

MEDZILABORATÓRNE POROVNÁVACIE TESTY SPT METÓDY PRE JEJ POUŽITIE PRI STANOVovaní MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLOV POUŽÍVANÝCH V JADROVEJ ENERGETIKE

THE ROUND ROBIN TEST OF THE SPT METHOD FOR ITS USE IN THE ASSESMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF POWER PLANTS MATERIALS

Marek Adamech ^{a)}, Jana Petzová ^{a)}, Radim Kopřiva ^{b)}, Zdeněk Fenc ^{b)} a Daniel Omacht ^{c)}

^{a)} VUJE, a.s., Okružná 5, 918 64 Trnava, Slovensko

^{b)} UJV Řež, a. s., Hlavní 130, Řež 250 68 Husinec, Česká republika

^{c)} MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava, Česká republika

Abstrakt

Dlhodobá prevádzka jadrových elektrární môže viesť k zmenám vlastností štruktúrnych materiálov. Na zachovanie bezpečnej a spoľahlivej prevádzky je preto nevyhnutné nepretržité monitorovanie a vyhodnocovanie týchto zmien. Vzorky pre štandardné mechanické testy majú relatívne veľké rozmery a častým problémom je ich dostupnosť vo veľmi obmedzenom množstve. Použitím metódy SPT je možné stanoviť mechanické vlastnosti z malého objemu získaného materiálu, čo má veľký význam aj z hľadiska zníženia radiačnej záťaže pri skúšaní ožiarených vzoriek. SPT metóda momentálne prechádza procesom štandardizácie CEN a ASTM. V tomto príspevku sú prezentované výsledky medzilaboratórneho porovnávania získané z troch odlišných laboratórií, ako aj posúdenie vplyvu rozdielnej geometrie skúšobného prípravku a testovacích parametrov.

Abstract

The long-term operation of power plants can cause changes in the properties of structural materials. To ensure the safe and reliable operation, it is necessary to monitor and evaluate these changes. Samples for standard mechanical tests are quite large and their availability is limited. The Small Punch Test (SPT) method can be used to evaluate the mechanical properties from a small volume of obtained material, which can reduce radiation exposure during testing of irradiated samples. This method is currently undergoing a standardization process both CEN and ASTM. This paper presents the results of the round-robin tests of the SPT method, carried out in the three different labs, on the materials from the power plant components. On the basis of the obtained results, the influence of the test matrix geometry and production accuracy was evaluated, as well as the defined test parameters.

Úvod

Stanovenie životnosti dôležitých komponentov jadroenergetických zariadení a ich potenciálne zlyhanie predstavujú kritický problém z hľadiska bezpečnosti a spoľahlivosti ich prevádzky. Počas štandardnej prevádzky JE sú komponenty vystavené viacerým typom degradačných mechanizmov. Preto je nevyhnutné neustále monitorovanie zmien ich materiálových vlastností. Vzorky pre štandardné testy využívané na stanovovanie mechanických vlastností majú zvyčajne veľké rozmery a častý problém predstavuje aj nedostatok originálneho materiálu pre monitorovacie programy. Ďalším problémom je ich vysoká aktivita. Z týchto dôvodov je žiaduce využívať nové inovatívne metódy testovania, ktoré vedú k redukcii veľkosti vzoriek.

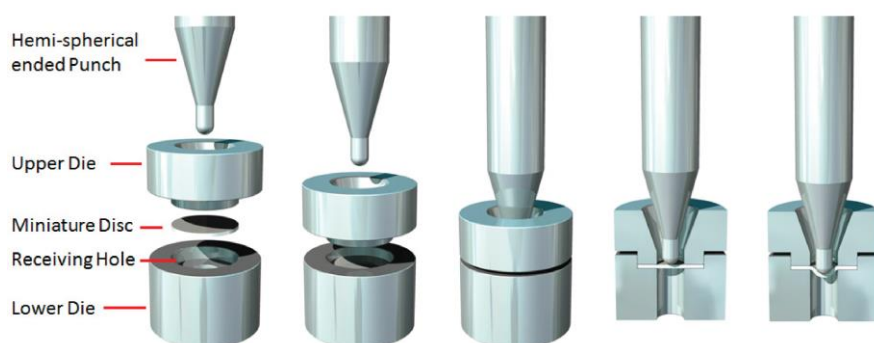
Medzi takéto metódy patrí aj skúška SPT. Napriek tomu, že táto metóda je v súčasnosti už široko využívaná, nebola doteraz prijatá konečná forma medzinárodnej normy. Norma CEN

[1], ktorá sa momentálne finalizuje obsahuje popis prístroja, metodiky, vzoriek, a takisto zahŕňa odporúčania na stanovenie ťahových a creepových vlastností. Jej schválenie, podobne ako normy ASTM [2], sa predpokladá ku koncu roku 2019.

Medzilaboratórne porovnávacie testy boli aj súčasťou schvaľovacích procesov vyššie spomenutých noriem, ktoré mali za úlohu odhaliť nepresnosti a rozdiely vo výsledkoch merania.

Metóda a materiály

Vo všeobecnosti je možné definovať SPT metódu ako experimentálnu techniku založenú na vtlačaní razníka s hemisférickým hrotom cez upnutú vzorku v tvare disku. Razník je vtlačáň do vzorky konštantnou rýchlosťou, pričom je zaznamenávaná sila potrebná na pohyb razníka, a to buď ako funkcia posunutia (hrotu razníka) alebo deflexie vzorky (meraná na spodnej strane vzorky, oproti kontaktnému bodu medzi razníkom a vzorkou) [3].



Obr. 1: Schematické znázornenie SPT metódy [4]

Použitím relatívne jednoduchého systému záznamu hodnôt sily a deflexie je možné zaznamenať nasledujúce základné mechanické vlastnosti:

- medzu klzu a medzu pevnosti, ktoré veľmi dobre korelujú s parametrami F_e a F_m ,
- prechodovú teplotu (DBTT), vypočítanú z hodnôt energie, ktoré sa získavajú z plochy pod krivkou sila-deflexia.

Pre tieto porovnávacie skúšky boli použité SPT vzorky s priemerom 8 mm a hrúbkou 0,5 mm. Vzorky boli vyrobené pomocou elektroiskrového rezania a následného brúsenia a leštenia. Všetky použité testovacie parametre sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1: Parametre SPT skúšania

Vzorka	Veľkosť vzorky [mm]	$\varnothing 8 \pm 0,1$
	Hrúbka vzorky [mm]	$0,5 \pm 0,005$
Geometria	Hrot razníka [mm]	$\varnothing 2,5$
	Matrica [mm]	R 0,2
Testovacie podmienky	Teplota [°C]	23
	Uťahovací moment [Nm]	10
	Merané parametre	krivka sila – deflexia $F(u)$
	Rýchlosť pohybu [mm.m ⁻¹]	0,5
	Tuhosť stroja	overenie vplyvu na výsledky

Na porovnávacie skúšky boli použité dva rozdielne typy materiálov (tab. 2). Prvý bol referenčný materiál s garantovanými homogénnymi vlastnosťami ZR-003 (IfEP). Druhý materiál, typický pre jadrové elektrárne, bol zvarový kov z tlakovej nádoby reaktora z jadrovej elektrárne

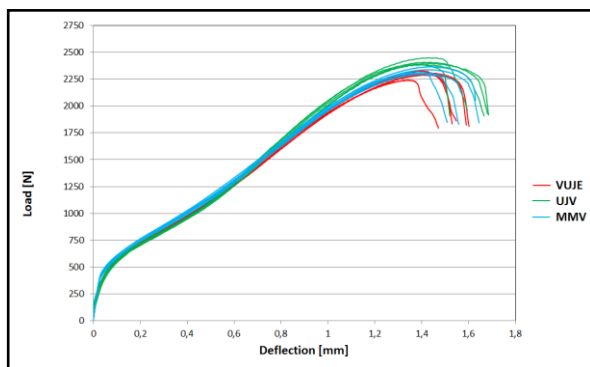
NORD8 (VVER-440/213), ktorý nikdy nebol v prevádzke. Táto nádoba bola vyrobená v Škoda Plzeň a jedná sa o Cr-Mo-V oceľ 15Ch2MFA a zvarový kov Sv10ChMFT.

Tab. 2: Chemické vlastnosti použitých materiálov

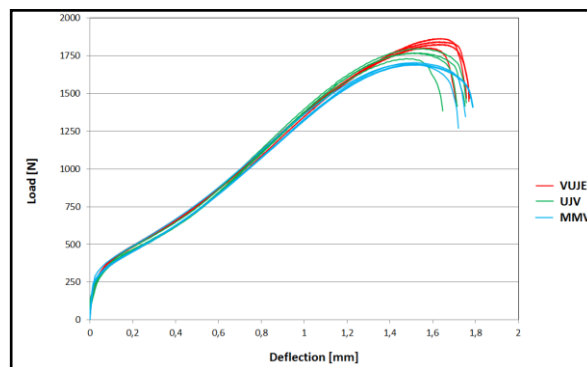
Materiál	Obsah prvkov [hm. %]										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Co
ZR-003	-	0,86 ±0,08	0,34 ±0,05	-	-	12,49 ±0,10	4,04 ±0,12	0,58 ±0,02	0,05 ±0,02	0,10 ±0,07	0,14 ±0,11
ZK NORD8 Sv10ChMFT / AN-42	0,053 ±0,005	0,97 ±0,01	0,40 ±0,02	0,007 ±0,001	0,013 ±0,001	1,37 ±0,02	-	0,50 ±0,01	0,16 ±0,01	0,081 ±0,005	<0,006

Výsledky a diskusia

Medzilaboratórneho testovania sa zúčastnili tri nezávisle laboratória – VUJE, a.s., ÚJV Řež, a. s. a MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. Všetky laboratória použili identické testovacie parametre (tab. 1) pre dve sady SPT vzoriek. Získané SPT krivky pre materiál ZR-003 sú zobrazené na obr. 2. Výsledky ukazujú veľmi dobrú zhodu reprodukovateľnosti, predovšetkým v oblasti hodnôt medze klzu. Rozdiel v maximálnej nameranej sily predstavuje ±55 N, čo je menej ako 2,5 %. Podobné výsledky boli dosiahnuté pre materiál ZK TNR, obr. 3.



Obr. 2: SPT krivky pre materiál ZR-003



Obr. 3: SPT krivky pre ZK TNR

Pre vyhodnotenie nameraných výsledkov bol použitý špeciálny softvér SPEVAL. Tento program spĺňa požiadavky vyhodnocovania podľa pripravovanej normy prEn15627 [1] a umožňuje čítať dáta z rozdielnych skúšobných zariadení.

Medza klzu je vypočítaná podľa nasledujúceho vzťahu

$$R_{p0.2} = \beta_{Rp0.2} \frac{F_e}{h_0^2}, \quad (1)$$

kde F_e je sila na medzi klzu, h_0 hrúbka vzorky a $\beta_{Rp0.2}$ je empiricky získaný korelačný koeficient definovaný v norme na hodnotu 0,510.

Pri stanovovaní medze pevnosti R_m je najčastejšie používaný nasledovný vzťah:

$$R_m = \beta_{Rm} \frac{F_m}{h_0 u_m}, \quad (2)$$

kde F_m zodpovedá maximálnej sile, u_m deflexii a hodnota koeficientu β_{Rm} , ktorá musí byť stanovená experimentálne (v tomto prípade bola použitá hodnota z normy 0,278).

Získané výsledky sú uvedené v tab. 3.

Tab. 3: Výsledky ťahových vlastností SPT vzoriek v porovnaní so štandardným testom

materiál	ZR-003				ZK NORD8			
	standard test	SPT	standard test	SPT	standard test	SPT	standard test	SPT
lab	R _m [MPa]		R _{p0.2} [MPa]		R _m [MPa]		R _{p0.2} [MPa]	
VUJE	926	920	765	713	590	629	473	472
UJV		930		801		635		541
MMV		938		690		626		495

Záver

Tento príspevok sumarizuje výsledky z medzilaboratórneho porovnávania 3 laboratórií (VUJE-UJV-MMV). Testy boli zamerané na určenie ťahových vlastností materiálov použitím SPT metódy a na overenia presnosti a opakovateľnosti výsledkov použitím pripravovaných noriem CEN a ASTM. Výsledky prezentované vyššie môžu byť zhrnuté do nasledujúcich bodov:

- SPT metóda môže byť veľmi užitočná pri stanovovaní základných mechanických vlastností, predovšetkým v situáciách s nedostatkom experimentálneho materiálu,
- výsledky ukazujú dobrú zhodu v nameraných hodnotách medzi metódou SPT a štandardným testom pre oba hodnotené materiály,
- nové aktuálne schvaľované normy (CEN a ASTM) zahrňujú definície testovacieho zariadenia a metodiky zaobchádzania s SPT vzorkami, dovoľujú však určitú mieru modifikácie testovacích parametrov, ktoré môžu spôsobiť väčší rozptyl nameraných dát,
- výsledky z medzilaboratórneho porovnávania ukazujú, že použitím prísne rovnakých testovacích kritérií dochádza k lepšej presnosti získaných výsledkov.

Literatúra

- [1] ECS (2007): *Small punch test method for metallic materials*. European Committee for Standardization, CEN Workshop Agreement, CWA 15627:2007 E.
- [2] ASTM (2018): *New practice for Small Punch test method for metallic materials*. On <https://www.astm.org/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK61832.htm> (dostupné 27. marca 2018)
- [3] Bruchhausen, M., Altstadt, E., Austin, T., Dymacek, P., Holmström, S., Jeffs, S., Lacalle, R., Lancaster, R., Matocha, K., Petzova, J. (2018): European standard on small punch testing of metallic materials. *Proceedings of 5th International Small Sample Test Techniques Conference SSTT2018*, Swansea University, Swansea (Wales, UK) pp.1-14.
- [4] Lancaster, R., Davies, G., Illsley, H., Jeffs, S., Baxter, G. (2016): *Structural integrity of an electron beam melted titanium alloy*. Materials, Vol. 9, No. 6, paper E470. doi: 10.3390/ma9060470