

Analýza využitelnosti existujících norem NADCA pro formy k tlakovému lití slitin hliníku

Ing. Petr Zikmund

Vedoucí práce: Ing. Aleš Herman, Ph.D.

Abstrakt:

Príspevek se zabývá problematikou přejímání nástrojových materiálů a tvorby nové metodiky kontroly částí forem pro technologii lití pod tlakem po tepelném zpracování. Současný stav a doporučené postupy nevyhovují moderním materiálům vyráběným elektrostruskovým či vakuovým přetavením.

Klíčová slova

Tlakové lití, nástrojový materiál, metodika, životnost forem, racionalizace, přejímací podmínky

1. Úvod

Požadavek na definici nových přejímacích podmínek vyplynul z opakujících se stavů, kdy forma, jádro, či vložka pro tlakové lití praskla v průběhu vzorkování (tzn. zahájení výroby ve formě) nebo během několika desítek až stovek licích cyklů. V následujících řádcích bude popsána celosvětově používaná metodika „NADCA“, zhodnoceny výhody a nevýhody této metody a navrhnutá nová metodika, která bude vyhovovat materiálům zpracovávaným novými technologiemi (přetavení ve vakuu či přetavení elektrostruskově).

2. Metodika zkoušení materiálů dle NADCA

Celosvětově využívaná materiálová norma NADCA (North American Die Casting Association) nachází uplatnění zejména u velkosériové produkce tvarově složitých tlakově litych odlitků. Je možné ji nalézt pod označením AMTD-DC2010 či DC-9999-1, které používají automobilky Ford, Chrysler atd. Jejím cílem je poskytnout požadavky na materiálové vlastnosti a tepelné zpracování pro zajištění maximální odolnosti proti tvorbě tepelných trhlin.

2.1 NADCA (AMTD DC 2010) – rev.2005

Základem normy je definování jakosti nástrojových materiálů pro výrobu formy, kde je pro každého dodavatele přesně specifikované chemické složení, obsah povolených vměstků a karbidů, mikrostruktura, lomová houževnatost a tvrdost. Vlastnosti formy jsou dále dány velikostí a konstrukcí formy, typem odlévané slitiny, parametry tepelného zpracování atd. Poslední aktualizace normy proběhla v roce 2008, kdy došlo k řadě změn.

Chemické složení

Výzkum a vývoj prokázal, že upřesnění tolerancí chemického složení legované oceli významně zvyšuje životnost forem. Při výzkumu financovaného sdružení automobilových společností ve Spojených státech bylo zjištěno, že slitiny s přesně stanoveným chemickým složením a výrobním postupem mají jasnou výhodu oproti tradičním slitinám s tradičním složením. Z praktických důvodů byla všechna data čerpána na základě laboratorních a provozních zkoušek.

Tab. 1 Příklad předepsání chemického složení materiálu (TQ-1)

Ref. C.1.) Alloy Chemical Composition – TQ-1	
Carbon	.33-.40
Manganese	.30-.50
Phosphorus	.020 Max
Sulfur	.002 Max
Silicon	.10-.50
Chromium	5.00-5.50
Molybdenum	1.70-2.00
Vanadium	.50-.70

Lomová houževnatost

Tato vlastnost je charakterizována provedením zkoušky na Charpyho kladivu. Zkouška na zkušebním tělísku s vrubem tvaru V musí být realizována nejprve v dodaném stavu (žíhaný stav) a poté ve stavu po tepelném zpracování (kalení a popouštění). Oba stavy vždy při normální (20°C) a zvýšené (232°C - obvyklá provozní teplota forem se pohybuje v rozmezí 180 – 260°C) teplotě. Platí, že pro danou teplotu a stav jsou zkoušeny vždy 3 vzorky – tj. celkem 12. Výsledkem je průměrná hodnota ze tří měření pro danou teplotu a také nejnižší získaná hodnota KJV při dané teplotě. Je nutné podotknout, že první vzorky je nutné ideálně tepelně zpracovat samostatně a další se tepelně zpracovávají současně s vyráběnou vložkou (jádreem).

Odolnost proti vzniku trhlin za tepla

Tuto vlastnost je obtížné vyhodnotit bez speciálního zařízení. Materiály prezentované v normě prošly tzv. Dunker-cyklem (žádné trhliny po 15000 cyklech). Poté byly pečlivě analyzovány pro stanovení kritéria přijatelnosti pro metalurgické zkoušky uvedené v této specifikaci. Obecně platí, že důležité faktory jsou: chemické složení, kalící rychlost, mikrostruktura a tvrdost.

Mikročistota

Pro každého dodavatele je přesně definován obsah povolených vměstků, stejně jako to bylo například u lomového chování. K výpočtu velikosti nekovových vměstků lze užít český ekvivalent normy ISO 4967:1998 (ČSN ISO 4967). Jednotlivé vměstky jsou rozděleny do skupin A až D (DS). Rozměr vměstku je dán indexovým číslem, které roste přímo-úměrně s délkou vměstků a řádků (skupiny A, B, C) nebo jejich počtem (skupina D) či průměrem (DS). Indexové omezení je dále rozděleno dle tloušťky stěny (resp. blok materiálu řešíme jako „heavy“, menší jádra jako „thin“)

Tab. 2 Přípustná velikost nekovových vměstků na základně normovaných zobrazení
Ref. C.5.) Inclusion Content – TQ-1

Type	Inclusions	
	Thin	Heavy
A (sulfide)	0.5	0
B (aluminate)	1.0	0.5
C (silicate)	0	0
D (globular oxides)	1.0	1.0

2.2 NADCA rev.2008

Poslední aktualizace normy proběhla v roce 2008, kdy došlo k řadě změn. Zásadním rozdílem oproti předchozí verzi je zmírnění požadavků týkajících se přípustného množství vměstků a přidání obrazové dokumentace k hodnocení pásovitosti (odmíšenin). V následujících odstavcích jsou probrány základní rozdíly oproti předchozí verzi.

Chemické složení

Materiály jsou rozděleny do tříd dle chemického složení. Každý vyráběný nástrojový materiál lze dle chemického složení přiřadit do skupiny A až E. Kromě třídy A (ocel H13) by měly být všechny ostatní třídy materiálů zpracovány sekundárním rafinačním procesem, elektrostruskovým přetavením, či vakuovým přetavením.

Tab. 3 Požadované chemické složení vysokojakostních nástrojových ocelí k výrobě forem

NADCA GRADE	Material Category	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V
A	Type H13 - Premium	0.37-0.42	0.20-0.50	0.025 max	0.005 max	0.80-1.20	5.00-5.50	1.20-1.75	0.80-1.20
B	Type H13 - Superior	0.37-0.42	0.20-0.50	0.015 max	0.003 max	0.80-1.20	5.00-5.50	1.20-1.75	0.80-1.00
C	Type 2367 & Modified	0.32-0.40	0.10-0.60	0.020 max	0.003 max	0.10-0.50	4.70-5.30	2.00-3.30	0.40-0.70
D	Type H11/2343	0.35-0.42	0.20-0.60	0.025 max	0.003 max	0.80-1.20	5.00-5.50	1.10-1.60	0.30-0.60
E	Type H11 Modified	0.32-0.43	0.10-0.70	0.020 max	0.003 max	0.10-0.55	4.70-5.70	1.10-2.10	0.30-0.80

Odmíšeniny (mikro-pásovitost)

Odmíšeniny jsou považovány za nepřijatelný defekt, pokud překročí limitní stav znázorněný na fotografiích mikrostruktury (obr. 1). Fotografie jsou součástí normy NADCA. Hodnocení struktury však může být v tomto případě dosti subjektivní a nepřesné.



Obr. 1 Příklad přijatelné (Vlevo) a nepřijatelné struktury vzorku (zvětšeno 50x, leptadlo Vilella)

Mikročistota

V oblasti mikročistoty a vměstků došlo u všech tříd materiálů k posunutí horní hranice přípustné velikosti. K výpočtu velikosti nekovových vměstků lze opět užít český ekvivalent normy ISO 4967:1998 (ČSN ISO 4967). Je nutné si povšimnout výrazného navýšení tolerovaného obsahu nečistot (u některých materiálů až o jeden indexový stupeň).

Tab. 4 Přípustná velikost nekovových vměstků na základě normovaných zobrazení pro všechny skupiny materiálů

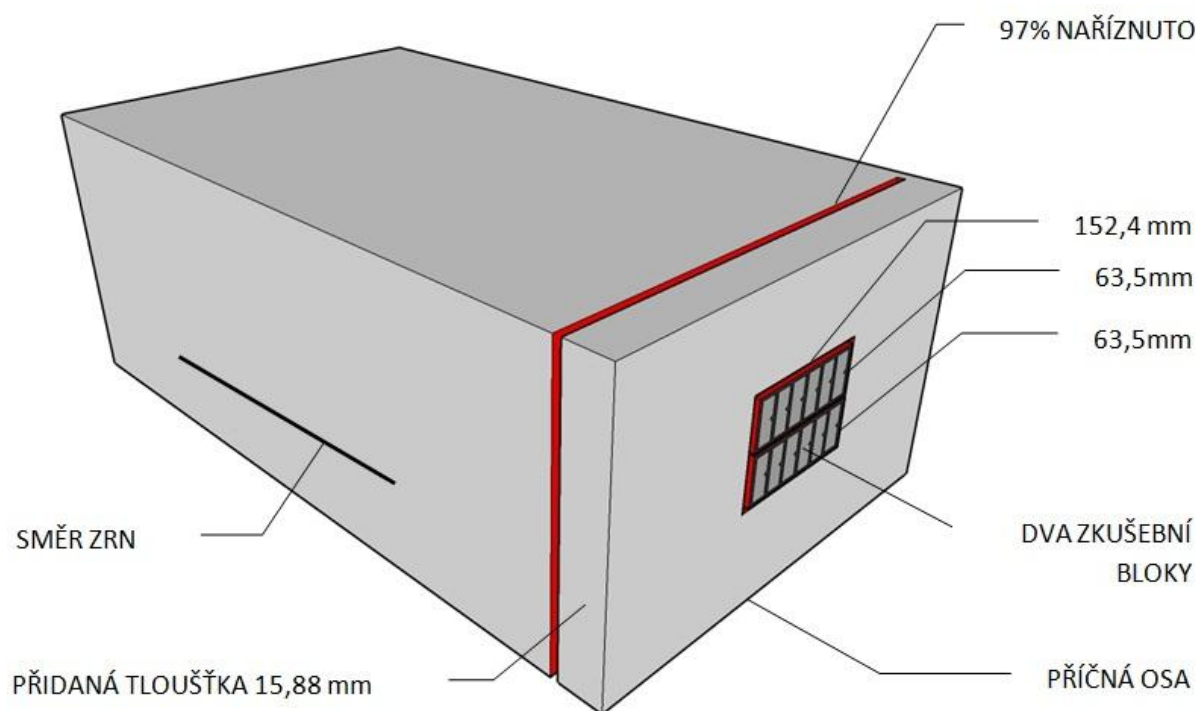
INCLUSION TYPE	GRADE A		GRADES B - E	
	THIN	HEAVY	THIN	HEAVY
A (sulfide)	1.0	0.5	0.5	0.5
B (aluminide)	1.5	1.0	1.5	1.0
C (silicate)	1.0	1.0	0.5	0.5
D (globular oxides)	2.0	1.0	1.5	1.0

K nejvýraznějšímu nárůstu povolených vměstků došlo u tradičně zpracovaných nástrojových ocelí H13 (Grade A). U ostatních materiálů může vzniknout komplikace s přiřazením do jednotlivých skupin, které by mělo být realizováno na základě chemického složení. V některých publikacích lze však nalézt sjednocené označení.

3. Zkoušení materiálů

Již dříve bylo uvedeno, že k provedení zkoušky je třeba užít dvanáct shodných vzorků z daného materiálu. Dodaný blok je naříznut a ze vzniklého plátu se zhotoví požadovaný počet tyčinek. Pro menší vzorky se odebírají 2 pláty (pokud není možné udělat 12 vzorků z jednoho plátu pro zkoušky vrubové houževnatosti). Na následujícím obrázku je znázorněno schéma odebrání vzorků.

Vysoký počet vzorků je však velmi limitujícím faktorem. U malých forem, je navíc realizace tohoto postupu velmi neekonomická. Zkušební vzorky odebíráme z výchozího dodaného polotovaru (viz obr. 2) a není vhodné pro malé části forem (malé vložky a jádra), protože oblast pro odběr by mohla být mnohonásobně větší, než část určená pro samotnou formu.



Obr.2 Princip odběru vzorků

Část vzorků se poté dle normy přivaří na obrobenou formu a tento komplet je tepelně zpracován (zakalen a popuštění). Takto tepelně zpracované vzorky jsou následně podrobeny zkoušce vrubové houževnatosti za normální a zvýšené teploty.

4. Analýza metodiky

Základní využívanou metodou je zkoušení rázové houževnatosti pomocí Charpyho kladiva, která je využívána po celém světě již více než 105 let a i přesto je stále aktuální. Problémem je však vysoký rozptyl hodnot získaných při měření a skutečnost, že lze tyto hodnoty velmi výrazně ovlivnit lidským faktorem, tj. naměřit libovolnou hodnotu drobnými zásahy do postupu zkoušky. Hlavním úskalím je získávání vzorků pro provedení zkoušky, úprava vzorků pro její provedení a vlastní realizace zkoušky. Lze používat vzorky s vruby, či bez vrubů.

Tento způsob zkoušení však nelze ošidit. Již z principu metody vyplývá, že při rázovém zatížení pomocí Charpyho kladiva dochází k otevírání možných trhlin. Zkouškou při pokojové teplotě však můžeme získat několik poměrně dosti odlišných hodnot z výše zmíněných důvodů. Kdybychom zvolili tlakovou zkoušku, docházelo by k zavírání trhlin, rozptyl hodnot by byl minimalizován, ale nedošlo by k dostatečnému odhalení možných poruch.

Dalším hlediskem je tvrdost materiálu. NADCA doporučuje použití metody dle Rockwella. Tato metoda však nemá dostatečně vysokou citlivost, ale je již dlouhodobě využívána spíše ze setrvačnosti (obvykle se uvádí tvrdost dle HRC 46 - 48, či HRC 50 - 52). Vyšší citlivosti a přesnosti dosahuje metoda dle Vickerse (je možné požadovat HV 520-530).

Dlouholeté zkušenosti prokázaly, že je nezbytné dodržovat nízký obsah vodíku, kyslíku a dusíku v základním materiálu. Tyto prvky způsobují nežádoucí křehkost. Dalšími nežádoucími prvky jsou cín a zinek, jedná se o nízkotavitelné kovy, jejichž zdrojem je zejména šrotová metalurgie. Tyto prvky se dají eliminovat čistotou vsázky a zejména

speciálními způsoby tavení (dnes vakuové tavení a vakuové přetavování, či elektrostruskové tavení a přetavování).

Jako další vhodná úprava metodiky NADCA se jeví zavedení zkoušení anizotropie dodaných vzorků, není li již zaručena dodavatelem. Toto měření vyjadřuje provedení tahové (tlakové) zkoušky u trojice vzorků odebraných ve třech různých směrech (0°, 45° a 90°). Propojení návrhu formy se zjištěnými anizotropickými vlastnostmi materiálu může přispět ke zvýšení její trvanlivosti.

V současnosti existuje celá řada firem zajišťujících dodávku vysokoteplotních nástrojových ocelí. Proto je nutné dbát na správný výběr dodavatele a specifikaci dodacích podmínek s ohledem na potřeby výroby. Při podcenění specifikace může dojít k zaslání nižší jakosti produktu. Takto mohou při nedokonalé metodice zkoušení materiálů vznikat nepřijemnosti.

Obecně je však, vzhledem ke konkurenci mezi dodavateli materiálů, snaha vyjít zákazníkům vstříc a přizpůsobit se jejich požadavkům (např. směr vláken, místo odběru vzorku z ingotu, vyšší chemická čistota atd.).

5. Návrh nové metodiky

5.1 Přejímání vzorků od dodavatele

- ➔ Kontrola chemického složení - u všech prvků (ne pouze garantované) - zejména s ohledem na přítomnost plynů a nízkotavitelných kovů - i stopové množství (řádkové setiny promile může mít vliv na trvanlivost formy)
- ➔ Z dodaného vzorku odebrat vzorky pro zkoušku tlakem - 3x Ø6, délka 12mm
- ➔ Z dodaného vzorku provést metalografický výbrus (s kontrolou orientace zrn)

5.2 Přejímání po tepelném zpracování

- ➔ Se vzorkem budou tepelně zpracované i vzorky pro zkoušku tlakem - vyhodnotit zkoušku tlakem
- ➔ Vyhodnocení tvrdosti dle Vickerse s tolerancí ± 5 jednotek HV
- ➔ Provést na vzorcích metalografické vyhodnocení struktury

V otázce zařazení tepelného zpracování se řada odborníků rozchází - jedna názorová větev tvrdí tepelně zpracovat a teprve pak obrábět, druhá tvrdí opak. Toto je důležité zejména z pohledu elektroerozivního obrábění - které zanechává „bílou - cementitickou“ vrstvu a výrazné pnutí, toto pnutí však bývá výrazné i po HSC obrábění.

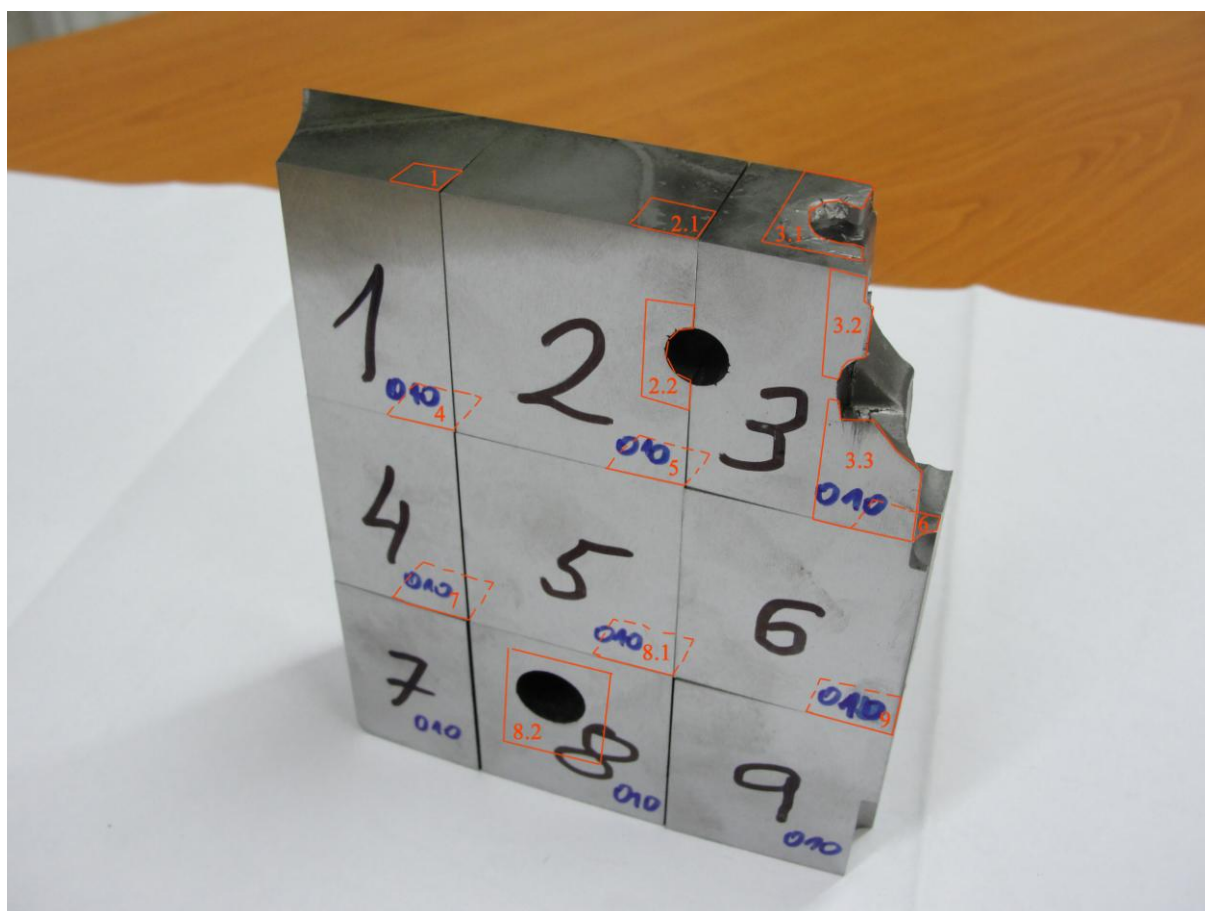
6. Experiment

V rámci projektu bylo provedeno experimentální vyhodnocení materiálů - zejména u vložek prasklých ve fázi vzorkování, či prasklých po několika desítkách licích cyklů. Shodou okolností se na začátku experimentů objevily problémy s materiály W403 (Böhler) a TQ1 (Kind&CO Edelstahlwerk). U materiálu W403 došlo k popraskání formy během vzorkování. Posléze došlo k opravě návarem. Bylo rozhodnuto, že daná vložka bude použita k testům a byla rozřezána - schéma rozřezání a číslování vzorků a sledování výbrusů označuje obr. 3.

V rámci výbrusů je třeba vyhodnotit v neleptaném stavu obsah nečistot dle ČSN ISO 4967 (norma předepisuje 4 kategorie vměstků, zvětšení 100x), segregaci, velikost zrn a distribuci martenzitu. Makrosegregace se vyhodnocuje dle NADCA při zvětšení 50x - leptáno Vilella

Vyhodnocení struktury - doporučení NADCA - zvětšení 500x, leptáno 5% Nital. Následně se na daných vzorcích měří tvrdost (viz. tab. 5). Z dané tabulky tvrdosti je možné vidět velké

rozdíly v hodnotách tvrdosti – na funkční části se tvrdost pohybuje v rozmezí 48 – 52 HRC – vzhledem k tomu, že je požadována tvrdost kolem 48 HRC může to být i další důvod degradace materiálu.



Obr. 3 Odběr vzorků z vložky - oranžově - sledovaná místa s výbrusy

vzorek	1. měření	2. měření	3. měření	průměrné HV1	Přepočet na HRC
1	512.2	514.3	499.2	508.6	50
2.1	496.7	503.3	493.5	497.8	49
3.1	542.8	543.7	545.6	544.0	52
3.2	490.3	493.5	496.7	493.5	48
5	494.3	515.1	510	506.5	50
6	505.8	526.5	537.3	523.2	51
8.1	516.8	519.4	510	515.4	50
9	477.8	465	468	470.3	47

Tab. 5 Zjištěná tvrdost ve vložce formy

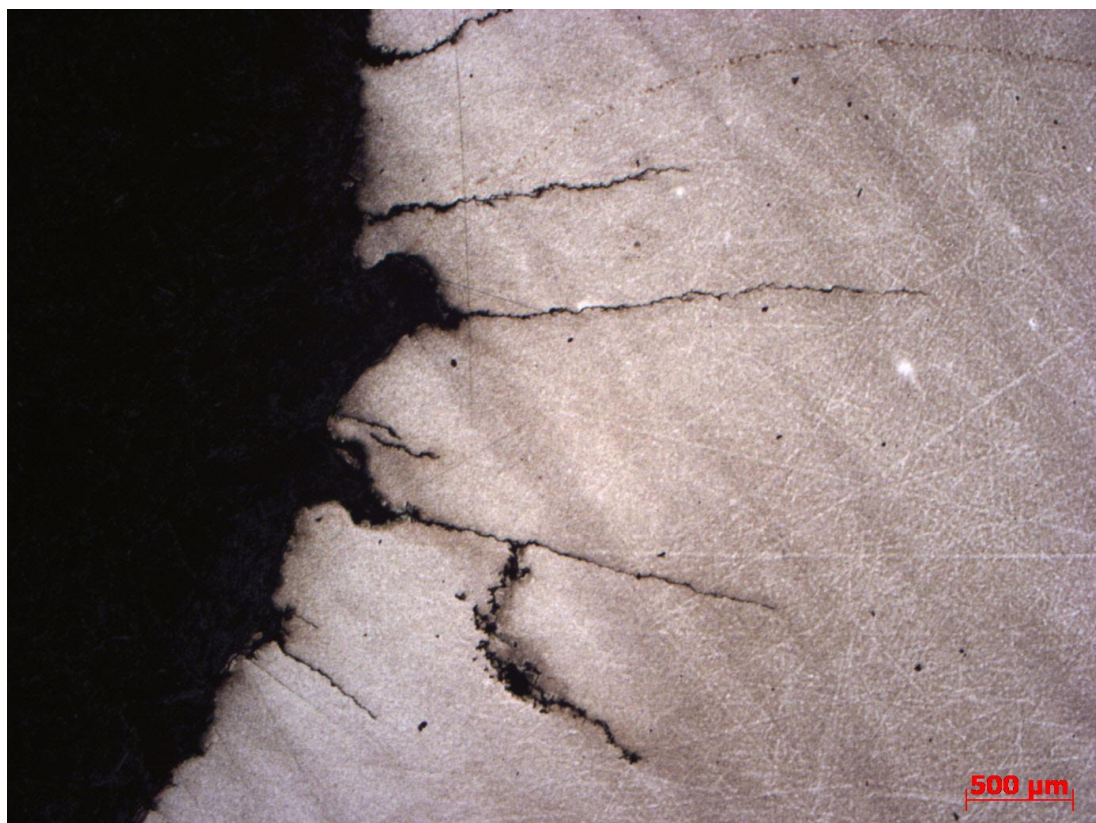
Z experimentů byly vyvozeny následující závěry:

Návary na funkční část formy způsobily poměrně velké vnitřní pnutí - důsledek nesprávného postupu opravy navařením (nebylo dodrženo mezioperační žihání při návarech a s největší pravděpodobností nedošlo ke kapilární zkoušce, která by odhalila neodbroušené trhliny) - přehledně je vidět na obr. 4. Při detailnějším prozkoumání výbrusu jsou patrné trhliny prostupující svarovým kovem do základního materiálu.



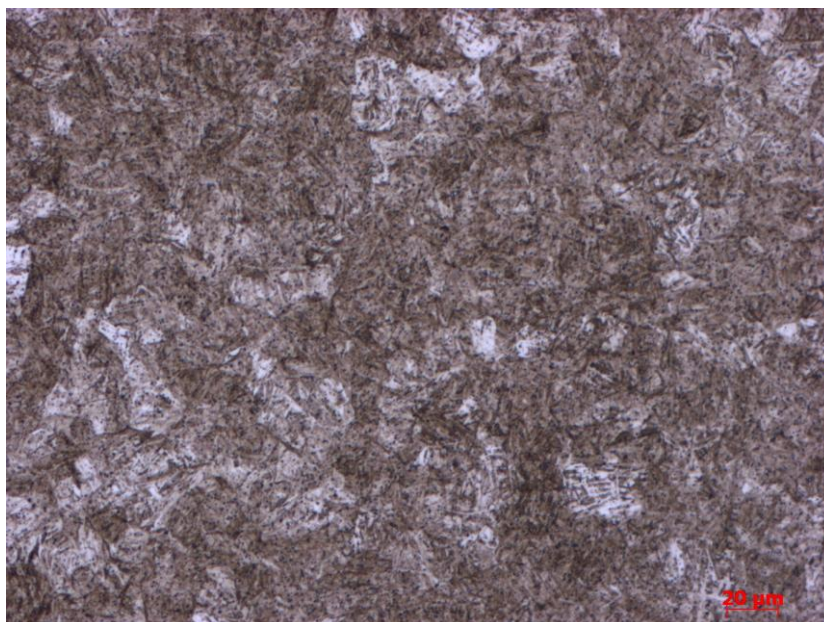
Obr. 4 Detail trhliny kolem návaru v místě 3.2 - zvětšení 25x

U zkoumané vložky z materiálu W 403 byl dle NADCA identifikován výskyt nevyhovující makrosegregace (viz obr. 5 - makrosegregace - pásovitost struktury - střídání světlých a tmavých pásů).

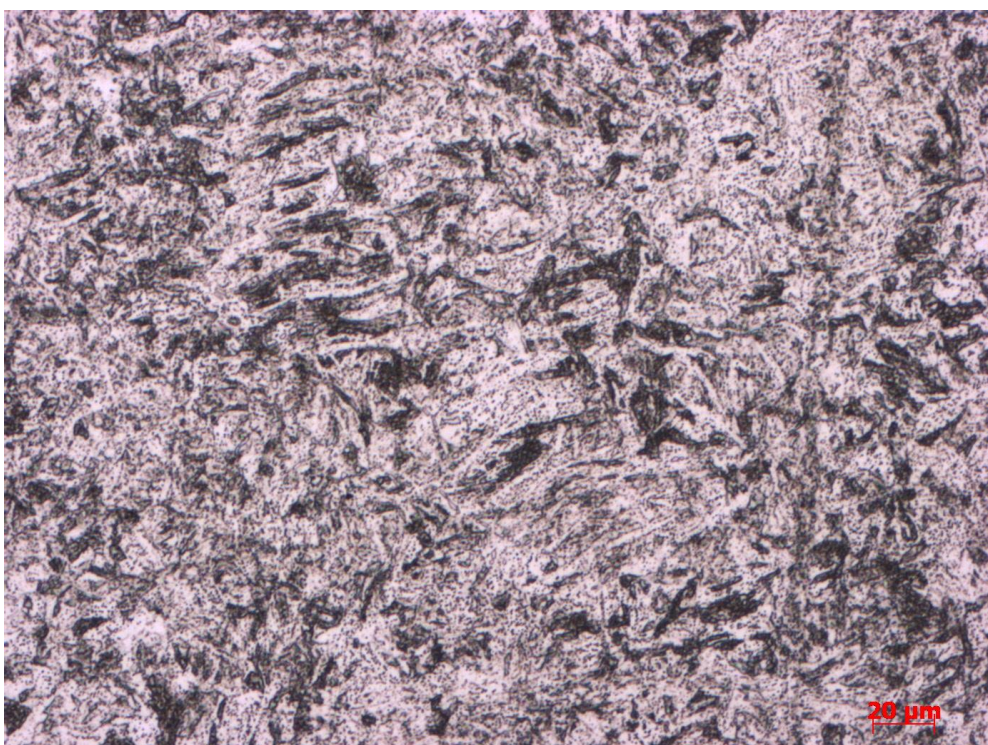


Obr. 5 Trhliny a makrosegregace ve vložce v místě 2.2 - zvětšeno 25x

Vyhodnocení struktury u materiálů W403 a TQ1 vykazuje poměrně velké odlišnosti – zejména rozložení martenzitu a stav zbytkové základní hmoty (obr. 6 a obr. 7)



Obr. 6 Struktura v materiálu W403 - zvětšení 200x - místo odběru 2.1



Obr. 7 Struktura materiálu TQ 1 - zvětšení 200x

7. Závěr

Z důvodu vysoké finanční a časové náročnosti systému NADCA je nutné vytvořit novou (případně upravit stávající) metodiku zkoušení. Metoda měření rázové houževnatosti, kterou využívá NADCA, se však nejeví jako plně postačující pro určení vlastností materiálu - zejména z důvodu používaných velikostí forem (dle NADCA by nebylo doporučeno provádět vstupní testy pro cca 90 - 95% objednaných polotovarů a pro zbytek by to bylo velmi nákladné - zejména při průměrné ceně nástrojového materiálu v rozmezí 300 - 400 Kč/kg). Nutná je také podrobná specifikace technologického procesu pro zpracování formy, pro provedení zkoušek a zejména prvotní specifikace vlastností materiálu u dodavatele. Nyní jsme ve fázi testování nové metodiky, kdy se jednotlivé kroky ověřují a vytváří se první znalostní databáze, aby se vše dalo zobecnit na více nástrojových materiálů. Z prvních výsledků se ukazuje diametrální odlišnost přístupu k materiálům v předpisech NADCA z roku 2005 a 2008. V předpise z r. 2005 byla jasně definována kritéria pro cca 20 nejpoužívanějších nástrojových materiálů od různých výrobců, zatímco v novém předpisu je již vše zobecněno. Největší rozdíl je v zobecnění typů slitin (uvádí se pouze stupeň A - E a výroba - vakuově přetavované, či elektrostruskově přetavované), obsah povolených nečistot vzrostl v nové normě cca o 1 - 2 normované stupně (např. u vměstku typů B - hlinitanů byla velikost 0 - 0,5 - nyní je 1 - 1,5). Obdobně např. u globulárních oxidů (vměstky typu D) bylo u některých materiálů 0 (žádné vměstky nesmí být) - nyní je tolerováno rozmezí 0,5 - 1.

Vzhledem k tomu, že k výraznému praskání vložek a forem dochází prakticky až od letošního roku (v ČR máme evidováno cca 20 prasklých vložek na začátku odlévání. V minulých letech se jednalo spíše o vzácné případy) si myslíme, že na vině je nový předpis, který povolil více nečistot, které mohou způsobit dané praskání, tvorbu nízkotavitelných eutektik, které zhorší tepelnou odolnost formy a dojde ke zrychlení únavových jevů ve formě.

Proto doporučujeme: vrátit se k dodacím předpisům nástrojových materiálů dle r. 2005

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen za podpory projektu FR—TII/164 „Výzkum zvyšování životnosti nástrojů pro technologii lití pod tlakem" vydaného Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR za podpory projektu vydaného programu TIP

Použitá literatura:

- [1] HERMAN, Aleš, ZIKMUND, Petr, STUNOVÁ, Barbora. Nástrojové materiály UDDEHOLM pro tlakové lití, Výzkumná zpráva U12133/2009/001, vydaná na ČVUT v Praze, Fakultě strojní, Ústav strojírenské technologie, Praha, červenec 2009
- [2] HERMAN, Aleš, ZIKMUND, Petr, STUNOVÁ, Barbora. Nástrojové materiály Schmolz Bickenbach pro tlakové lití, Výzkumná zpráva U12133/2009/002, vydaná na ČVUT v Praze, Fakultě strojní, Ústav strojírenské technologie, Praha, červenec 2009
- [3] HERMAN, Aleš, ZIKMUND, Petr, STUNOVÁ, Barbora. Další používané nástrojové materiály, Výzkumná zpráva U12133/2009/003, vydaná na ČVUT v Praze, Fakultě strojní, Ústav strojírenské technologie, Praha, červenec 2009
- [4] NADCA - AMTD_DC2010 - norma FORD, 2005
- [5] NADCA - Special Quality Die Steel & Heat Treatment Acceptance Criteria for Die Casting Dies, 2008