

E x p e r i m e n t á l n í A n a l ý z a N a p ě t í

2004

MEASUREMENT OF DEFORMATION FORCES AND STRESSES DURING THE TAYLOR ANVIL TEST AT THE INCREASES TEMPERATURES OF THE SPECIMENS ZJIŠŤOVÁNÍ RÁZOVÝCH SÍL A NAPĚTÍ U TAYLOROVA KOMPRESNÍHO TESTU ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT VZORKŮ

Dalibor Krásný¹, Petr Pejchal², Milan Forejt³,

Příspěvek zahrnuje experimentální zjišťování rázových sil a napětí u Taylorova kompresního testu (dále jen TAT, z anglického Taylor Anvil Test) provedený na vzorcích z oceli 12 122.3 za zvýšených teplot vzorků. Pomocí paměťového osciloskopu TEKTRONIX byly snímány napěťové pulsy, které byli následně přepočítali na rázovou - tvářecí sílu. Dále byla měřena povrchová teplota vzorků dotykovým čidlem, dopadová teplota bezkontaktní teplotní sondou Thermalert Compact MID a prakticky ověřeno nové konstrukční řešení vložky nosiče. Snahou je přiblížit experiment TAT, reálným tvářecím podmínkám v praxi. Při tváření za studena totiž dochází k ohřevu materiálu součásti, vlivem přemístění atomů uvnitř kovu.

This article deals with the experimental measurement of deformation forces and stresses during the Taylor anvil test (next only „TAT“) performed with the specimens of 12 122.3 steel at the increased temperature of the specimens. By the help of the storage oscilloscope Tektronix the stress pulses were taken and consequently converted to the deformation - forming force. Further the surface temperature of the specimens was measured with the contact sensor, the impact temperature with the contactless temperature sensing head called Thermalert Compact MID and the new constructional design of the carrier thermal block was practically verified. Our effort was to approach the TAT experiment to real forming conditions in the praxis. That is because the component material warms up at the cold forming process in virtue of the translocation of the atoms inside of the metal.

Keywords Taylor Anvil Test (TAT), Impact Force and Stresses,

Klíčová slova Taylorův kompresní test, rázová síla a napětí

1 Ing. Dalibor Krásný: VUT Brno, FSI, ÚST, odbor technologie tváření kovů a plastů; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká Republika, tel.: +42041142502, e-mail: ykrasn01@sam.fme.vutbr.cz

2 Ing. Petr Pejchal: VUT Brno, FSI, ÚST, odbor technologie tváření kovů a plastů; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká Republika, tel.: +42041142502, e-mail: pejchal.p@centrum.cz

3 Prof. Ing. Milan Forejt CSc.: VUT Brno, FSI, ÚST, odbor technologie tváření kovů a plastů; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká Republika, tel.: +42041142623, e-mail: forejt@ust.fme.vutbr.cz

Úvod

Problematika zjišťování rázových sil a napětí u Taylorova kompresního testu, dále jen TAT - Taylor Anvil Test, je v současné době známa a prováděna pro vzorky z ocelí a barevných kovů za studena. I při tváření za studena dochází k ohřevu materiálu součásti, vlivem přemístění atomů uvnitř kovu. Problematiku zjišťování rázových sil a napětí u TAT jsme se proto snažili více přiblížit reálným tvářecím podmínkám praxe a zahrnuli jsme do ní ohřev vzorků v elektrické peci.

Zkoumaná ocel „12 122.3“ – Chemické složení, ekvivalenty

Provedení kompresních zkoušek bylo uskutečněno na oceli „12 122.3“, běžně používané ve šroubárenském průmyslu. Na základě chemické analýzy a konzultací s materiálovými inženýry byla zjištěna podobnost se známější nízkouhlíkovou ocelí ČSN 412 020.

Charakteristické vlastnosti a použití oceli ČSN 412 020 [4]

Ocel je vhodná pro méně namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel určené k cementování, se střední pevností v jádře po kalení. Jde např. o méně namáhaná ozubená kola, vačkové hřídele, vložky, větší řetězová kola, pouzdra, vodítka apod. Záchytné zvony a trny pro naftový průmysl. Ve stavu žíhaném na háky jeřábů, výtahů apod. Součásti k cementování lisované z plechu. Ocel není vhodná ke galvanickému pokovování.

Tab. 1 Chemické složení oceli „12 122.3“

Chemické složení bylo zjištěno na spektrometru LECO GDS 750, který na FSI vlastní Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V
0,31	0,9	0,15	0,021	0,007	0,04	0,08	0,05	0,03
Chemické složení v %								
W	Cu	Al	Ti	Co	B	Sn	Sb	
0,04	0,11	0,04	0,05	0,01	0,004	0,04	0,02	

Tab. 2 Ekvivalenty oceli ČSN 412 020 („12 122.3“) [4]

Norma	Stát	Materiál	Číslo materiálu
DIN 17210	D	C 15	1.0401
DIN 17210	D	Ck 15	1.1141
EN 10084	EN	C15E	1.1141
EN 10277- 2	EN	C15	1.0401
GOST 1050	SU	15	-
ČSN 412020	CZ	12 020	412020

Popis experimentu

Experiment byl proveden na pneumatickém kanónu pro Taylorův test v laboratoři vysokých rychlostí deformace na Ústavu strojírenské technologie, odboru technologie tváření kovů a plastů, FSI VUT v Brně.

Zkoumány byly pneumaticky nastřelované válcové vzorky $\varnothing 5\text{mm}$ a délky 25mm, pro klasický Taylorův kompresní test, z výše uvedené oceli (viz Tab. 1, Tab. 2). Vzorky byly zatíženy v rozsahu dopadových rychlostí cca 100 až 170m/s, viz. Tab.3.

Jelikož při dopravě ohřátých vzorků je nutno zamezit přestupu tepla ze vzorku do nosiče, bylo



Obr. 1 Teflonová vložka a nosič

nutno vyrobít speciální vložky do nosičů, dle obr.1. Byl aplikován TEFLON – PTFE, který je použitelný do teplot 250°C [6]. Při vyšší teplotě se lepí na vzorek a je hůře oddělitelný od vzorku, proto byl do otvoru ve vložce aplikován silikonový olej. Pec byla nastavena na 300°C z důvodu manipulačních prostožů a teploty použitelnosti Teflonu.

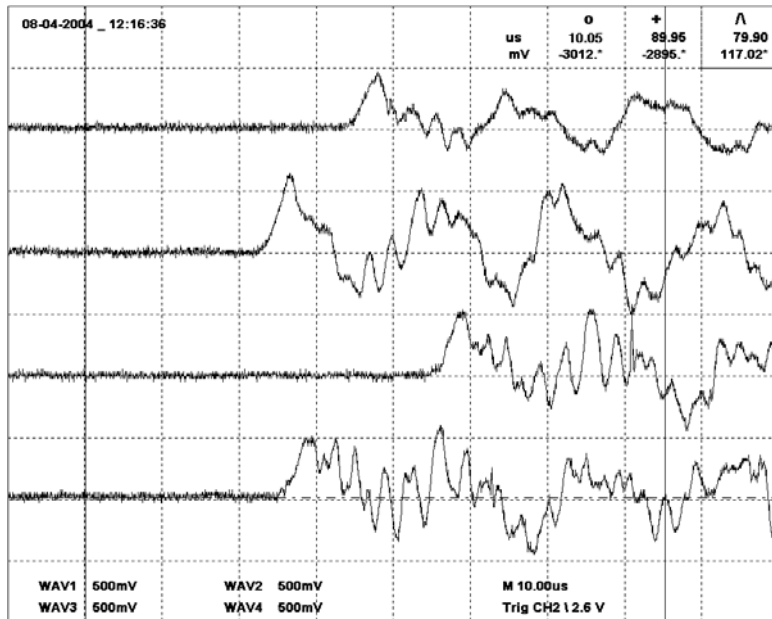
Tab. 3 Zatížení zkušebních vzorků

Označení vzorku	Rozměry vzorku	plnění t_p [s]	Rychlost		Poznámka
			s nosičem	bez nosiče	
			v_1 [m/s]	v_2 [m/s]	
2 – 20	$d_0= 5,00\text{ mm}$ $d_1= 5,99\text{ mm}$ $L_0= 25,00\text{ mm}$ $L_f= 23,55\text{ mm}$	60	147,28	142,13	Dopad vzorku nekolmý! Vložka vytržena z nosiče a uvízla v dopadišti!
			Nosič T6 (8,811g)		
2 – 21	$d_0= 5,00\text{ mm}$ $d_1= 6,16\text{ mm}$ $L_0=24,99\text{ mm}$ $L_f=23,85\text{ mm}$	50	136,24	110,28	Vzorek nekorektní-uštipnuta část cylindru
			Nosič T7 (8,744g)		
2 – 22	$d_0= 5,00\text{ mm}$ $d_1= 5,63\text{ mm}$ $L_0=24,95\text{ mm}$ $L_f= -\text{ mm}$	40	121,21	108,46	Vzorek opustil vložku, dopad nekolmý-ohyb vzorku ,uštipnuta hrana!
			Nosič T10 (8,517 g)		
2 – 23	$d_0= 5,00\text{ mm}$ $d_1= 6,58\text{ mm}$ $L_0= 24,99\text{ mm}$ $L_f= 23,16\text{ mm}$	60	148,37	168,69	Vložka opět vytržena z nosiče a uvízla se vzorkem v dopadišti!
			Nosič T8 (8,788 g)		
2 – 24	$d_0= 5,01\text{ mm}$ $d_1= 6,15\text{ mm}$ $L_0= 24,98\text{ mm}$ $L_f= 23,59\text{ mm}$	50	130,21	128,47	
			Nosič T9 (8,894 g)		

K zjišťování rázových sil a napětí bylo využito měrného válečku – dynamometru s aplikací 4 tenzometrů do plného Wheatsonova můstku. Dynamometr byl cejchován na hydraulickém lisu do 100kN. Ráz je vyvolán po průletu hlavní kanonu pro TAT, dopadem vzorku na čelo dynamometru. Měřicí signál (kanál 1- CH1) je přenášen přes zesilovač Hms Elektronik 556 do

paměťového osciloskopu TEKTRONIX TDS 210. Na obrazovce osciloskopu je vidět i spouštěcí signál (kanál 2-CH2), kterým zamezujeme předčasnému spouštění měření, parazitními šумы v laboratoři. Zaznamenané průběhy napětových pulsů je možné vytisknout jako přímou kopii obrazovky - Hardcopy nebo pomocí portu RS 232 přenést data na disk počítače a zpracovat v programu SCOPE 5.5. [2].

Obr. 2 Záznam pulsů vzorů 2-20 až 2-23 z programu SCOPE 5.5



Zpracování naměřených dat a výpočty

Vstupní data:

U_{BD} – maximální vrchol-
Peak signálu (dle tab.4)

$U_n = 1,76V$ – napájecí napětí

$k = 1,99$ – konstanta použitých
tenzometrů

$Z = 100x$ – zesílení signálu
zesilovačem

$\mu = 0,3$ – Poissonovo číslo
pro ocel

Deformace

$$\varepsilon' = \frac{U_{BD}}{U_n} \cdot \frac{2}{k} \cdot \frac{1}{Z(1+\mu)} \quad [-] \quad (1)$$

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot 10^6 = \frac{U_{BD}}{U_n} \cdot \frac{2}{k} \cdot \frac{1}{Z(1+\mu)} \cdot 10^6 \quad \left[\frac{\mu m}{m} \right] \quad (2)$$

Rázová síla – dle cejchovní přímky dynamometru [2]

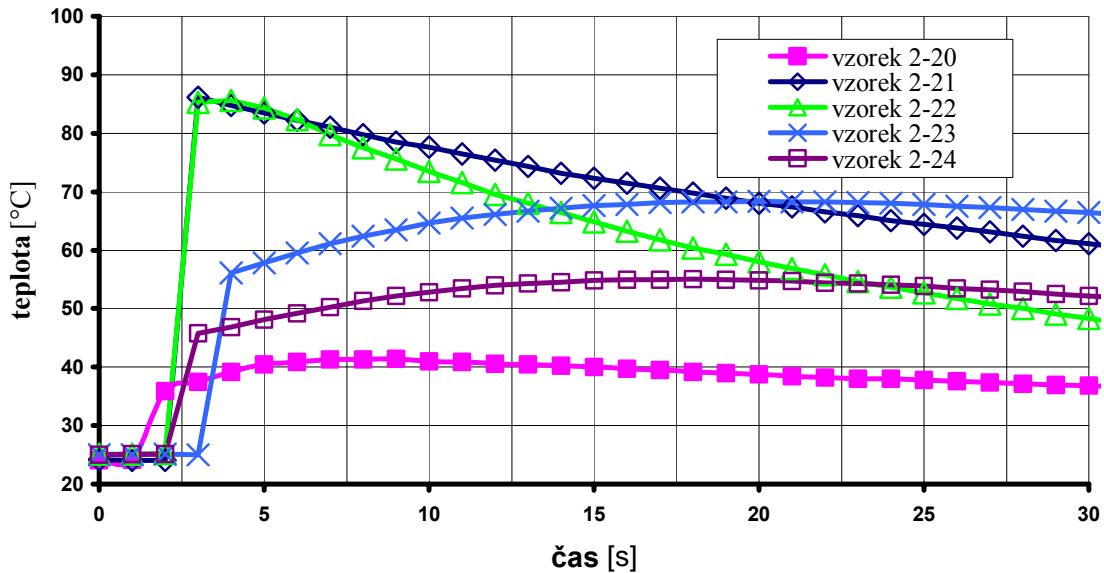
$$F = 0,009405 \cdot \varepsilon + 0,375 \quad [kN] \quad (3)$$

Tab. 4 Naměřené a vypočtené hodnoty deformace, rázové síly a teplot vzorků

Vzorek	Max.Peak $U_{BD}[mV]$	Deformace		síla $F [kN]$	Teplota	
		$\varepsilon' [\mu m/m]$	$\varepsilon [-]$		$T_{vz}[^{\circ}C]$	$T_D[^{\circ}C]$
2-20	459,95	0,002032	2031,91	19,49	148	41,4
2-21	617,92	0,002730	2729,77	26,05	180	86,2
2-22	540,00	0,002386	2385,55	22,81	189	85,6
2-23	579,94	0,002562	2561,98	24,47	156	68,4
2-24	279,98	0,001237	1236,85	12,01	171	55,0

T_{Vz} – maximální teplota povrchu vzorku po vyjmutí z pece, zjištěna digitálním multimetrem UT70B s dotykovým teplotním čidlem

T_D – maximální teplota vzorku v okamžiku dopadu, zjištěna bezkontaktní teplotní sondou Thermalert MID od firmy Raytek [5]



Obr.3 Závislost teploty vzorků 2-20 až 2-24 na čase u Taylorova testu

Dosažené výsledky

Díky ohřevu vzorků bylo dosaženo menších maximálních výchylek – peaků, což se samozřejmě odráží i v nižších hodnotách vypočtených deformací a rázových sil, viz Tab.4. Dopadové teploty vzorků jsou podstatně nižší než jsme předpokládali a než kterých jsme při předchozích experimentech dosáhli. Příčinou jsou časové prodlevy při přemístění vzorku z pece do vložky nosiče a následně do hlavně kanonu, ale i nedostatečná tepelná odolnost použitého materiálu vložky-teflonu.

Závěr

Praktický význam projektu spočívá v prohloubení poznatků o chování ocelí, vhodných pro tváření za vyšších teplot a možné aplikaci zjištěných výsledků v průmyslové praxi.

Výzkum neustále probíhá a v současné době je věnována maximální pozornost dosažení reprezentativních výsledků pro opakované experimenty zjišťování rázových sil a napětí u TAT za zvýšených teplot vzorků. Zejména se jedná o odstranění problémů s nalepováním vzorků na vložku, její poškození, nalezení materiálu krátkodobě odolávajícího vyšším teplotám a eliminaci prostojů při ohřevu a dopravě vzorků s nosičem.

Provedený experiment poskytl řadu nereprezentativních vzorků, nebyl dostatečně zvládnut a absence záznamů časových prodlev od vyjmutí vzorku z pece až po jeho dopad, dává podnět k hlubšímu zkoumání překážek nastoleného tématu.

Poděkování

Práce na tématu „Zjišťování rázových sil a napětí u Taylorova kompresního testu za zvýšených teplot vzorků.“ by nebyly možné bez týmové spolupráce, dílčích součástí výzkumného záměru MSM 262100003 (CZ 330003) a finanční podpory Fondu vědy Fakulty strojního inženýrství BD 1343041.

Literatura

- [1] JOPEK, M. *Modelování mechanického chování ocelí za vyšších rychlostí deformace*. Doktorská disertační práce, VUT Brno, FSI, ÚST, odbor tváření kovů a plastů, Brno 2003, s 200 str.
- [2] FOREJT, M., JOPEK, M., PERNICA, Z., KRÁSNÝ, D. *Zjišťování rázových sil a napětí při Taylorově testu*. (MEASUREMENT OF DEFORMATION FORCES AND STRESSES DURING THE TAYLOR ANVIL TEST.). Proceedings of the 8th International Conference TECHNOLOGY 2003. Slovak University of Technology in Bratislava. 1st ed. September 9-10. 2003. Vol.1. p.127-1-127-4. CD ROM, ISBN 80-227-1935-8.
- [3] KRÁSNÝ, D. *Vliv teploty na tvářitelnost vzorků z oceli 12 122.3 (FP 33 00 38)*. FSI Junior konference. Brno 2003. VUT Brno, FSI, September 9-10. 2003. Vol.1. p.?. CD ROM, ISBN 80-?-?-?. (23. dubna 2004 zatím fyzicky neexistuje)
- [4] VÚK PANENSKÉ BŘEŽANY, S.R.O., Fe slitiny - oceli, litiny. Materiál ČSN 412020 12020, Konstrukční oceli nelegované jakostní, ušlechtilé. Ekvivalentní materiály oceli ČSN 412 022. Dostupné z <http://csnmt.fme.vutbr.cz/informace/cs/nezelezo/Fe71.htm>
- [5] TSI SYSTEM BRNO, dovozce bezkontaktní teplotní sondy Thermalert Compact MID od firmy Raytek. Dostupné z <http://www.tsisystem.cz/index2.htm> }
- [6] INTERNATIONAL TRADE & PRODUCT, s.r.o., Ostrava, středisko Flexon, Chropyně, výrobce Flexonu (tj. Teflonu, PTFE, ... apod.). Dostupné z <http://home.tiscali.cz/cz561666/>