

THE STRAIN TEST OF EXPERIMENTAL BODIES OF THE HIGH SPEED STEEL M 2 IN TEMPERATURE INTERVAL 20 UP TO 900 °C

ŤAHOVÁ SKÚŠKA SKÚŠOBNÝCH TELIES Z RÝCHLOREZNEJ OCELE STN 41 9830 V TEPLOTNOM INTERVALE 20 AŽ 900 °C

Milan Lašček¹⁾, Rudolf Kadlec²⁾, Ľubica Mutišová²⁾

Abstract: The aim of the experiment was to define a temperature dependence of the elastic limit and the modulus of elasticity, the effect of a different stress state of experimental bodies of the high speed steel in the process of the strain test by raised temperatures, the effect to mechanical properties, the microstructure condition and a process of micro-hardness. The material of experimental bodies was in annealed condition. The report deals with the results of the strain test by raised temperature of the experimental bodies made of the high speed steel M 2.

Keywords: high speed steel, thermal - mechanical properties, microstructure, scanning electron microscope.

ÚVOD

Práca sa zaoberá hodnotením výsledkov ťahovej skúšky skúšobných telies vyrobených z rýchlereznej ocele STN 41 9830. Priamym výsledkom ťahovej skúšky sú závislosti mechanických vlastností a mikrotvrdosti od teploty. Pre získanie ďalších informácií o zmene stavu štruktúry počas tepelného a mechanického ovplyvnenia bola urobená mikroskopická analýza lomových plôch po pretrhnutí, štruktúrna analýza na svetelnom a riadkovacom elektrónovom mikroskope (REM). Analýza chemického zloženia materiálu skúšobných tyčí bola urobená na riadkovacom elektrónovom mikroskope JEOL SM – 580 energiovodisperzným analyzátorom EDAX 9100, ktorý detekuje chemické prvky s atómovým číslom väčším ako 11, teda všetky chemické prvky v Mendeleevej periodickej tabuľke za uhlíkom. Uhlík nedetekuje. Oceľ obsahuje podľa [1] 0,85 hmotnostných (hm.) % C, 3,6 ÷ 4,2 hm. % Cr, 5 ÷ 7 hm. % W, 4 ÷ 6 hm. % Mo, 1,4 ÷ 2,1 hm. % V. Plošná chemická analýza, ktorá bola vyhodnocovaná pomocou programového softvéru LINK ISIS 3.1, potvrdila totožnosť RO STN 41 9830. Mikrotvrdosť HV 0,1 podľa Hanemanna bola meraná na vybrúsených, vyleštených a naleptaných vzorkách z jednotlivých skúšobných tyčí zaliatych v Duracryle na mikrotvrdomeri s výrobným označením NEOPHOT 21.

Výsledkom pôsobenia rôznych teplôt pri ťahovom napätí je rozdielny prejav štruktúry skúšobných tyčí.

1. OPIS EXPERIMENTU [2], [3], [4], [5]

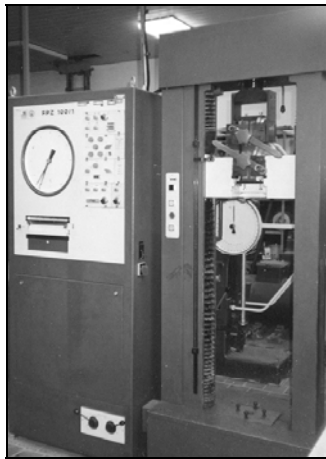
Ťahová skúška v intervale teplôt 20 až 900 °C bola realizovaná na ciachovanom trhacom skúšobnom stroji FPZ 100/1 (obr. 1). Rozsah teplôt 20 °C až 900 °C zodpovedá rozmedziu pracovných teplôt stroja. Skúšobné tyče pre trhaciu skúšku svojimi rozmermi vyhovujú norme STN 42 03 16 (obr. 2). Skúšobné tyče pre meranie modulu pružnosti v ťahu pri izbovej teplote spĺňajú kritériá normy STN 42 0315 a STN EN 10002-5 (obr. 3). Pri izbových teplotách bol použitý prieťahomer. Na obrázku 4 vidíme skúšobnú tyč upnutú v čeľustiach skúšobného stroja pomocou upínacieho prípravku so závitom M10 a elektrickú odporovú valcovú pec, v ktorej bol uskutočnený ohrev na teploty pri trhaní.

Výpočet hodnôt jednotlivých mechanických vlastností a štatistické vyhodnotenie experimentu je uvedené v [6], resp. počítané podľa [7].

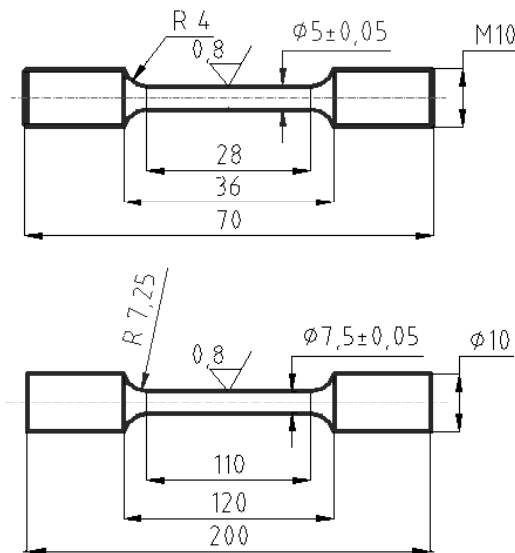
STU Bratislava – Materiálovotechnologická fakulta v Trnave, Slovensko/Slovakia

¹⁾ Katedra aplikovanej mechaniky, Paulínská 16, 917 24 Tranva, SK, tel.: 00421/3355 11733

²⁾ Katedra materiálového inžinierstva, Bottova 24 16, 917 24 Tranva, SK, tel.: 00421/3355 21007

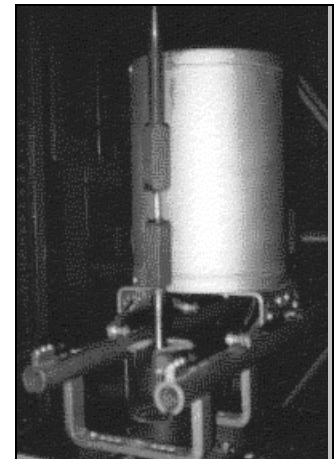


Obr. 1 Trhací stroj FPZ 100/1



Obr. 2 Tvar a rozmery skúšobnej tyče pre trhaciú skúšku v ťahu za zvýšených teplôt

Obr. 3 Tvar a rozmery skúšobnej tyče pre meranie modulu pružnosti pri izbovej teplote



Obr. 4 Elektrická odporová pec a skúšobná tyč upnutá pomocou prípravku v čelustiach stroja

2. VÝSLEDKY SKÚŠKY V ŤAHU PRI ZVÝŠENÝCH TEPLOTÁCH

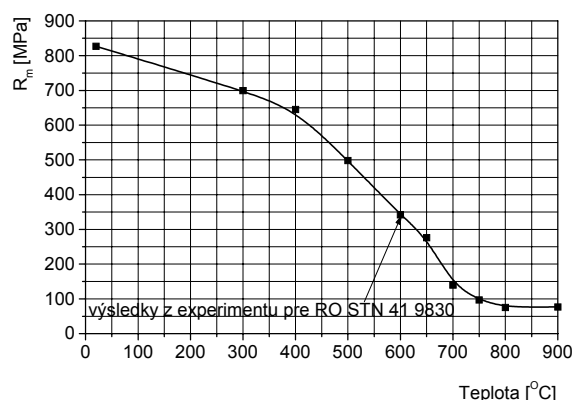
2.1 Makrosnímky skúšobných telies z RO STN 41 9830 po pretrhnutí

Prierez skúšobných telies sa zmenšuje s rastúcou teplotou skúšania do teploty 750 °C (obr. 5 až 9), kedy kontrakcia a relatívna ťažnosť dosahuje maximálnu hodnotu, obr. 10. Pri teplote 800 °C (obr. 11) sa prierez krčku zväčší v dôsledku poklesu kontrakcie aj ťažnosti. Pokles kontrakcie sa prejavil aj pri teplote 900 °C (obr. 12), ale ťažnosť narastá z lokálneho minima pri 800 °C. Priebeh jednotlivých mechanických vlastností v závislosti od teploty je možné sledovať na obr. 13 až 17.

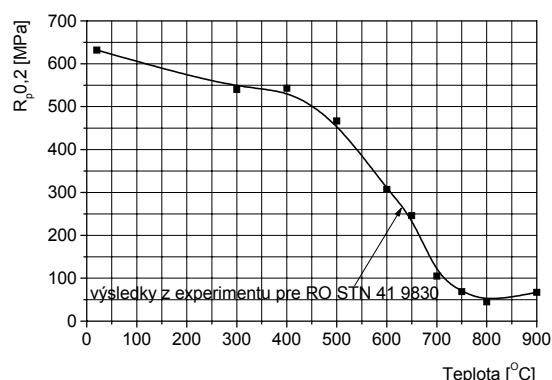
Tabuľka: 1 Tvarové a rozmerové zmeny skúšobných telies

Obr. 5 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 300 °C	Obr. 6 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 400 °C	Obr. 7 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 500 °C	Obr. 8 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 600 °C
Obr. 9 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 700 °C	Obr. 10 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 750 °C	Obr. 11 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 800 °C	Obr. 12 Skúšobná tyč pretrhnutá pri 900 °C

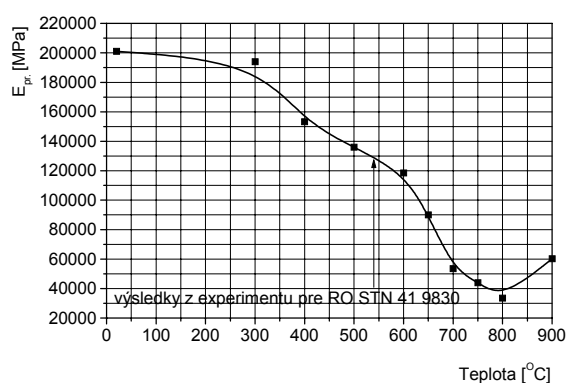
2. 2 Mechanické vlastnosti RO STN 41 9830 ako funkcia teploty



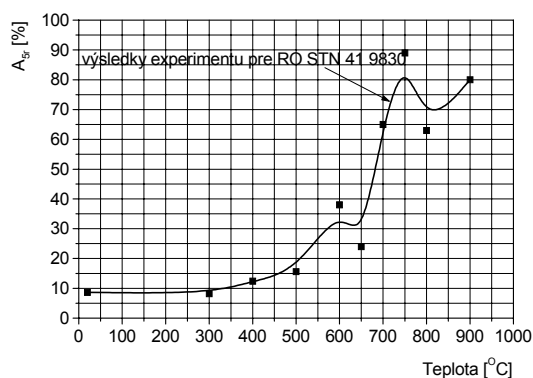
Obr. 13 Závislosť medze pevnosti R_m [MPa] od teploty z experimentu pre RO STN 41 9830



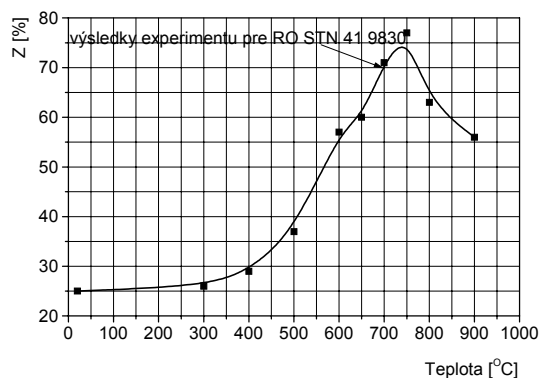
Obr. 14 Závislosť zmluvnej medze skľu $R_{p0,2}$ [MPa] od teploty z experimentu pre RO STN 41 9830



Obr. 15 Závislosť modulu pružnosti v ťahu E [MPa] od teploty z experimentu pre RO STN 41 9830



Obr. 16 Závislosť relatívnej ťažnosti A_{sr} [%] od teploty z experimentu pre RO STN 41 9830



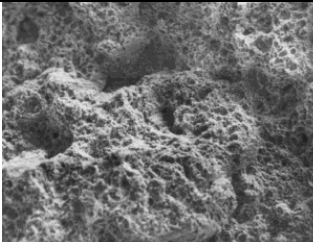
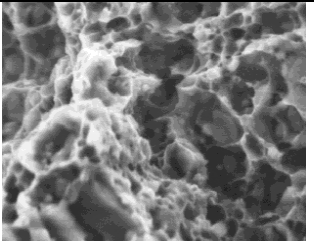
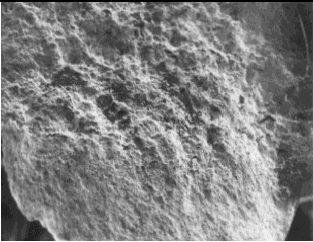
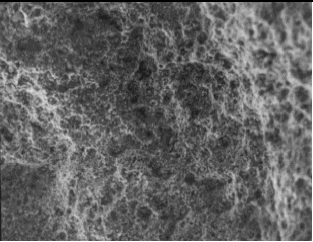
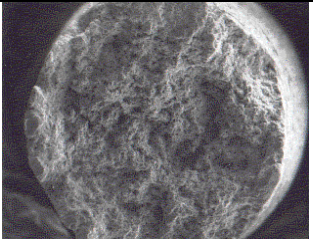
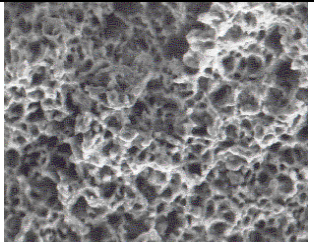
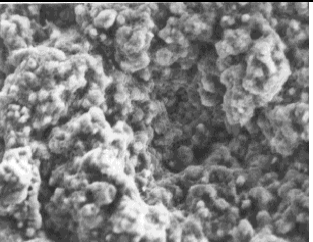
Obr. 17 Závislosť kontrakcie Z [%] od teploty z experimentu pre RO STN 41 9830

2. 3 Výsledok analýzy lomových plôch skúšobných telies z RO STN 41 9830 na riadkovacom mikroskope TESLA BS 300 pri vybraných teplotách

Skúšobné tyče sa pri všetkých teplotách porušovali tvárnym lomom s jamkovou morfológiou, ako je to zrejme z obr. 18 až 25. Veľkosť jamiek je funkciou energetickej dotácie tvárneho lomu [8, 9]. Plytké jamky môžu predstavovať podľa [8, 9] nízke hodnoty rázovej húževnatosti. Mechanizmus nukleácie defektov pri všetkých vybraných teplotách skúšania je pravdepodobne riadený praskaním a uvoľňovaním karbidických častíc a štiepením matrice, ktorá je bohatá na karbidy rôzneho druhu, pôvodu a veľkosti [9]. Podľa [9] by sme tvárny lom podľa trajektórie mohli zaradiť medzi lomy so štruktúrne usmernenou

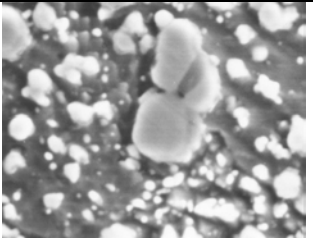
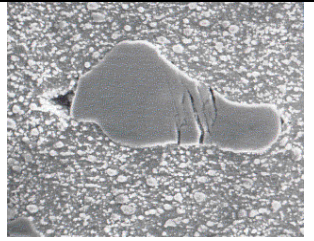
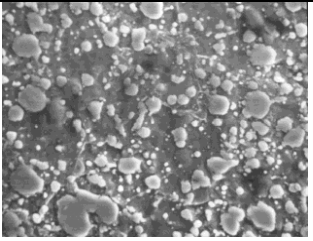
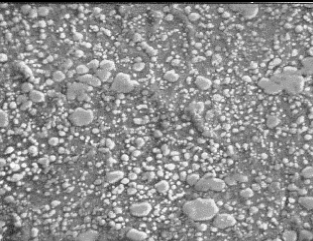
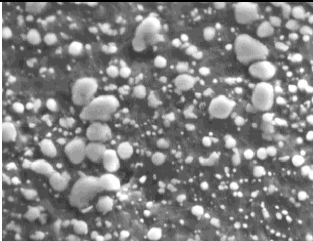
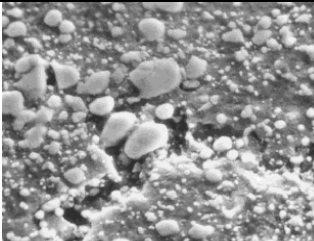
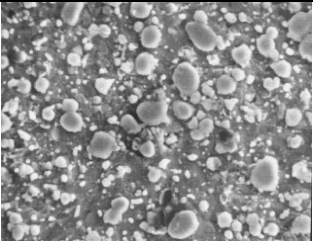
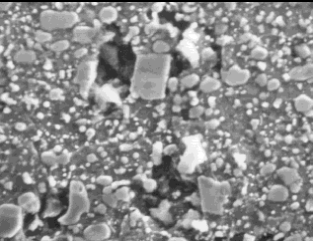
trajektóriou, pretože v našej oceli existujú oblasti disponované k prednostnému vzniku dutín tvárneho porušenia. V našom prípade sa jedná o karbidické útvary a karbidickú riadkovitosť.

Tabuľka: 2 Vybrané lomové plochy pri jednotlivých teplotách, riadkovacia elektrónová mikroskopia (REM)

			
<i>Obr. 18 Lomová plocha telesa skúšaného pri 300 °C, REM, Zv. 300× (č. s. 2106)</i>	<i>Obr. 19 Lomová plocha telesa skúšaného pri 300 °C, REM, Zv. 3050× (č. s. 2013)</i>	<i>Obr. 20 Lomová plocha telesa skúšaného pri 400 °C, REM, Zv. 28,5× (č. s. 2114)</i>	<i>Obr. 21 Lomová plocha telesa skúšaného pri 400 °C, REM, Zv. 300× (č. s. 2115)</i>
			
<i>Obr. 22 Lomová plocha telesa skúšaného pri 700 °C, REM, Zv. 30× (č. s. 2116)</i>	<i>Obr. 23 Lomová plocha telesa skúšaného pri 700 °C, REM, Zv. 950× (č. s. 2118)</i>	<i>Obr. 24 Lomová plocha telesa skúšaného pri 800 °C, REM, Zv. 29× (č. s. 2119)</i>	<i>Obr. 25 Lomová plocha telesa skúšaného pri 800 °C, REM, Zv. 950× (č. s. 2120)</i>

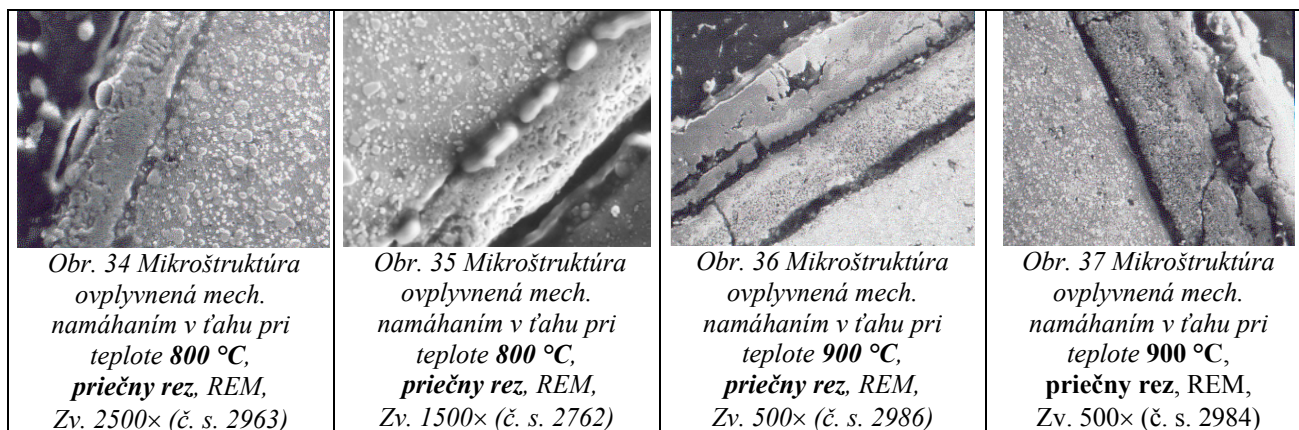
2. 4 Mikroštruktúrny stav pri jednotlivých teplotách ovplyvnenia

Tabuľka: 3 Mikroštruktúry vybraných vzoriek jednotlivých skúšobných telies, REM

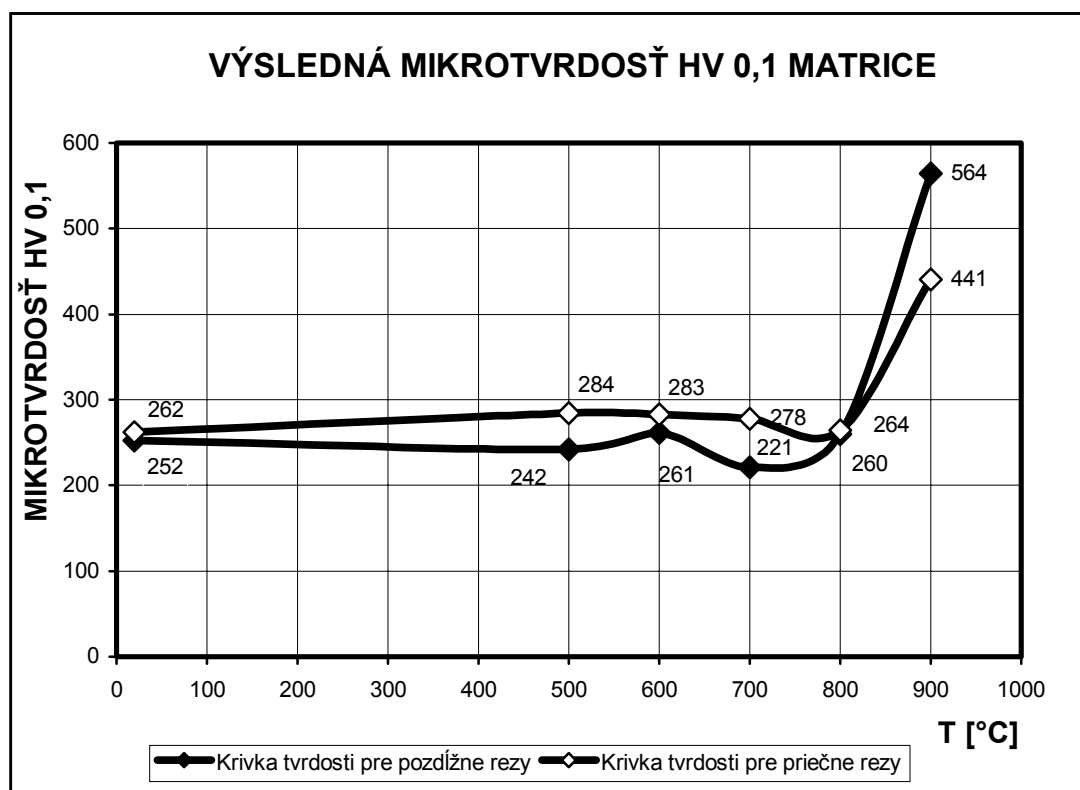
			
<i>Obr. 26 Mikroštruktúra základného, skúškou neovplyvneného materiálu v stave žíhanom na mätko, priečny rez, REM, Zv. 10000× (č. s. 2981)</i>	<i>Obr. 27 Mikroštruktúra základného, skúškou neovplyvneného materiálu v stave žíhanom na mätko, pozdlžny rez, REM, Zv. 2000× (č. s. 2975)</i>	<i>Obr. 28 Mikroštruktúra ovplyvnená mech. namáhaním v ťahu pri teplote 400 °C, priečny rez, REM, Zv. 4000× (č. s. 2965)</i>	<i>Obr. 29 Mikroštruktúra ovplyvnená mech. namáhaním v ťahu pri teplote 400 °C, pozdlžny rez, REM, Zv. 2000× (č. s. 2970)</i>
			
<i>Obr. 30 Mikroštruktúra ovplyvnená mech. namáhaním v ťahu pri teplote 600 °C, priečny rez, REM, Zv. 4000× (č. s. 2697)</i>	<i>Obr. 31 Mikroštruktúra ovplyvnená mech. namáhaním v ťahu pri teplote 600 °C, pozdlžny rez, REM, Zv. 3500× (č. s. 2706)</i>	<i>Obr. 32 Mikroštruktúra ovplyvnená mech. namáhaním v ťahu pri teplote 800 °C, priečny rez, REM, Zv. 4000× (č. s. 2974)</i>	<i>Obr. 33 Mikroštruktúra ovplyvnená mech. namáhaním v ťahu pri teplote 800 °C, pozdlžny rez, REM, Zv. 2500× (č. s. 2798)</i>

Zmeny v stave vybraných mikroštruktúr na obr. 26 až 33 naznačujú, že v priebehu tepelno-mechanického namáhania počas skúšky v ťahu pri zvýšených teplotách dochádza naozaj k výrazným zmenám mechanických vlastností, ako to potvrdzujú grafy na obr. 13 až 17. V danom nástrojovom materiáli dochádza všeobecne, ale aj napr. podľa výsledkov v [10, 11] pri ovplyvnení mechanickým namáhaním a teplotou k rozpúšťaniu menej stabilných karbidov menších rozmerov a k hrubnutiu väčších karbidických častíc, čo sa vo vlastnostiach ocele prejavuje. V dôsledku ďalších javov, ako je napr. malá rýchlosť deformácie (menej ako 5 MPa.s^{-1} [2, 5]) a vysoké teploty pri namáhaní v ťahu sa tento vplyv prejaví v matici materiálu, ale aj v jeho povrchových vrstvách, napr. podobným spôsobom, ako to máme možnosť vidieť na obr. 28 až 33, resp. 34 až 37, kde je možné sledovať vplyv tečenia materiálu pri teplote 800 a 900 °C.

Tabuľka: 4 Pozorovanie správania sa okrajových vrstiev vzoriek skúšobných telies pri vybraných teplotách



2.5 Závislosť mikrotvrdości HV 0,1 tepelne ovplyvnených analyzovaných vzoriek



Obr. 38 Priebeh výslednej mikrotvrdości HV 0,1 **matrice** ako funkcia teploty

Na obr. 38 máme možnosť sledovať priebeh výslednej mikrotvrdości HV 0,1 matrice. Podobne ako pri mechanických vlastnostiach (obr. 13 až 17) sa výrazne prejavil vplyv teplôt v blízkosti teploty 600 °C a interval teplôt okolo fázovej premeny, ktorý je pre RO STN 41 9830 v rozmedzí teplôt 820 až 870 °C. Kritickosť týchto, ale i ďalších (teploty okolo 200 a 400 °C) teplotných intervalov sa prejavila tiež v práci [12], ktorá sledovala okrem iného aj teplotný priebeh mikrotvrdości v procese fázových premien pri ohreve rýchlo stuhnutého prášku nástrojovej ocele CH12MF4. Zmeny mechanických vlastností a mikrotvrdości v skúmaných nástrojových materiáloch pri podobných kritických teplotách nastávajú bez dôrazu na objem, resp. mikroobjem materiálu a výrobný stav ocele. Výsledok práce [13], v ktorej sa skúmala pevnosť v ohybe RO STN 41 9830 v intervale teplôt 20 až 400 °C opäť potvrdzuje, že nezávisí od charakteru mechanickej skúšky, aby sa kritické teploty na priebehu ľubovoľných mechanických vlastností alebo mikrotvrdości, resp. tvrdości prejavili. **„Kritické teploty“ sa teda prejavia bez ohľadu na druh skúšky, skúmaný objem, resp. mikroobjem materiálu, drsnosť povrchu a stav, v ktorom je daný materiál nástroja.** Nezávisí teda, či je daná RO odlievaná, valcovaná alebo vyhotovená práškovou metalurgiou.

Uvedené parametre však zrejme ovplyvnia proces skúšania z iného hľadiska, ako napr. celkom určite vplyva drsnosť povrchu na iniciáciu zárodkov porušenia v priebehu cyklickej skúšky. Výsledok práce [14] dokazuje práve vplyv geometrických parametrov nástroja z RO STN 41 9830 na jeho deštruktívne poškodenie.

Treba si však uvedomiť aj to, že práve **dôsledkom zmeny teplotných polí, termofyzikálnych vlastností a mechanického namáhania materiálu pri rôznych teplotách je stav jeho internej napätosti** [15], ktorý v konečnom dôsledku výrazne ovplyvňuje stav mikroštruktúry, zároveň stav mechanických vlastností a priebeh tvrdości v závislosti od teploty. **Teplotné polia a k nim prislúchajúce napätové stavy sú časovo závislé** [16], preto vždy treba sledovať celý proces teplotno-mechanického ovplyvnenia, dokonca aj mikroštruktúrne zmeny nejaký čas po skúške majú svoju váhu.

3. Záver

- Podľa závislosti jednotlivých mechanických vlastností sa dá predpovedať správanie sa súčiastok vyrobených z rýchloreznej ocele STN 41 9830.
- Skúška za zvýšených teplôt definovala závislosť Youngovho modulu pružnosti v ťahu, zmluvnej medze sklzu, medze pevnosti, relatívnej ťažnosti a kontrakcie od teploty pre žiňaný stav ocele na mätko.
- Závislosť modulu pružnosti v ťahu E [MPa] na teplote a zmluvnej medze sklzu $R_{p0,2}$ [MPa] je dôležitá pre zadávanie mechanických vlastností pri simulačných úlohách.
- Závislosť $R_{p0,2}$ [MPa] na teplote je nevyhnutná pre vyhodnotenie vznikajúcich napätí pri tepelnom spracovaní a vysokoteplotnom mechanickom namáhaní v prevádzke.
- Výsledky experimentu ukázali, že v intervale 600 °C až 900 °C sa uskutočňujú „najväčšie“ zmeny mechanických vlastností RO STN 41 9830.
- Výsledný charakter lomu je pre všetky teploty skúšania rovnaký.
- Jedná sa o tvárny lom s jamkovou morfológiou.
- Najväčšie zmeny v teplotnej závislosti mikrotvrdości HV 0,1 matrice nastávajú v intervale teplôt 500 až 900 °C.
- Pri jednotlivých teplotách skúšania sa mení mikroštruktúra skúšobných tyčí.

Literatúra

- [1] Koutský, J., Jandoš, F.: Materiálové vady ocelových nástrojů. 1. vyd. Praha, SNTL 1969. 228 S.
- [2] STN 42 0312 Skúška ťahom za vyšších teplôt.
- [3] STN 42 0315 Skúšobné tyče kruhové s hladkými valcovými hlavami na skúšku ťahom.
- [4] STN 42 0316 Skúšobné tyče kruhové so závitovými hlavami na skúšku ťahom.
- [5] STN EN 10002-5 Kovové materiály, skúška ťahom. Časť: 5 Skúška ťahom pri zvýšenej teplote.
- [6] Taraba, B., Kadlec, R., Lašček, M.: Mechanické vlastnosti RO STN 41 9830 pri zvýšených teplotách – výsledky experimentu. In: Zborník prednášok zo 7. Vedeckej medzinárodnej konferencie AKADEMICKÁ DUBNICA 2001. Bratislava, STU, 2001, s. 247 – 250.
- [7] Veles, P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. 1. vyd. Bratislava a Praha, Alfa a SNTL 1985. 408 s.
- [8] Puškár, A., Hazlinger, M.: Porušovanie a lomy súčastí. 1. vyd. Žilina, EDIS 2000. 295 s.
- [9] Bošanský, J., Šmida, T.: Deformačné dvojčatenie a tranzitná teplota feritických ocelí. In: Kovové materiály, 38, 2000, č. 6, s. 400 – 415.
- [10] Martinkovič, M.: Kvantifikácia vplyvu teploty austenitizácie na mikroštruktúru nástrojovej ocele CH3F12 z rýchlostuhnutého prášku. In: 18.dny tepelného spracovania s medzinárodnou účasťou. Brno: Asociace pro tepelné zpracování kovů, 2000, s. 45 – 51.
- [11] Jakuběczyová, D., Blach, J.: Mikroštruktúra PM rýchlorezných ocelí a vplyv tepelného spracovania na distribúciu karbidov. In: Hutnícké listy, 2001, č. 4-5, s. 28 – 33.
- [12] Moravčík, R.: Fázové premeny pri ohreve rýchlo stuhnutého prášku nástrojovej ocele CH12MF4. In: VEDECKÉ PRÁCE Materiálovotechnologickej fakulty Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave so sídlom v Trnave: Bratislava: STU, 2000, zväzok 9, s. 81 – 86.
- [13] Grgač, P.: Anizotropia pevnosti v ohybe rýchloreznej ocele 19 830 v intervale teplôt 20 až 400 °C. In: Hutnícké listy, 1989, č. 3, s. 201 – 207.
- [14] Görög, A., Hazlinger, M.: Analýza príčin poškodenia preťahovacích trťov a možnosti zvýšenia ich životnosti. In: 5. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou: CO – MAT – TECH '97. Trnava, 1997, str. 23 – 28, ISBN 80-227-0979-4.
- [15] Taraba, B.: Počítačové modelovanie teplotných polí a stavu napätostí pri konvenčných technológiách tepelného spracovania. In: Materiálové inžinierstvo, 6, 1999, č. 18, s. 1 – 8.
- [16] Ďuriš, R., Taraba, B.: Tepelné zaťaženie nástroja pri sústružení, Medzinárodná konferencia TECHNOLOGIA 95, Sjf STU, Bratislava, 1995.