

Vývoj a výroba zkušebních strojů a zařízení pro zkoušení miniaturizovaných vzorků, návrh úprav CWA 15627

Development of Testing Machines and Equipment for Small Punch Testing, Proposals for Improvement of CWA 15627

Ing. Daniel Omacht; Zdeněk Kubánek; Roman Doležal

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Potřeba stanovení mechanických vlastností materiálů strojních součástí pracujících v provozních podmínkách bez nutnosti odstavení strojního celku a dezintegrace strojní součásti v minulosti vedlo k vývoji miniaturizovaných zkušebních těles spojeným se vznikem speciálních zkušebních postupů a metod. Během mnoha let byly vyvinuté metody zpřesňovány, výsledky porovnávány s konvenčními zkušebními metodami, tvar a rozměry zkušebních těles byly modifikovány. Enormní rozvoj informačních technologií umožnil vznik nové vědní oblasti – mechatroniky – spojení a kombinace několika inženýrských oborů jako matematiky, strojírenství, teorie obvodů, elektroniky, pohonů, telekomunikace, teorie a prostředků řízení, zpracování signálu a robotiky. Mechatronika, vývoj nových materiálů, metod CNC obrábění u kovových i nekovových materiálů, miniaturizace snímačů fyzikálních veličin, možnosti rychlého, přesného snímání a znamenávání dat výrazně ovlivnily oblast vývoje zkušebních zařízení a umožnily konstruovat stroje, což v minulosti nebylo touto cestou možné.

Obsahem příspěvku je představení nejnovější konstrukce, vlastností a realizovaných výsledků zkušebního zařízení pro stanovení zbytkové životnosti strojních součástí pracujících za zvýšených teplot (SPUTT500®), zařízení pro zkoušení malých vzorků za normálních a snížených teplot (CRYOSET®) a bezvrubového odběrového zařízení (ESTIM®) sloužícího nejenom pro další výzkum, rozvoj a hodnocení technologie zkoušení malých vzorků dle CWA 15627, ale především pro stanovení mechanických vlastností provozovaných strojních zařízení. Závěrečná část příspěvku se zabývá návrhem úprav stávajícího předpisu pro provádění penetračních testů (CWA 15627).

Klíčová slova: SPT; SPCT; SPUTT 500; ESTIM; CRYOSET; penetrační testy miniaturizovaných vzorků; CWA 15627; zkoušení miniaturizovaných vzorků

The need to determine the mechanical properties of materials of machine parts working in operating conditions without shutdown of the entire unit and disintegration of machine parts in the past led to the development of miniaturized specimens associated with the generation of special test procedures and methods. During many years the developed methods were continuously enhanced, the results were compared with conventional testing methods, the shape and dimensions of specimens were modified. The enormous development of information technologies in the last decades enabled the emergence of a new field of science - mechatronics - a multidisciplinary field of engineering that includes a combination of systems engineering, mechanical engineering, electrical engineering, telecommunications engineering, control engineering and computer engineering. Progress in the field of mechatronics, together with development of new materials, new CNC machining methods for metallic and non-metallic materials, miniaturization of sensors of physical quantities, fast, accurate data sampling and recording, significantly influenced the development of the testing devices and allowed to construct machines, which were not possible in the past.

Content of this paper presents the latest design and features of a test device for determining the residual life of machine components working at elevated temperatures (SPUTT500®), equipment for tensile and fracture testing small samples under the normal and low temperatures (CRYOSET®) and the scoop sampling machine (ESTIM®) used not only for further research but also for development and evaluation of small samples testing technology. The final part of this article comprises the proposal for improvement of the Code of practise for small punch testing (CEN Workshop Agreement 15627).

Key words: SPT; SPCT; Small punch testing; Small punch creep testing; SPUTT 500; ESTIM; CRYOSET; Scoop sampling machine; CWA 15627

Odhady zbytkové životnosti strojních konstrukcí a zařízení jsou nemyslitelné bez znalostí stavu, resp. stupně degradace použitých konstrukčních materiálů způsobené vlivem jejich dlouhodobé expozice

v provozních podmínkách. Již téměř půl století se materiáloví inženýři snaží vyvinout metodu zkoušení materiálu, která by z minimálního množství odebraného materiálu nejlépe bez poškození strojní součásti

a zároveň bez zastavení provozu provozovaného celku dokázala zjistit aktuální mechanické vlastnosti.

V průběhu let bylo vyzkoušeno několik zkušebních metod s různými tvary a velikostmi zkušebních těles. Jednou z nejslibnějších metod vhodných pro zjištění mechanických vlastností se stala metoda penetračních testů, kdy zkušebním vzorkem je disk o průměru 8 mm a tloušťce 0,5 mm (obr. 1). Metoda byla původně určena pro zjištění zbytkové životnosti strojních součástí pracujících za zvýšených teplot [16]. Později bylo její použití rozšířeno i pro stanovení tahových a křehkolomových vlastností materiálu.



Obr. 1 Zkušební vzorky pro penetrační testy (small samples)
Fig. 1 Small test samples for penetration tests

1. Vývoj zkušebních strojů a zařízení

1.1 Historie vývoje penetračních testů ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (MMV)

Dnešní MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM (MMV), který do roku 2001 existoval jako VÍTKOVICE – výzkum a vývoj), začal pracovat s penetračními testy v 90. letech 20. století, a to díky kooperaci s univerzitou College ve Swansea [1]. Na základě prvních zkušeností byly ve firmě MMV postaveny první jednoduché mechanické zkušební zařízení. Na základě získaných výsledků byly provedeny korelace mezi klasickými metodami a penetračními testy [2]. Během mnoha let MMV metodu používalo a korelace byly zpřesňovány. Výsledky výzkumu a vývoje v této oblasti byly průběžně publikovány na různých konferencích, či v odborných časopisech [2 – 14].

V roce 2004 byla zkušební metoda penetračních testů ve spolupráci s normalizačním úřadem CEN a mezinárodní skupinou materiálůvých specialistů zformulována v dokument, který byl nazván CWA 15627 a slouží dnes jako předpis k provádění penetračních testů. Dokument byl vydán v prosinci roku 2007 [15].

1.2 SPUTT 500

SPUTT 500 je zařízení určené pro stanovení zbytkové životnosti strojních součástí pracujících za zvýšených teplot pomocí zkoušení miniaturizovaných vzorků metodou penetračního testu. Na základě prováděcího předpisu CWA 15627 se první verze SPUTT 500 V1.3 (obr. 2) začala vyvíjet v roce 2010. Na konci tohoto roku byl stroj postaven a začalo jeho testování. Zařízení

bylo poloautomatické, měření teploty nebylo realizováno přímo na jeho povrchu, nýbrž v nejbližším možném místě (cca 10 mm od vzorku.)

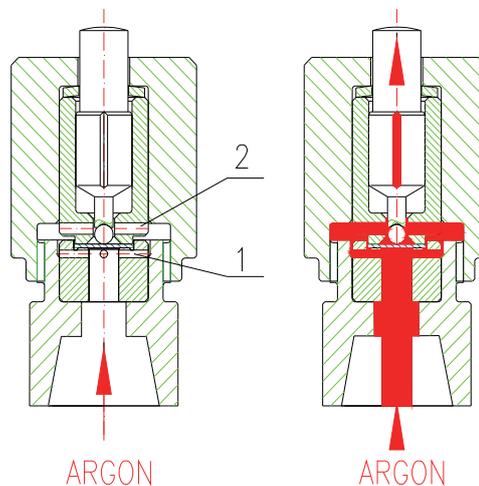
Teplota vzorku byla přepočítávána na základě křivky vzniklé automatickým kalibračním procesem. Pomocí raménka a LVDT snímače (obr. 3) byla měřena a zaznamenávána závislost posunu razníku na čase. Razník se zápustkou byly vyrobeny z creepově odolné niklové slitiny. Zatížení vzorku se provádělo pomocí keramické kuličky. Ochrana vzorku byla zajištěna pomocí argonu, který byl řízeně ($10 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$) vhnán do patry se vzorkem (obr. 4).



Obr. 2 SPUTT 500 V1.3
Fig. 2 SPUTT 500 V1.3

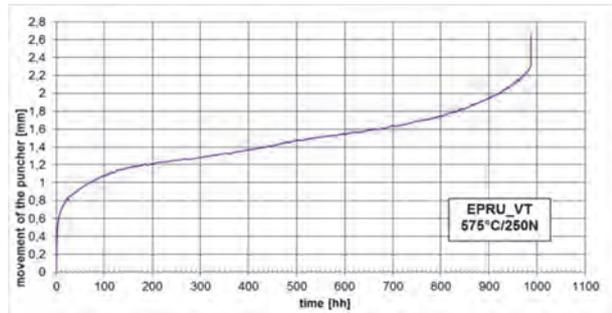


Obr. 3 Měření posunu razníku
Fig. 3 Measurement of the punch movement



Obr. 4 Ochrana vzorku argonem
Fig. 4 Argon protection of the sample

V průběhu testování stroje bylo zjištěno, že ačkoliv výsledná křivka měla správný tvar (obr. 5), u časově delších zkoušek docházelo vlivem nedostatečné vůle mezi vodičí vložkou a razníkem k jeho tzv. zarůstání, které se projevovalo občasným prodloužením doby zkoušky.



Obr. 5 Grafická závislost posunu razníku v čase (SPUTT500 V1.3)
Fig. 5 Graphical dependence of the punch movement vs. time

V roce 2011 byla původní verze nahrazena verzí SPUTT V1.4 (obr. 6), přičemž bylo změněno měření zatížení včetně snímače, nahrazeno stávající měření teploty za přesnější a změněna konstrukce patrony s jejím uložením na zkušební trn pro snadnější demontáž.



Obr. 6 SPUTT 500 V1.4
Fig. 6 SPUTT 500 V1.4

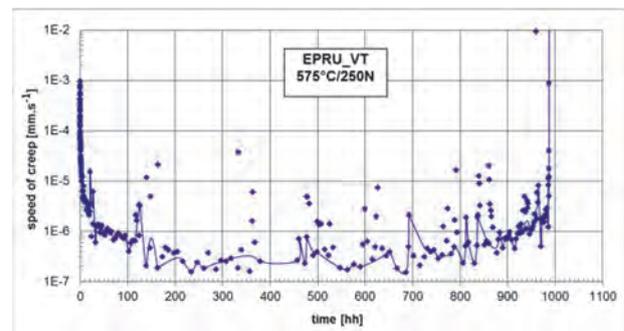
Během roku 2012 MMV postavilo tři zkušební stroje, u kterých byl přepracován řídicí SW (SPUTT V1.7). Od konce roku 2012 probíhalo důkladné testování, při kterém bylo zjištěno, že každé zařízení má svou vlastní charakteristiku. Tato skutečnost vedla tvůrce strojů k zamýšlení: hlavní příčiny spatřovali v deformaci razníku (obr. 7) během zkoušky, popř. vtlačení kuličky do razníku a v možnosti nepřesného měření teploty vzorku.

Myšlenku nového řešení konstrukce přinesla 3. mezinárodní konference SSTT v Grazu, Rakousku.

Původně idea p. Juhani H. Rantaly (VTT) měřit teplotu vzorku ve spodní části a zároveň také jeho deflexi se pokládala za technicky nemožnou. Nakonec se však podařilo najít konstrukční řešení a u stávající verze SPUTT 500 V1.7 změnit nepřímé měření teploty vzorku na přímé a přidat měření deflexe. Výsledkem bylo získání mnohem hladšího průběhu výsledné křivky deflexe vzorku vs. čas. Křivka rychlosti creepu na čase (obr. 8) však zůstala stále nepříjemně roztřesená.



Obr. 7 Deformace razníku
Fig. 7 Deformation of the punch



Obr. 8 Rychlost tečení
Fig. 8 Creep rate

Hlubší analýza problému vyústila v tyto možné příčiny:

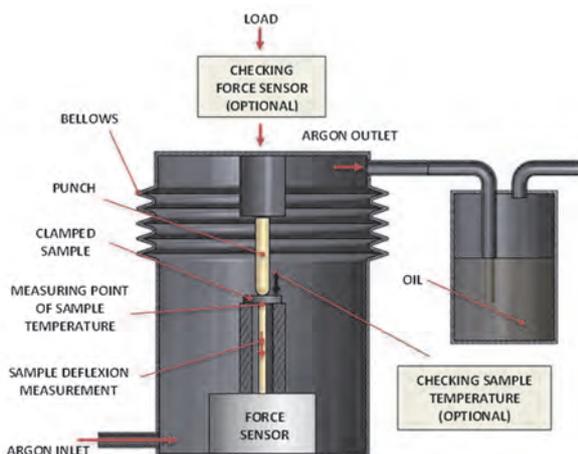
- tření vodičích částí (raménko je tlačeno pružinou LVDT snímače, která při náběhu zatížení způsobuje vyosení tažné vidlice),
- nedokonalá ochrana vzorku (obtékání vzorku argonem zajistilo pouze částečnou ochranu),
- deformace úkosu zápustky vlivem zatížení (niklové slitiny nejsou dostatečně odolné proti otlacení, při určitém zatížení dochází k deformaci náběhu otvoru se zkosením $0,2 \times 45^\circ \text{C}$, do kterého je vtlačován vzorek),
- aplikace kuličky, která vlivem deformace razníku (obr. 7) způsobovala vyosení.

Jako další negativní vliv je nutno brát i předpětí vzorku dané hmotností vidlice, patrony a raménka.

Odstranění všech těchto příčin nebylo možné provést úpravou stávajícího stroje. Bylo nutné vyvinout zcela novou konstrukci. Vývoj probíhal v průběhu roku 2015 a výsledkem se stala zcela nová verze SPUTT 500 V3.1 (obr. 9).

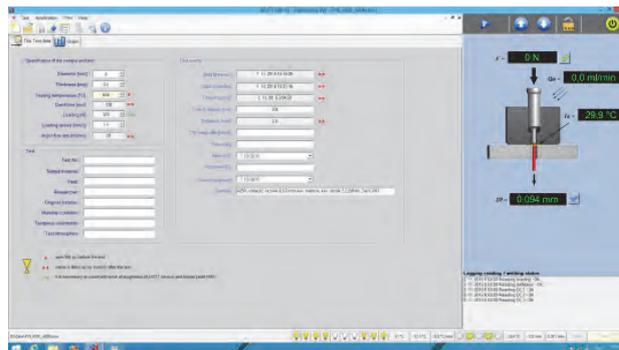


Obr. 9 SPUTT 500 V3.1
Fig. 9 SPUTT 500 V3.1

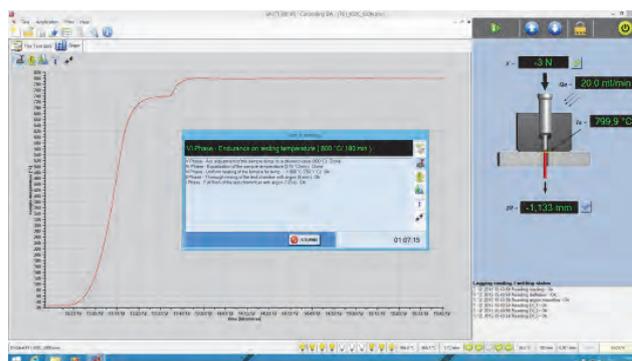


Obr. 10 Plynotěsná komora stroje SPUTT 500 V3.1
Fig. 10 Gas-tight chamber of the SPUTT 500 V3.1

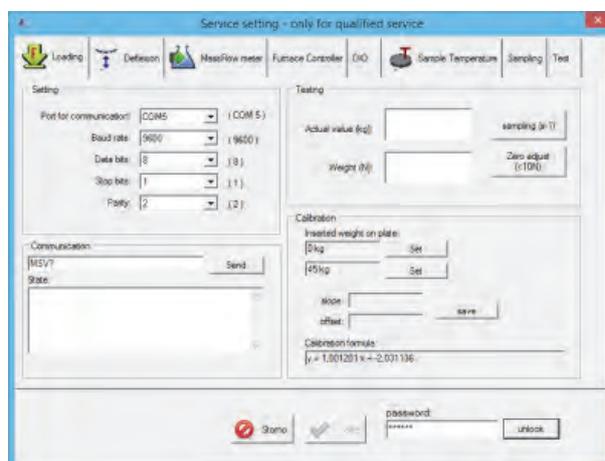
Nová verze SPUTT 500 V3.1 se liší od předcházejících koncepcí ve všech směrech: kompletní nová konstrukce 100 % zajišťuje ochranu zkušební vzorku proti jeho oxidaci pomocí plynotěsné argonové komory (obr. 10) s vlnovcem (testováno héliovou zkouškou s hodnotou přípustné netěsnosti $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), přesné měření teploty přímo na povrchu vzorku (termočlánek typu S, třída přesnosti 1), zcela hladké vedení zatížení (kuličková ložiska), přímé měření zatížení bezprostředně na trnu, na němž je uložen vzorek (přesnost měření 0,1 % z n.h.), nová konstrukce patry s keramickým razníkem a zápusťou a nový řídicí plně automatický systém (obr. 11, 12, 13) s devíti cykly programovatelnými uživatelem. Bylo zcela odstraněno předpětí vzorku. Protože se jedná o zkušební metodu penetračních testů – tzv. bulge, byl stanoven minimální utahovací moment patry, který zaručuje zachování průměru vzorku v celém průběhu testu. Výsledná závislost deflexe vzorku na čase je zcela hladká (obr. 14, 15). Z křivky rychlosti creepu lze jednoznačně vysledovat 3 stádia creepu (obr. 16, 17).



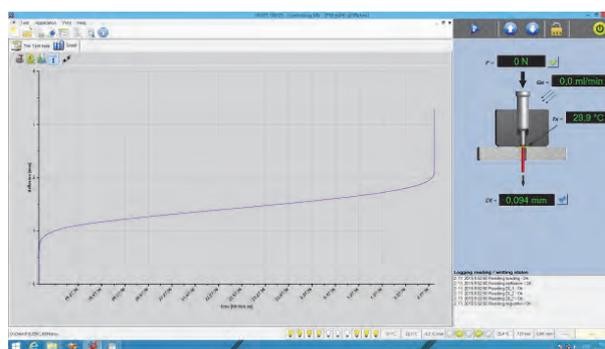
Obr. 11 Nastavení hlavních parametrů testu
Fig. 11 Setting of the main test parameters



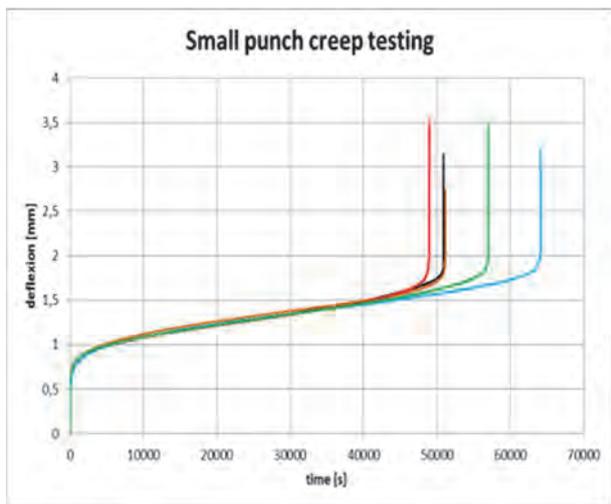
Obr. 12 Devět automatických cyklů
Fig. 12 Nine automatic phases of the test



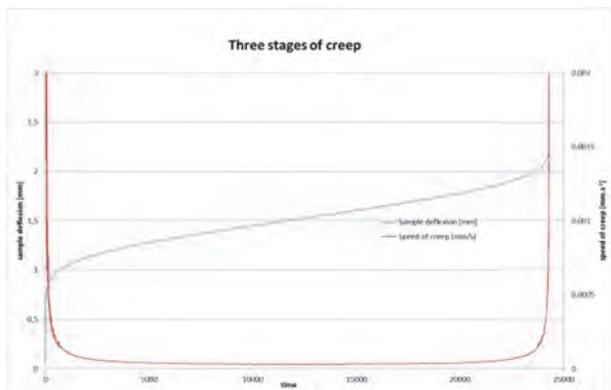
Obr. 13 Kalibrace hlavních měřených veličin
Fig. 13 Calibration of the main variables



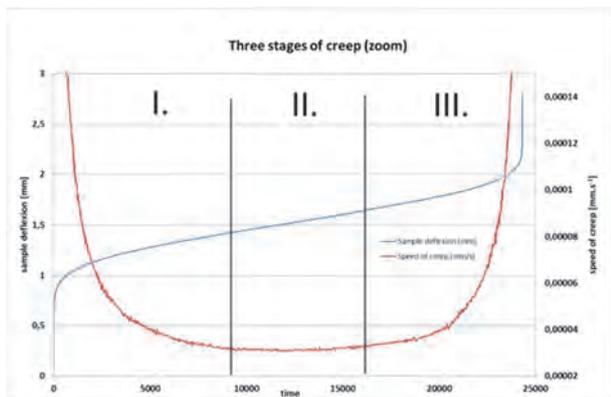
Obr. 14 Výsledná křivka tečení
Fig. 14 The resulting creep curve



Obr. 15 Porovnání výsledků
Fig. 15 Results comparison



Obr. 16 Tři stádia creepu
Fig. 16 Three creep stages



Obr. 17 Tři stádia creepu (přiblížení)
Fig. 17 Three stages of the creep-zoom

Dnes vývoj stroje stále pokračuje. Tým konstruktérů se snaží zvýšit teplotu zkoušení ze současně dosažitelných 800 na 1 000 °C, a to volbou vhodných materiálů a konstrukce chlazení snímačů. Ještě přesnější měření zatížení dané novým snímačem a novým vedením téměř bezodporové deflexní tyčinky zabezpečuje ty nejpresnější výsledky zkoušení. Díky své originální konstrukci představuje nová verze SPUTT 500 nejsofistikovanější zařízení pro zkoušení creepu penetrační metodou malých vzorků na světě.

1.3 CRYOSET

CRYOSET je zařízení určené pro stanovení tahových a křehkolomových vlastností materiálu pomocí penetračního testu miniaturizovaných vzorků.

V roce 2011 byl dle CWA 15627, část B (tahové a křehkolomové chování) vyvinut systém pro provádění penetračních zkoušek CRYOSET. Zařízení umožňuje provádět testování za normálních a nízkých teplot. Princip ochlazování vzorku spočívá v automatickém dávkovacím systému – sondě vložené do nádoby s tekutým dusíkem (obr. 18). Regulací tlaku v nádobě je vytlačován dusík do zkušební komory se vzorkem (obr. 19), která je napojena na zatěžovací rám. Teplota vzorku je měřena přímo na jeho povrchu a udržována řídicím systémem (obr. 22). Jakmile je dosažena požadovaná teplota, je možné provést test. Vynikající geometrie razníku a matrice společně s velmi vysokou tvrdostí a abrazovzdorností použitého materiálu zajišťuje velmi dobrou opakovatelnost naměřených výsledků. Zařízení obsahuje prvky, které zabezpečují bezpečný provoz a rychlou výměnu vzorku. Řídicí systém (obr. 20, 21) umožňuje ohřev kritických částí systému (nádoby a trnu). Vývoj probíhal více než dva roky a byly vyvinuty dvě verze. Zařízení bylo dodáno několika zkušebními laboratořím.



Obr. 18 Speciální sonda v Dewarové nádobě
Fig. 18 Special probe in Dewar container



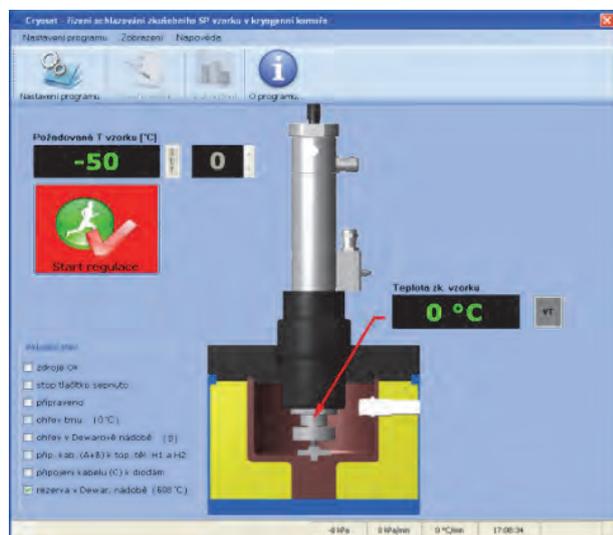
Obr. 19 Zkušební komora
Fig. 19 Test chamber



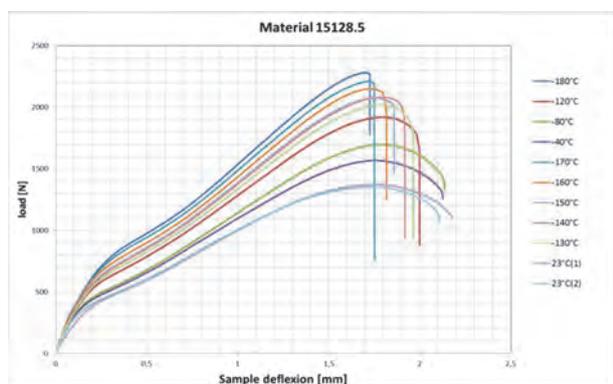
Obr. 20 Řídicí jednotka
Fig. 20 Control unit



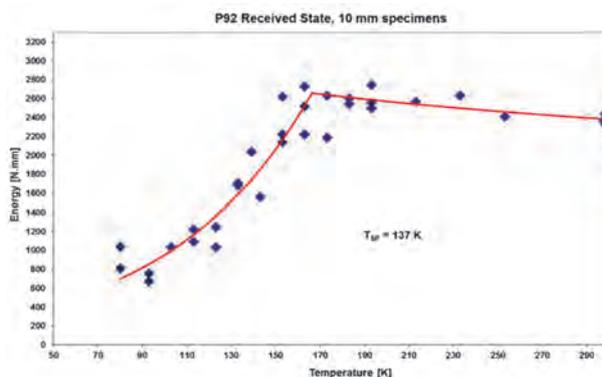
Obr. 21 Řídicí jednotka (zadní strana)
Fig. 21 Control unit - real side



Obr. 22 Řídicí software
Fig. 22 Control SW



Obr. 23 Naměřené závislosti (síla vs. protažení vzorku za dané teploty)
Fig. 23 Measured dependencies (force versus sample deflection at the given temperature)

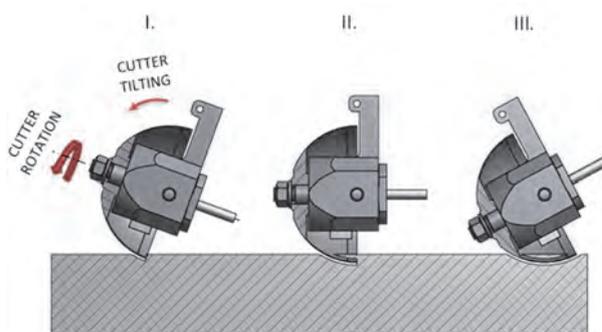


Obr. 24 Stanovení T_{sp}
Fig. 24 T_{sp} determination

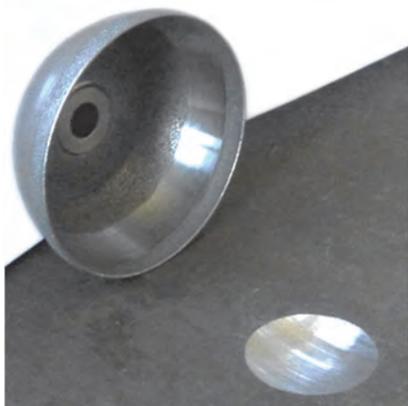
1.4 ESTIM

Tradiční odběr zkušebního materiálu u provozovaných zařízení představuje vedle nezbytných odstávek rovněž nevhodný zásah do celistvosti hodnocené součásti, ať už se jedná o odběr strojním obráběním, tepelným dělením nebo dalšími způsoby. Uvedené destruktivní metody vyžadují následující opravu odebraného místa, většinou zavařením, včetně tepelného zpracování a řady nedeštruktivních kontrol. Nezřídka se toto místo, které prodělalo řadu teplotních cyklů při svařování, stává zdrojem dalších potíží včetně možnosti vzniku trhlin při dalším provozu.

Tyto zřejmé nevýhody odstraňuje tzv. lžičkový systém odběru materiálu, který bez ovlivnění testované součásti i odebraného vzorku odebírá materiál do hloubky cca 0,5 až 4 mm prakticky bez vrubového účinku [18]. Princip odběru, který je schematicky znázorněn na obr. 25, zahrnuje odbroušení mezivrstvy mezi vzorkem a součástí pomocí rotujícího nástroje tvaru kloboučku o tloušťce cca 0,5 mm a průměru okolo 50 mm (obr. 26). Pomocí jednoduchého pákového mechanismu je brusný klobouček, pokrytý na lemu diamantovou drtí, posunován velmi pomalou rychlostí do záběru.



Obr. 25 Systém odběru malých vzorků
Fig. 25 Principle of the scoop sampling



Obr. 26 Brusný kotouč a místo odběru
Fig. 26 The cutter and the place of sampling

Celý proces odběru, trvající asi 1 – 3 hodiny, umožní získání vzorku ve tvaru kulového vrchlíku o poloměru cca 25 mm a rovinné ploše asi 3 cm². Absence tepelného a deformačního ovlivnění u odebraného vzorku i testované součásti je zajištěna vysokou obvodovou rychlostí odbrušovacího nástroje a pomalým posuvem do záběru za současného intenzivního chlazení chladicí kapalinou.

Odebraný vzorek umožňuje vedle běžné chemické, metalografické, případně elektronomikroskopické analýzy provést přípravu jednoduchých zkušebních tělísek pro ověření základních mechanických vlastností i dalších speciálních modifikovaných testů, např. odolnosti proti křehkému porušení, lomové houževnatosti nebo zkoušek tečení.

MMV pro odběr malých vzorků od roku 1996 používal odběrové zařízení od firmy Rolce Royce SSAM-2. Během let používání přístroje bylo zařízení vlastními pracovníky opravováno, upravováno a vylepšováno. Na základě získaných zkušeností MMV vyvinulo vlastní odběrové zařízení nazvané ESTIM (obr. 27 – 29). Jeho konstrukce je postavena na principu lžícového odběru. Unikátní způsob uchycení otočné hlavy zajišťuje přesný a efektivní řez. Výsledkem je minimalizace řezného času a hladší povrch řezu u vzorkované součásti, tedy menší vrub. Řídicí systém (obr. 30) umožňuje rotaci nástroje až 16 000 rpm, volbu směru řezu a programování úhlu řezu. Pro snadné a rychlé upínání stroje k odebírané součásti byl vyvinut upínací přípravek SPIDER. Chlazení vzorku zajišťuje peristaltické dvouhlavé čerpadlo, které chladí místo řezu a zároveň odebírá chladicí kapalinu do zásobníku. V současné době se uvažuje o vývoji verze pro použití za vyšších teplot. Ukázky realizovaných odběrů v provozních podmínkách ukazuje obr. 31.



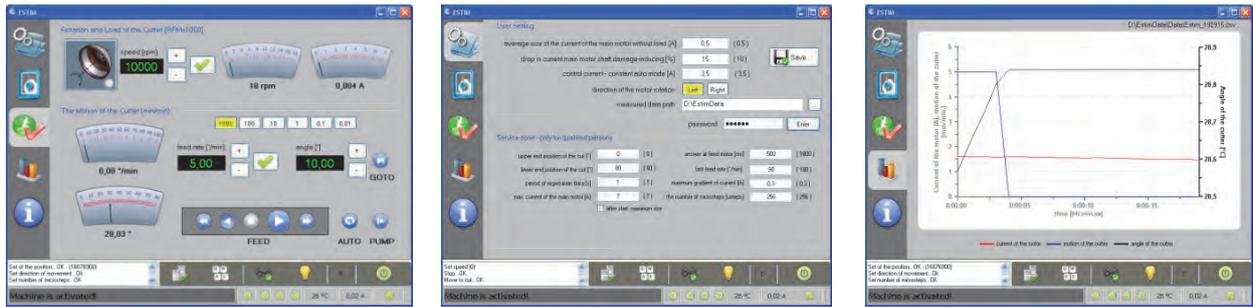
Obr. 27 Odběrné zařízení ESTIM
Fig. 27 Scoop sampling machine ESTIM



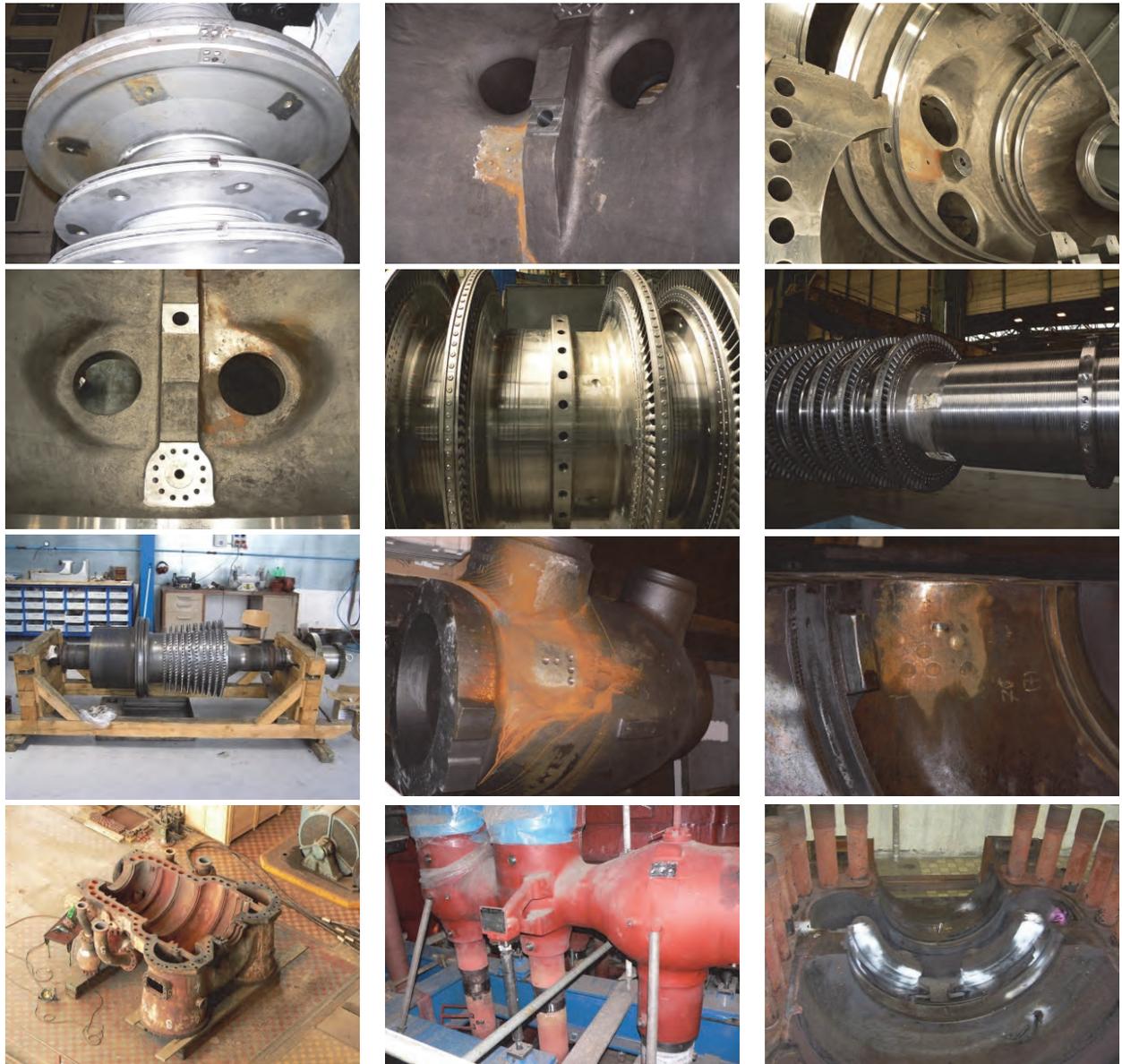
Obr. 28 ESTIM balení pro transport
Fig. 28 Packaging for transporting



Obr. 29 Kufř s příslušenstvím ESTIM
Fig. 29 Suitcase with accessories



Obr. 30 ESTIM řídicí systém
Fig. 30 ESTIM control software



Obr. 31 Příklady realizací odběrů
Fig. 31 Examples of realization of the scoop sampling

2. Návrh úprav CWA 15627

Metoda zjišťování mechanických vlastností materiálu pomocí penetračních testů miniaturizovaných vzorků je

nejen v průmyslu nepostradatelná, ale také i ekonomicky velmi výhodná. Bohužel však malý objem zkoušeného materiálu představuje extrémně přísné dodržování podmínek a metodiky zkoušení.

Kritická místa metody spočívají především v:

- dodržení přesné geometrie vzorku (tolerance tloušťky vzorku, paralelita a drsnost ploch),
- dodržení přesné geometrie razníku a matrice,
- zajištění co nejmenšího tření vznikajícího aplikací zatěžovací síly na razník,
- zajištění dokonalé ochrany vzorku proti jeho oxidaci,
- nastavení přesné teploty vzorku a její udržování v průběhu celého zkušební procesy,
- nastavení přesného zatížení vzorku (eliminace sil působících proti zatížení, jako je odpor vlnovců nebo přítlaču snímačů),
- zajištění správného a přesného měření průhybu vzorku (upnutí, souosost razníku s matricí a vzorkem).

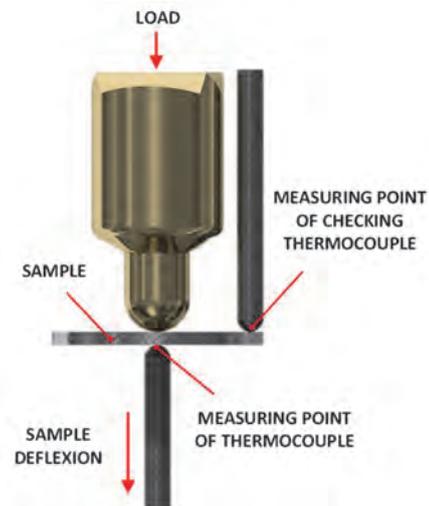
Přestože zkušební metodu dnes používají laboratoře po celém světě, zkušební norma byla přijata zatím jen v Japonsku [17] (pouze pro SPC). V Evropě či USA byl přijat pouze prováděcí předpis CWA 15627. Je více než žádoucí vytvořit z tohoto předpisu zkušební normu, aby se metoda stala dostatečně věrohodná pro širší nasazení a využití v průmyslu. Výsledky dosavadních porovnávacích testů ukázaly, že stávající předpis CWA 15627 je nedostatečný a je ho nutno revidovat.

Na základě poznatků získaných stavbou zařízení pro penetrační testy a jejich mnohaletým testováním MMV navrhuje upřesnit CWA 15627 následovně:

Část A (creep):

1. používat pouze keramický razník (ne kuličku z důvodu možnosti vyosení středu) – materiál razníku Al_2O_3 , popř. ZrO_2 , přesnost kulové části razníku v toleranci $\pm 0,003$ mm, razník by měl být označen;
2. matrici provést z materiálu Al_2O_3 , popř. ZrO_2 , otvor s přesností $\pm 0,003$ mm, místo úkosu $0,2 \times 45^\circ$, použít rádius $R0,2 \pm 0,05$ (změna úkosu na rádius je dána skutečností, že u niklových slitin je hrana v průběhu testu deformována, u keramiky občas uštípnuta a to vede k rozdílným výsledkům; navíc při výrobě sražení se nedá definovat ostrost přechodové hrany, matrici označit);
3. teplotu měřit přímo na vzorku a zařízení musí umožňovat i občasnou kontrolu této teploty druhým nezávislým termočlánkem na druhé straně povrchu vzorku (obr. 32);
4. zatížení je nutno měřit přímo pod vzorkem, aby se eliminovalo tření mezi razníkem a vedením, přítlačná síla flexní tyčinky a tuhost vlnovce zajišťující přenos zatížení na razník v plynotěsné komoře; je doporučena možnost občasné kontroly druhým nezávislým tenzometrem, a to v celém průběhu testu;
5. používat pouze měření deflexe vzorku z důvodu rozdílné tuhosti zatěžovacího mechanismu, popř. creepu razníku a tlačného trnu;

6. pro správné stanovení výsledného napětí zapsat před zkouškou do protokolu přesný rozměr vzorku, průměr díry záпустky a průměr razníku.

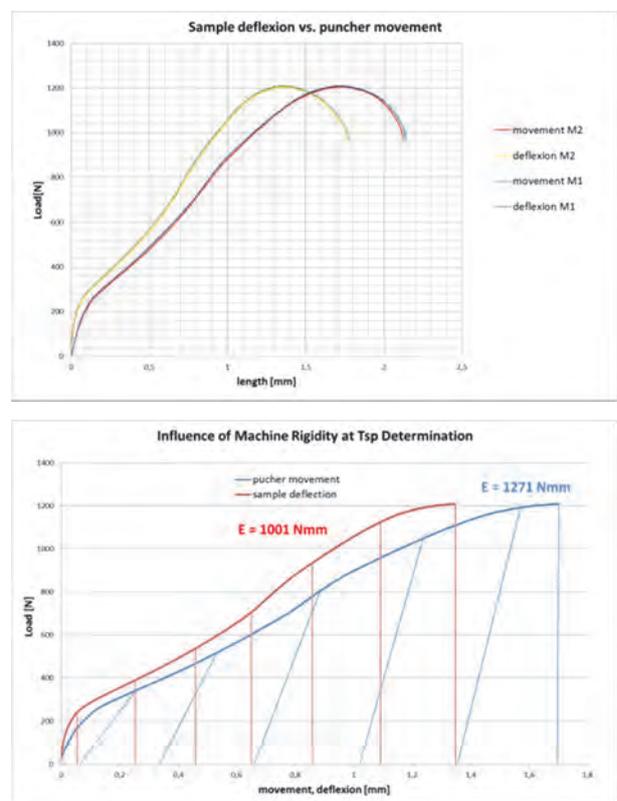


Obr. 32 Kontrola měření teploty vzorku

Fig. 32 Checking of the temperature measurement of the sample

Část B (tahové a křehkolomové zkoušení):

1. měřit deflexi vzorku, ne posun razníku z důvodu rozdílné tuhosti každého stroje (obr. 33);
2. používat razník $\phi 2 \pm 0,005$ mm, tvrdost >55 HRC;
3. používat matrici s otvorem $\phi 4H6$, tvrdost >55 HRC, rádius 0,2 místo úkosu;
4. měření teploty je nutné provádět přímo na vzorku.



Obr. 33 Vliv tuhosti stroje na velikost energie

Fig. 33 Influence of machine rigidity on the amount of energy

3. Závěr

I malé nepřesnosti ve výše uvedených jednotlivých kritických místech vlivem jejich potenciálně velkého množství mohou mít za následek diametrálně rozdílné výsledky zkoušení. Tato skutečnost vede k myšlence zavést několik tříd etalonů, kterými by bylo možné celý měřicí systém jednoduše a rychle validovat.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] PURMENSKÝ, J. *Review of Small Punch Techniques* (Bend Test, Bulge Test and Shear Punch Test). Studie Materials Dept. of University College, Swansea, May 1991.
- [2] PURMENSKÝ, J., MATOCHA, K. Zkoušení malých vzorků ve fyzikální metalurgii. In *Metal 2001-10th International Metallurgical and Materials Conference*, 15.-17.5.2001, Ostrava, Czech Republic.
- [3] PARKER, J.D., PURMENSKÝ, J. Assessment of Performance by Monitoring in Service Changes in Material Properties. In *Reliability and Structural Integrity of Advanced Materials – 9th European Conference on Fracture*, Varna, Sept. 1992.
- [4] PURMENSKÝ, J., KUPKA, V. *Hutnické listy*, 48 (1993) 7-8, 65
- [5] PURMENSKÝ, J., WOZNIAK, J. Small Samples Method Application for the Evaluation of Mechanical Properties at Elevated Temperatures. In *IX. Int. Symposium CREEP 1996*, p. 142, Hradec nad Moravicí, Belaria, Czech Republic, Sept. 1996.
- [6] PURMENSKÝ, J., FOLDYNA, V., SOJKA, J., KARÁSEK, J. Small Sample Testing Methods for Conditional Assessment of High Energy Equipments. In *Int. Conf. Compass 1999*, p. 227, Editors: W.J. Evans, A.W.Evans, M.R.Bache, Swansea U.K., March-April 1999.
- [7] MATOCHA, K., PURMENSKÝ, J., MIŠČICKI, M., MARSZALEK, P. Determination of Actual Tensile and Fracture Properties of Steam Turbine Rotor by Small Punch Tests. *Advances in Materials Science*, 7, (June 2007) 2(12), 32, ISSN 1730-2439.
- [8] PURMENSKÝ, J., MATOCHA, K. Determination of Long Term Material Properties Degradation Using Small Specimen Testing Pressure Vessels and Piping, *Inspection and Life Management*, Vol. IV, pp 213-220, Editors: B. Raj, B. K. Choudhary, A. Kumar. Published by N. K. Mehra for Narosa Publishing House Pvt. Ltd., 2009, New Delhi India, ISBN 978-81-8487-003-9.
- [9] MATOCHA, K., KUBOŇ, Z., PURMENSKÝ, J. Ductile – brittle Transition Behaviour of Circumferential Weld of Reheater Header Determined by Small Punch Tests. In *1st Int. Conf. SSTT (Small Sample Test Techniques)*, 63 (2010), 103–107, 2010.
- [10] HURST, R.C., MATOCHA, K. Where Are We Now with the European Code of Practice for Small Punch Testing? In *2nd Int. Conf. SSTT, (Small Sample Test Techniques)*, 63 (2010), 103–107; 2010, *Metallurgical Journal*.
- [11] LI, Y., HURST, R., MATOCHA, K., ČÍŽEK, P., BLA-GOEVA, D. New Approach to Determine Fracture Toughness from the Small Punch Test. In *2nd Int. Conf. SSTT, Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques*, pp. 94–102, Ostrava 2012.
- [12] MATOCHA, K. Determination of Actual Tensile and Fracture Characteristics of Critical Components of Industrial Plants under Long Term Operation by SPT. In *The ASME 2012 Pressure Vessels & Piping Division Conference PVP 2012*, July 15-19, 2012, Toronto, Ontario, Canada (CD-ROMM).
- [13] MATOCHA, K., FILIP, M., KARTHIK, V., KUMAR, V., LACALLER, R., TONTI, A. Results of the Round Robin Test for Determination of T_{SP} of P22 Steel Small Punch Tests. In *2nd Int. Conf. SSTT, Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques*, pp. 227–232, Ostrava 2012.
- [14] MATOCHA, K. Small Punch Testing for Tensile and Fracture Behaviour – Experiences and Way Forward. Application of Miniature Small Punch Test Specimen in Determination of Tensile Properties, Small Specimen Test Techniques. In *6th International Symposium, ASTM STP1576*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, 2014.
- [15] CEN WORKSHOP AGREEMENT “Small Punch Test method for Metallic Materials” CWA 15627:2007 D/E/F, December 2007.
- [16] HURST, R. Experiences with the European Code of Practice for Small Punch Testing for Creep, Tensile and Fracture Behaviour. In *3rd Conference SSTT*, Graz, Austria, 2014.
- [17] *Standard for Small Punch Creep Test*. Edited by The Committee on High Temperature Strength of Materials, the Society of Materials Science, Japan, September 2012.
- [18] BISBEE, L.H., MERCALDI, D.W., PARKER, J.D. SSam – a System for Nondestructive Materials Sampling. In *COMADEM 91*, Edited by Raj B.K.N., Rao and A.D.Hope, IOP Publishing, U.K.1991.

Německý trh se širokým pásem, válcovaným za tepla – je zvýšení cen skutečně trvalé ?

Stahl Aktuell

11.04.2016

Výrobci oceli využili vedoucích odborných veletrhů „Tube“, „Wire“ a „Bauma“ jako vítané platformy, aby mohli vyjít na trh s požadavky na výrazné zvýšení cen. Stoupající ceny surovin tento požadavek podporují. Oceláři, především vůdce trhu, přitom agitují jen s malou ochotou ke kompromisům. „Když budou všichni jednotní, tak se svými požadavky projdou“ říká jeden ze šéfů nákupu. Dotázaní nákupčí mají ale o trvalosti takového vývoje pochybnosti. Někteří věří, že se bude opakovat trend z minulých let: silnější první pololetí pro výrobce, kterým ovšem v létě dojde dech. Jiní varují před tím, že se fáze nízkých cen blíží ke konci. Tržní spekulace o tom, zda se Thyssenkrupp a Tata Steel v evropském obchodu s plochou ocelí spojí, se přičiňují o neklid na trhu. „Je docela dobře možné, že se evropský svět oceli do dvou let úplně změní,“ předpovídá jeden ze šéfů nákupu. Jiní jsou toho názoru, že přebytečné kapacity na evropském trhu s plochou ocelí jsou stále ještě tak velké, že ani spojení Thyssenkrupp a Tata Steel žádnou zásadní změnu situace nezpůsobí.