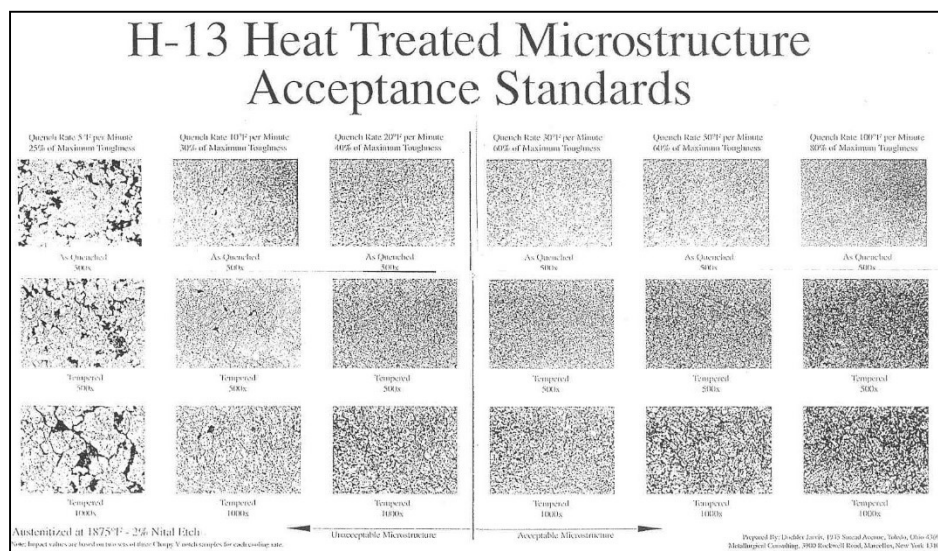


Obr. č. 4 - CCT diagram pro 1.2343 s různými strukturami dle rychlosti ochlazování [3]

Při nedodržení tohoto parametru hrozí, že buď bude matrice obsahovat větší množství karbidů než je přípustné, a nebo v horším případě, podíl perlitu nebo bainitu. Obě varianty snižují houževnatost a jsou nepřijatelné (viz tabulka č.1).

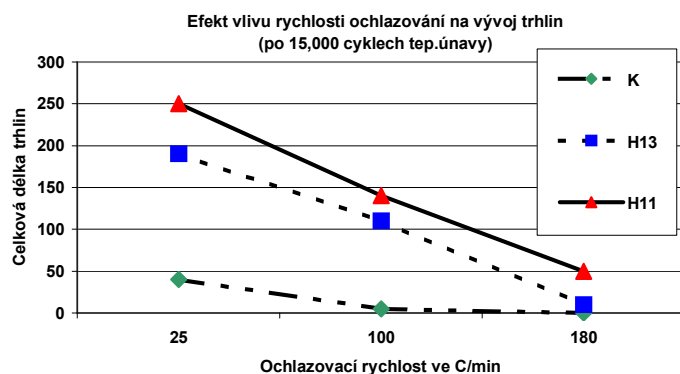
STRUKTURA PO KALENÍ	J/cm ²
Martenzit bez vyloučených karbidů	24-27
Martenzit s jemně vyloučenými karbidy	20
Martenzit s malým podílem bainitu	20
Martenzit s výrazně vyloučenými karbidy	16
Martenzit s výrazně vyloučenými karbidy a s podílem bainitu	9
Martenzit s podílem perlitu	5

Tab.č.1 Hodnoty rázové houževnatosti pro různé struktury [1]

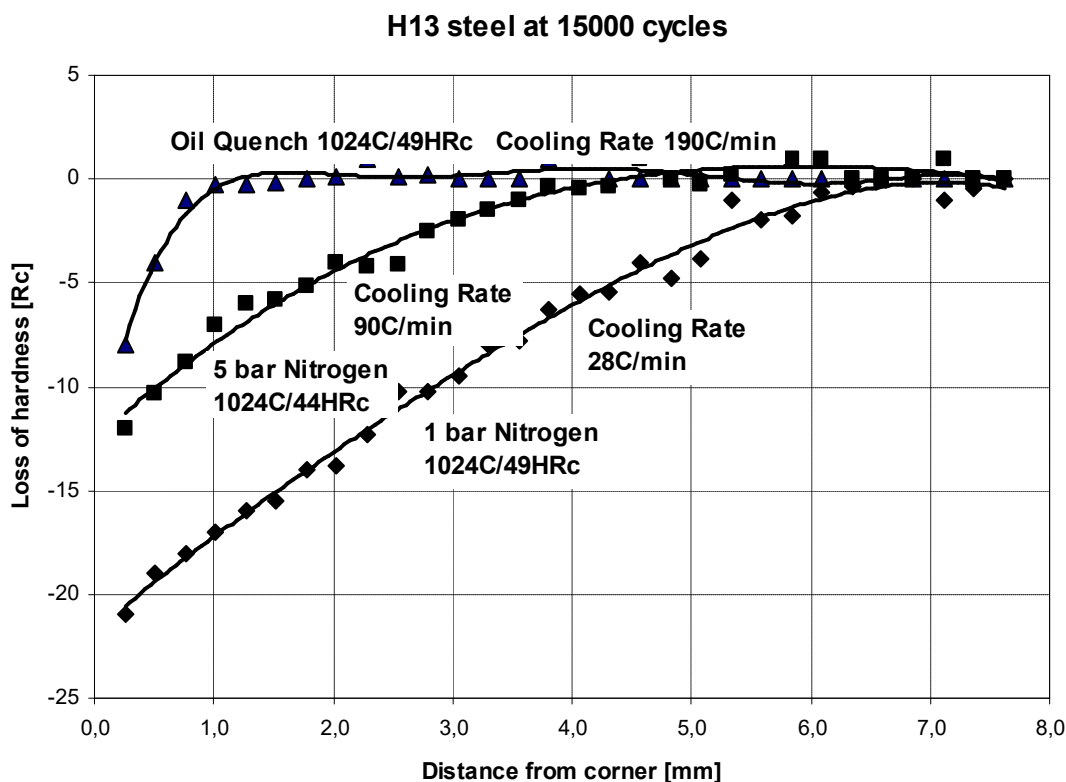


Obr.č. 6 - Struktury materiálu H13 (1.2344) po kalení – v levé části při ochlazování < 15 C/min, v pravé části při ochlazování > 30 C/min [1]

Struktury po kalení oceli H13 (1.2344), které jsou akceptovatelné, jsou na obr. č. 6. Požadovaných struktur lze docílit pouze za předpokladu, že budou zvýšeny rychlosti ochlazování. Ta je dána u vakuových pecí přetlakem dusíku, při kterém ochlazování probíhá, a dále konstrukcí pece, výkonem ventilátoru, chladiče atd. Je to tedy do značné míry individuální záležitost vlastního zařízení a výsledky z jedné pece nelze jednoznačně přenést do druhé. Vliv rychlosti ochlazování na tvorbu trhliny z tepelné únavy je na obr. č. 7, vliv na odolnost proti mikropopuštění na obr. č. 8. Rychlost 180 C/min odpovídá ideálnímu kalení vzorků do oleje, rychlost 25 C/min pak přetlaku cca 4 bar.



Obr.č. 7 Závislost tvorby trhlin z tepelné únavy na rychlosti ochlazování při kalení [2]



Obr.č. 8 Závislost stability tvrdosti oceli při dlouhodobé tepelné zátěži na ochlazovací rychlosti při kalení měřené v různých vzdálenostech od povrchu [2]

Austenitizační teplota je určena standardy nebo instrukcemi dodavatele oceli. Čas austenitizace je 30 minut na teplotě jádra počítáno od doby, kdy termočlánek v jádře dosáhl předepsanou teplotu (-) 15 C.

V případě, že při ochlazování je rozdíl teploty povrchu a jádra větší jak 200 C, nebo hrozí nebezpečí jejího dosažení, zařazuje se izotermická prodleva na teplotě 450 C pro snížení rozdílu teplot.

Proto, aby bylo dosaženo optimální struktury je nutné, aby díly byly 3x popouštěny. Tento požadavek vychází z toho, že každý materiál má po kalení určité množství zbytkového austenitu, který se po prvním popouštění transformuje na martenzit. I tento martenzit musí však být popouštěn 2x, proto je tedy nutné zařadit vždy třetí dodatečné popouštění.

5. Závěr

Optimální postupy tepelného zpracování ocelí pro práci za tepla obsahují ještě další podmínky, které nebyly uvedeny. Všechny ale sledují jediný cíl – zajistit maximální houževnost materiálu. Součástí výroby nástroje jsou žíhací procesy na odstranění pnutí, po elektroerozi, po navařování, popř. po zkoušení. Všechny tyto procesy, stejně jako kalení, musí probíhat pod ochrannou atmosférou nebo ve vakuu. Všechny procesy, které by mohly znamenat narušení hranic zrn např. oxidací, jsou zakázány.

Proces výběru materiálu je daleko důležitější než-li proces tepelného zpracování. Ani optimální postup tepelného zpracování nemůže nahradit, to co materiál není schopen dokázat. Proto všechna opatření výrobců nástrojů musí směřovat nejenom do kontroly dodavatelů tepelného zpracování, ale především do vlastních řad do oblasti nákupu oceli a jeho vstupní kontroly. Teprve v okamžiku, kdy je tento proces 100% pod kontrolou je nutno hledat optimální podmínky tepelného zpracování.

- [1] Nadca Publication 229 – Special Quality Die, Steel and Heat Treatment, Acceptance Criteria for Die Casting Dies
- [2] Nadca Publication 308 – Extended Die Life for Aluminum Die Casting, 2009
- [3] Corwyn Berger - Extended tool life on die casting, Presentation Brno, 1999