

Tepelné zpracování materiálů pro práci za tepla

Jiří STANISLAV,
HT-PROGRES, s.r.o., Bodycote Metal Technology

Abstract

Materiál a jeho tepelné zpracování pro formy hrají významnou roli při zajišťování životnosti forem pro zpracování hliníku. Významným aspektem je testování materiálu na rázovou houževnatost. Tato zkouška umožňuje rozlišit nekvalitní materiál od kvalitního. Stejně důležitým faktorem je však i původ materiálu, který jednoznačně ovlivňuje výsledek.

1. Úvod

Nárůst výroby nástrojů pro zpracování hliníku vede k tlaku na zajištění jejich životnosti. Vzhledem k tomu, že tento typ nástrojů je značně namáhán na cyklickou únavu při vysoké teplotě, tepelnými šoky, vysokým mechanickým namáháním a současně i abrazí, jedná se o velice složitý a komplexní problém, který nemá jednoduché řešení. Je známo, že pouze 15% nákladů na formu tvoří náklady na materiál a jeho tepelné zpracování, téměř však 50% poškození formy je těmito vlivy způsobeno. Proto nároky na výběr materiálu a jeho tepelné zpracování pro tyto aplikace se neustále zvyšují a je nutno jim věnovat patřičnou pozornost

2. Požadavky na materiál

Proto, aby materiál splňoval nároky na požadovanou životnost, jsou nutné některé předpoklady :

- 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, nejlépe podloženou CWRU testem (Case Western Reserve University „Dunker“test)

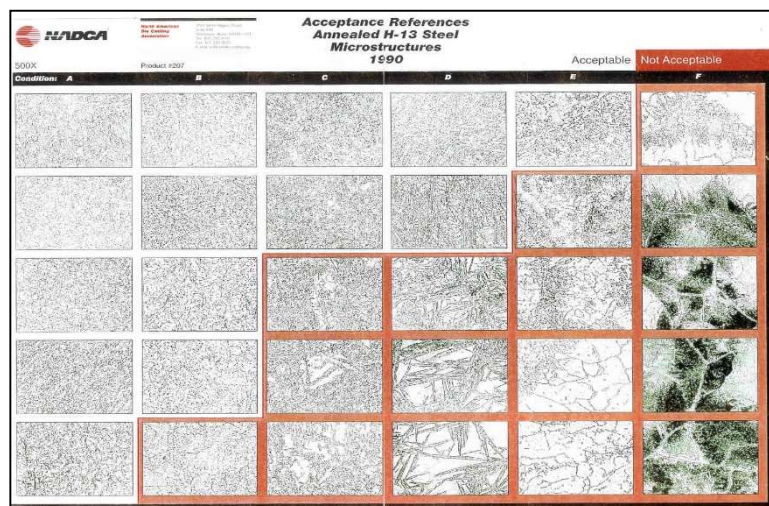
Součtem těchto vlastností jsou dány limity pro nákup materiálu. Proto, aby materiál splňoval uvedené vlastnosti, musí mít jednoznačnou definici svého původu. Proto, aby materiál zajistil potřebnou životnost, jsou jeho strukturní vlastnosti důležitější, než-li jeho chemické složení. Chemické složení u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

3. Výchozí struktura

Výchozí struktura je důležitá pro přejímku materiálu. Její definice je dána např. normou NADCA 207-97. Ta určuje A) chemické složení materiálu, B) tvrdost žíhané struktury max. 235 HB, C) velikost a množství nečistot typu sulfidy, hlinitany, křemičitany a globulárních oxidy, D) nepřítomnost trhlin po ultrazvukovém testu, a E) zkoušky rázové houževnatosti.

Obr.č. 1

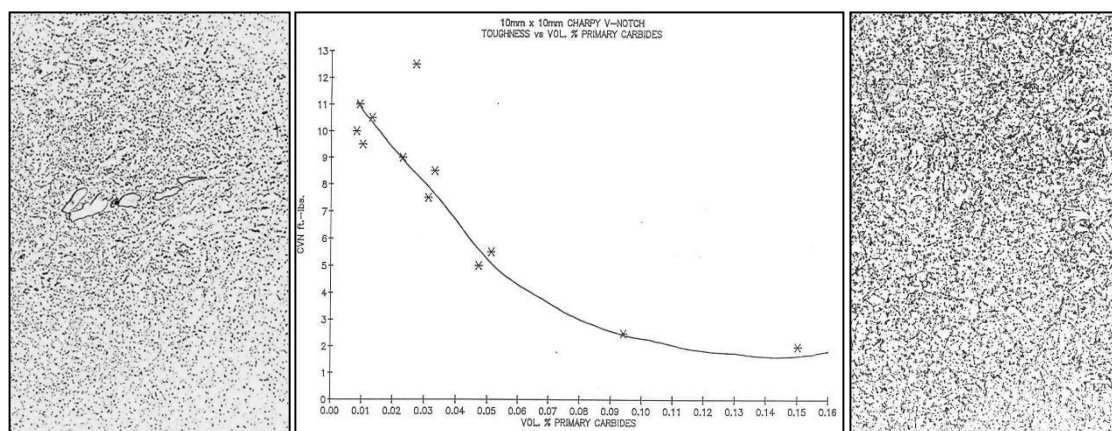
Povolené a nepovolené žíhací struktury podle NADCA 207-97



Parametr, který dává souhrnnou představu o všech výše uvedených vlastnostech, je rázová houževnatost. Ta se testuje na vzorcích 10 x 10 mm buď bez vrubu, a pak její minimální hodnota je 166 J, nebo s „V“ vrubem, a pak je její minimální povolená hodnota 10,5 J při průměrné hodnotě 12,5 J.

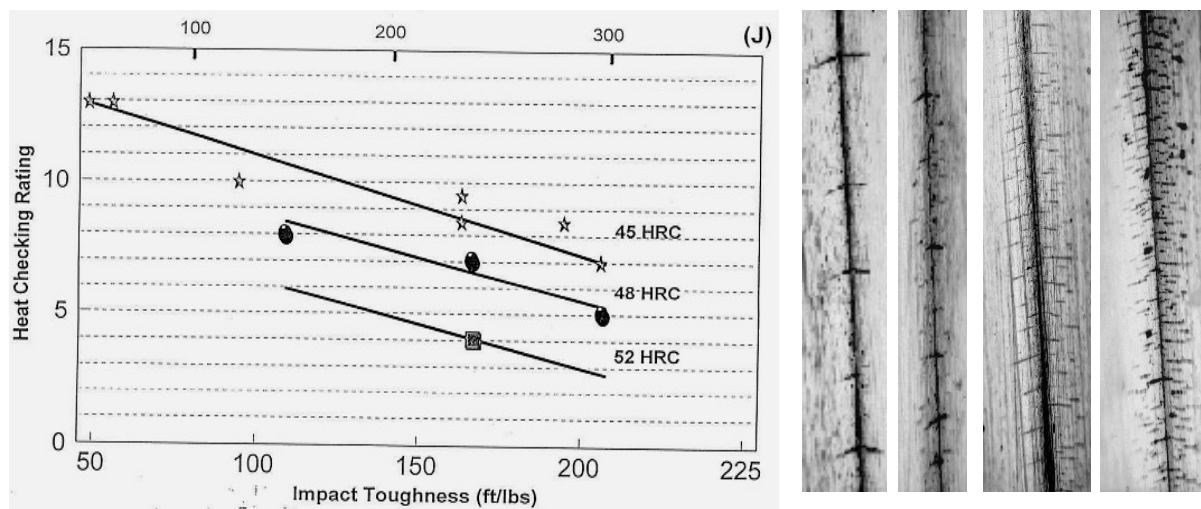
Existují normy, jako např. DC-9999-1 pro General Motors, které tyto hodnoty ještě zpřísňují, a kdy testování na vrubovou houževnatost je základní podmínkou pro vstup materiálu do procesu výroby forem. Tento požadavek není samoučelný. Jakákoliv odchylka od požadovaných parametrů totiž snižuje hodnotu houževnatosti, a tím i odolnost proti tepelné únavě.

Z klíčových vlivů to je pak vliv tvaru a rozložení primárních karbidů, které nejvíce snižují houževnatost. Jejich malé množství a rovnoměrné rozložení dává výsledky až 10 x



Obr. č. 2 Vliv množství primárních karbidů na houževnatost oceli

vyšší, než-li v případě, kdy jejich množství roste nad 0,03 objem. %. 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.



H13 TQ1 QRO90 DIEVAR

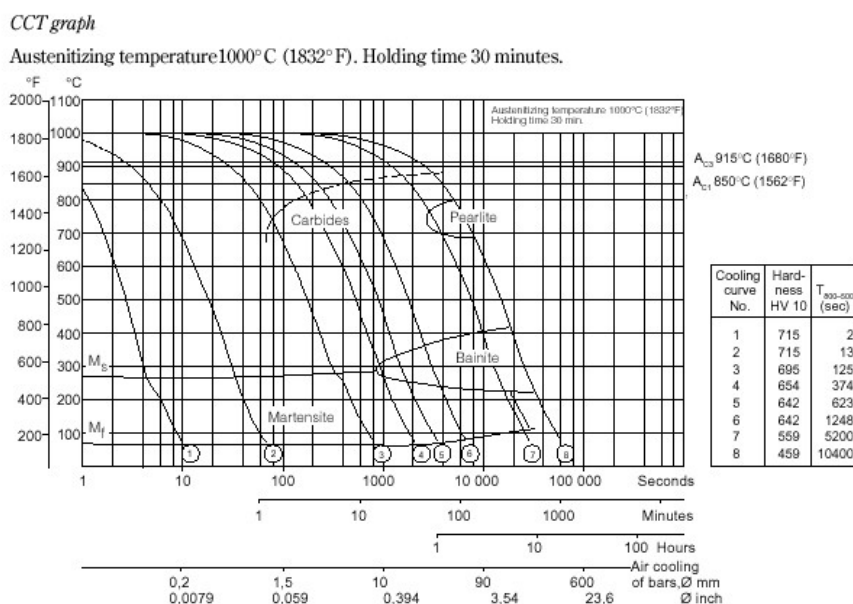
Obr. č. 3 Vliv houževnatosti na odolnost proti tepelné únavě

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, perlitu, popř. bainitu. Proto, aby ocel byla dobře zpracována, musí být volena taková ochlazovací rychlost, která umožní minout oblast vylučování karbidů. Tato rychlost by měla být větší jak 30 C/min a to je zásadní parametr pro technické vybavení kalícího zařízení.

Obr. č. 4

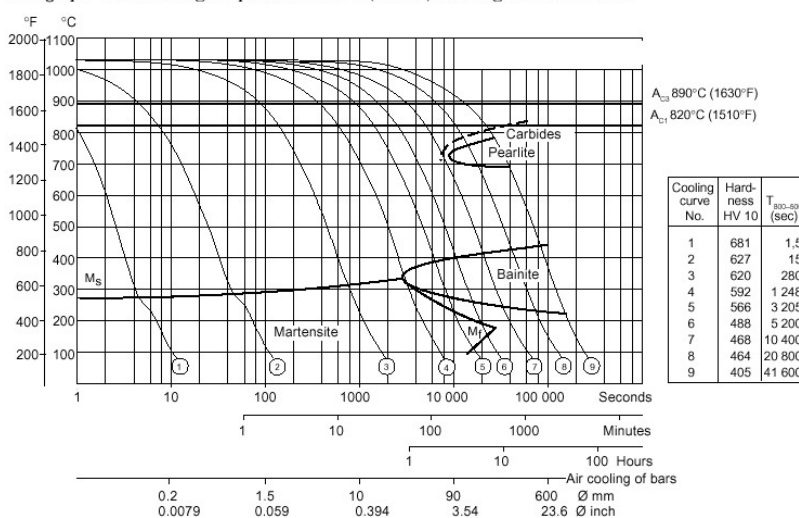
IRA diagram
pro 1.2343



Obr. č. 5

IRA diagram
pro DIEVAR

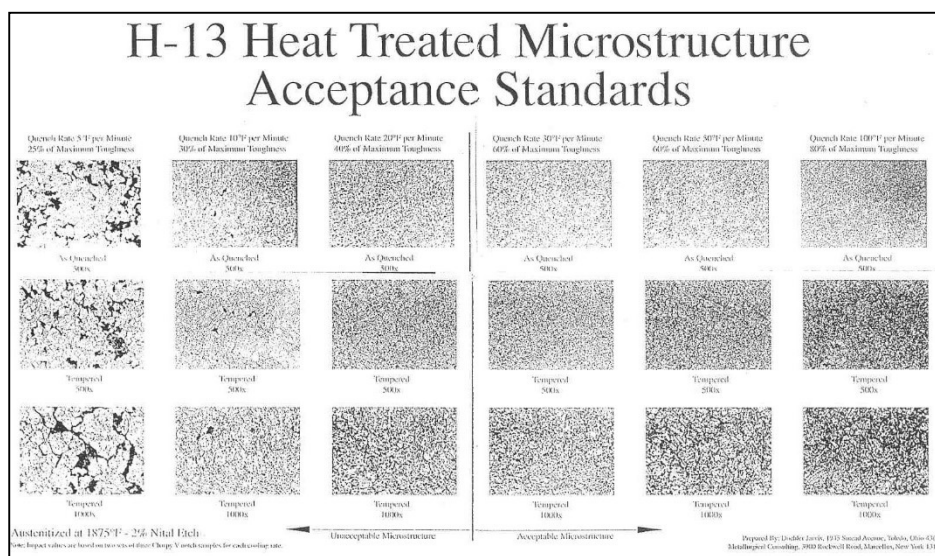
CCT graph—Austenitizing temperature 1025°C (1875°F). Holding time 30 minutes.



Při nedodržení tohoto parametru hrozí to, 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). Jinou cestou je použít materiály, které mají výrazně posunutou oblast perlitu a karbidů tak, že ani při pomalém ochlazování nemůže k tomu dojít. Typickým příkladem je DIEVAR (Obr.č. 5)

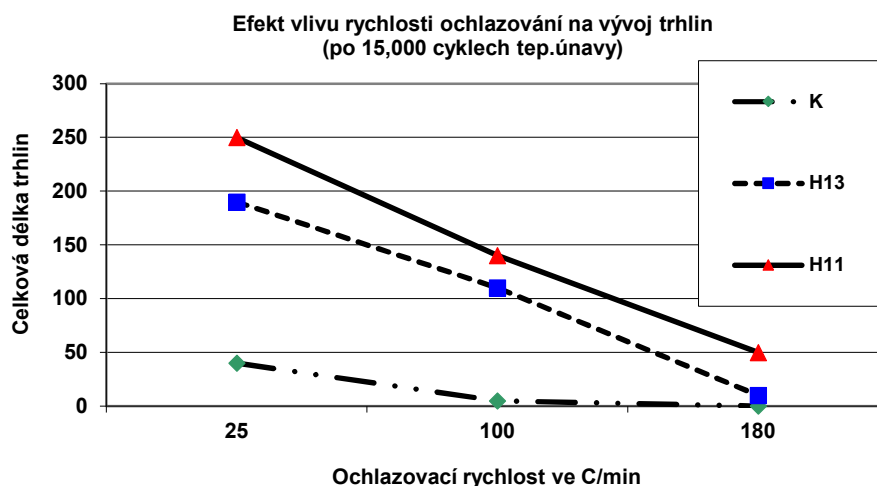
STRUKTURA PO KALENÍ	J/cm2
Martenzit bez vyloučených karbidů	24-27
Martenzit s jemně vyloučenými karbidy	20
Martenzit s malým podílem bainitu	20
Martenzit s výrazně vyloučenými karbidy	16
Martenzit s výrazně vyloučenými karbidy a s podílem bainitu	9
Martenzit s podílem perlitu	5

Tab.č.1 Hodnoty rázové houževnatosti pro různé struktury



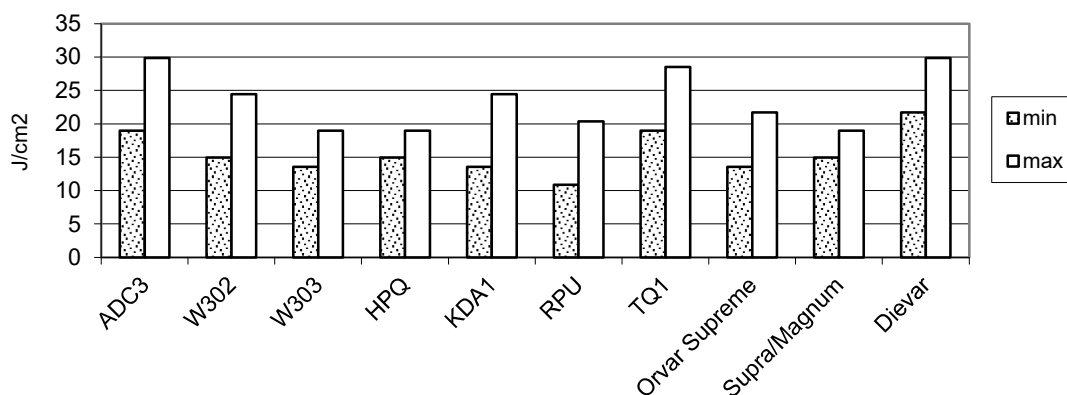
Obr.č. 6 Struktury materiálu H13 (1.2344) po kalení – v levé části při ochlazování < 15 C/min, v pravé části při ochlazování > 30 C/min.

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. Norma DC-9999-1 říká, že dodavatelem tepelného zpracování na formy na hliník může být pouze ten, kdo má k dispozici pece pracující s přetlakem 10 bar. Avšak i v případě, že je kalírna má k dispozici, dochází k dlouhodobému testování výsledků rázové houževnatosti, které teprve potom jsou podkladem pro schopnost kalírny být certifikována pro systém DC-9999-1. Vliv rychlosti ochlazování na tvorbu trhliny z tepelné únavy je na obr. č. 7. Rychlost 180 C/min odpovídá ideálnímu kalení vzorků do oleje, rychlost 25 C/min pak přetlaku cca 4 bar.



Obr.č. 7 Závislost tvorby trhlín z tepelné únavy na rychlosti ochlazování při kalení

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



Obr.č. 8 Velikost vrubové houževnatosti pro různé oceli

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. Oceli na formy pro práci za tepla

V závislosti na přísných podmínkách pro vstupní jakost oceli lze konstatovat, že ne všechny oceli typu TLH nebo TLI splňují tyto požadavky. Jakost oceli se totiž vytváří již v prvovýrobě a rozhoduje tedy o ní především technika výroby. Pokud dodavatel oceli tuto techniku nemá k dispozici, nebo prodává ocel od výrobce bez této techniky, riskuje, že zákazníkovi dodá materiály, které nebudou mít odpovídající životnost.

ZNAČKA	DIN/AISI	VÝROBCE	TVRDOT PO ŽÍHÁNÍ	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	V	pozn.
			HB								
DIEVAR	-	UDDEHOLM	~160	0,35	0,20	-	-	5,00	2,30	0,60	ESR/VAC
ORVAR SUPREME	1.2344/H13	UDDEHOLM	~180	0,39	1,00	0,40	max. 0,003	5,20	1,40	0,90	ESR/VAC
VIDAR SUPREME	1.2343/H11	UDDEHOLM	~180	0,39	1,00	0,40	max. 0,003	5,00	1,30	0,40	ESR/VAC
QRO 90 SUPREME	-	UDDEHOLM	~180	0,38	0,30	0,80	max. 0,003	2,60	2,30	0,90	ESR/VAC
THYROTHERM 1.2343 EFS/SUPRA	1.2343/H11	THYSSEN	~230	0,38	1,00	-	-	5,30	1,30	0,40	ESR
THYROTHERM 1.2344 EFS/SUPRA	1.2344/H13	THYSSEN	~230	0,40	1,00	-	-	5,30	1,40	1,00	ESR
THYROTHERM E38.K	-	THYSSEN	~170	0,35	0,30	0,30	max. 0,003	5,00	1,35	0,45	ESR
S.M.V.3	1.2343/H11	AUBERT & DUVAL	~235	0,40	-	-	-	5,00	1,30	0,40	-
ADC3	-	AUBERT & DUVAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TQ1	-	KIND	-	0,36	0,30	0,40	-	5,20	1,90	0,55	-
USN	1.2343/H11	KIND	~220	0,38	1,00	0,40	-	5,20	1,30	0,40	-
USD	1.2344/H13	KIND	~220	0,40	1,00	0,40	-	5,20	1,30	1,00	-
53SR	1.2344/H13	CARRS/KIND	-	0,40	1,00	-	-	5,00	1,40	1,00	ESR
W302 VMR	1.2344/H13	BOHLER	-	0,39	0,20	-	-	5,20	1,40	0,95	VAR
W302 ISOBLOC	1.2344/H13	BOHLER	-	0,39	1,10	-	-	5,20	1,40	0,95	ESR

Tab. č. 2 Materiál na formy pro práci za tepla

V tabulce č. 2 jsou uvedeny nejčastěji používané a doporučené materiály. Všechny mají společné to, že jsou vyráběny v potřebné čistotě. Na obr.č. 8 jsou údaje o rázové houževnatosti měřené na vzorcích s „V“ vrubem pro některé z nich. Prakticky všechny z nich splňují základní kritérium, tzn. hodnota rázové práce pro přeražení vzorku $> 10,5 \text{ J}$. Ty z nich však, které mají hodnoty vyšší, budou mít i odolnost proti tepelné únavě vyšší.

Literatura :

Corwyn Berger
NADCA 207-97
DC-9999-1

Bodycote Material Testing, přednáška Brno, 1999
North American Die Casting Association
GM POWERTRAIN GROUP norma