

METODA BEZKONTAKTNÍHO OPTICKÉHO MĚŘENÍ DEFORMACÍ - POUŽITÍ PRO ÚNAVOVÉ ZKOUŠKY V PROSTŘEDÍ

CONTACTLESS OPTICAL METHOD FOR DEFORMATION MEASUREMENT - APPLICATION FOR FATIGUE TESTING IN ENVIRONMENT

Jakub Lacza a Miroslava Ernestová

ÚJV Řež, a. s.

Abstrakt

Metoda bezkontaktního optického měření deformací, využívající zařízení od společnosti Sobriety s.r.o., se vyznačuje vysokou přesností a jednoduchostí provedení. Samotné měření je prováděno softwarem MercuryRT s modulem Enter, který umožňuje měření v reálném čase a rovněž i vyhodnocení dříve pořízených dat v režimu offline. Mobilní měřicí aparatura, sestávající z kamery, osvětlení a přenosného počítače, umožňuje kromě měření deformací i měření zrychlení a nabízí široké využití v průmyslu, vědě a výzkumu. ÚJV Řež, a. s. používá uvedenou videoextenzometrickou metodu pro stanovení korekce deformace pracovní části zkušební tělesa při testech hodnotících vliv prostředí na únavovou životnost materiálů komponent jaderných elektráren.

Contactless optical measurement method for deformation measurement using equipment from Sobriety s.r.o., is characterized by the high precision and simplicity. The measurement is realized by the software MercuryRT with Enter module, which allows a real-time measurement as well as offline evaluation of earlier obtained data. Mobile measuring equipment, consisting of camera, lighting and portable computer, allows deformation measurement as well as acceleration measurement and offers wide use in industry, science and research. ÚJV Řež, a. s. uses this videoextenzometric method to determine the correction of sample's body deformation for the tests evaluating the influence of the environment on the fatigue life of the materials, used for nuclear power plant components.

Úvod

V rámci mechanického zkoušení materiálů je jedním z měřených parametrů deformace pracovní části zkušební tělesa (ZT). Deformace ZT je na zkušebních zařízeních zpravidla měřena průtahoměry (extenzometry) založených na principu LVDT (linear variable displacement transformer) senzorů. Tyto přístroje se upínají přímo na ZT a ukazují okamžitou deformaci, která vzniká při jeho zatěžování.

Umístěním břitů extenzometrů je vymezena měřená oblast deformace. Nejpresnější je měření vymezující pouze pracovní délku ZT na dřívku vzorku. Nejsou-li břity extenzometrů umístěny na dřívku ZT, měřená hodnota deformace je nepřesná v důsledku měření prodloužení delší oblasti a tuhosti použitého zařízení.

U zkoušek materiálů na vzduchu se extenzometry umísťují na dřík ZT tak, aby vymezovaly pracovní část ZT. Problém ale nastává při zkouškách v prostředí, které se provádí v autoklávech. Konstrukce autoklávu obvykle nedovoluje umístění extenzometru přímo na vzorek.

Testy hodnotící vliv prostředí na únavovou životnost materiálů se provádí v ÚJV Řež v autoklávu s vysokoteplotní vodní smyčkou. Součástí autoklávu jsou externí a interní LVDT extenzometry (Obr. 1). Řídící interní extenzometr (LIN extreme environment displacement transducer) je umístěn uvnitř autoklávu a vyhodnocuje deformaci relativně malé délky zahrnující dřík ZT a jeho uchycení v čelistech. Původní externí extenzometr je umístěn vně autoklávu, vyhodnocuje deformaci z pohybu tažné hřídele, je ovlivňován teplotními změnami

v laboratoři a poskytuje doplňující informaci. Informace o deformaci pracovní části ZT z externího extenzometru je proto méně přesná než z interního extenzometru.

Pro zpřesnění měření deformace pracovní části ZT v prostředí byla použita metoda bezkontaktního optického měření deformace. Cílem bylo vypracování korekční závislosti mezi deformací naměřenou na pracovní části ZT na vzduchu pomocí videoextenzometrické metody a deformací ZT vypočtenou z interního extenzometru. Realizace srovnávacího měření je možná na vzduchu při otevřeném autoklávu, kdy vzorek může být snímán kamerou. Výsledkem tohoto srovnávacího měření je korekční závislost, podle které řídicí software autoklávu zatěžuje vzorek tak, aby na pracovní části ZT bylo dosaženo požadované hodnoty deformace.

Metodika srovnávacího měření

Pro měření bylo použito ZT z materiálu 08Ch18N10T o průměru dířku 5 mm a délce pracovní části 15 mm (v souladu s ASTM E606 a ISO 11782-1). Použitým zkušebním zařízením byl autokláv s vysokoteplotní vodní smyčkou. Zatěžování probíhalo na vzduchu při pokojové teplotě v režimu řízení deformace. Bylo zvoleno symetrické cyklické zatěžování do tahu a do tlaku s rychlostí deformace $0,01 \text{ \%} \cdot \text{s}^{-1}$ a s různými amplitudami deformace ($\epsilon_a = 0,2 - 1,1 \text{ \%}$).

Pro měření deformace bezkontaktní optickou metodou je nevyhnutelná povrchová úprava ZT z důvodu zvýšení kontrastu. Na pracovní část ZT byla nanesena základní vrstva bílé matné barvy ve spreji. Po zaschnutí byly na podklad nastříkány fleky černé matné barvy ve spreji. Tato povrchová úprava nemá vliv na měřenou deformaci. Výsledný vzhled ZT je znázorněn na Obr. 2.

Měření bylo realizováno prostřednictvím měřicí aparatury a softwaru MercuryRT od společnosti Sobriety s.r.o. (Obr. 3) s kamerou měřicí aparatury umístěnou ve vzdálenosti přibližně 15 cm od vzorku a LED osvětlením situovaným nad kamerou v přibližně stejné vzdálenosti od vzorku jako kamera.

V rámci nastavení software MercuryRT byly optimalizovány světelné podmínky snímaného obrazu a zaostření obrazu. Následovalo nastavení souřadnicového systému obrazu pomocí kalibrační destičky a zadání měřítka obrazu. Měřicí body videoextenzometru ohraničovaly pracovní část zkušebního tělesa.

Při měření byly dvěma samostatnými počítači zaznamenávány průběhy řízené deformace z interního extenzometru a deformace snímané kamerou. Pro jednoduché srovnání obou závislostí byl ještě před zahájením měření na obou počítačích seřizen čas. Následně bylo spuštěno cyklování i videoextenzometrické měření.

Výsledky měření

Opakovaná měření prokázala, že v pracovní části ZT nebyla v průběhu zatěžování dosažena požadovaná hodnota deformace. Pracovní část ZT se deformovala až o 50 % méně ve srovnání s řídicím interním extenzometrem, a to při tahovém i tlakovém zatížení. Porovnání průběhů deformace pracovní části ZT měřené kamerou a deformace z řídicího interního extenzometru jednoho z měření je na Obr. 4.

Vyhodnocením průběhů byly získány lineární korekční závislosti, které se použily v řídicím softwaru zatěžovacího počítače. Porovnání průběhů deformace pracovní části ZT měřené kamerou a deformace z řídicího interního extenzometru po úpravě řízení na Obr. 5 ukazuje výrazné zlepšení shody řízené deformace a deformace pracovní části ZT.

Analýzou výsledků se získaly finální korekční konstanty lišící se pro tahové a tlakové fáze, které se aplikují podle požadované úrovně deformace před každým experimentem.

Řízená deformace zkušebního zařízení je počítána jako zjednodušené poměrné prodloužení, které platí pouze pro oblasti malých deformací. Při větších deformacích, kdy se začíná uplatňovat plastická deformace a přestává platit Hookův zákon, je patrný rozdíl mezi tvarem průběhu deformace cyklu. Zatímco průběh deformace z interního extenzometru vykazuje lineární průběh, průběh deformace pracovní části ZT snímáný kamerou je nelineární a vykazuje urychlení deformace s rostoucím podílem plastické deformace. Shoda amplitudy řízené deformace a deformace pracovní části ZT dosahuje $100\pm 2\%$.

Závěr

Bezkontaktní optické měření deformace pomocí softwaru MercuryRT umožnilo zdokumentovat průběh deformace pracovní části ZT. Tyto výsledky byly použity pro stanovení kalibračních konstant pro řízení experimentů na stanovení vlivu prostředí na únavovou životnost v režimu podélné deformace tak, aby požadované hodnoty amplitudy deformace byly na pracovní části ZT zatěžovaného v autoklávu s prostředím dosahovány s maximální přesností.

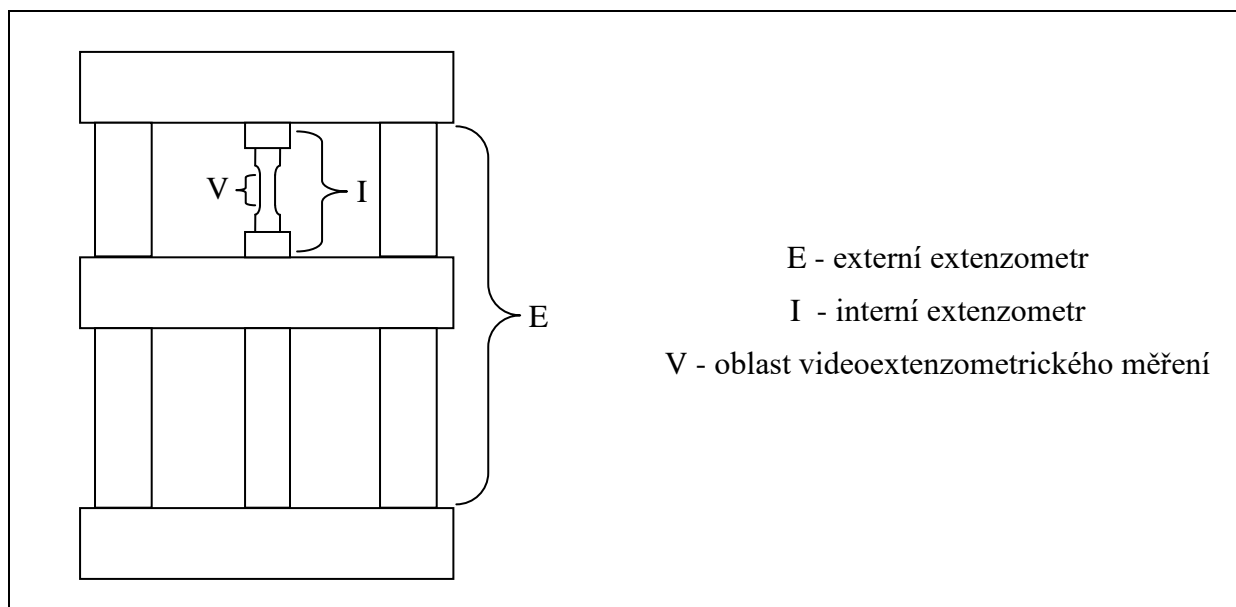
Měření videoextenzometrickou metodou nabízí široké možnosti uplatnění v průmyslu, vědě a výzkumu:

- měření deformace (posunutí, prodloužení) zvolené části měřeného objektu,
- měření zrychlení objektů,
- vizualizace šíření defektu na ZT (na vzduchu),
- hodnocení vibrací (umístění měřících bodů v různých směrech),
- analýzu videozáznamu pořízeného jiným zařízením v režimu offline.

Literatura

- [1] Sobriety s.r.o., *Mercury Real Time Tracking System Mercury RT 2.3.1*, Uživatelský manuál, Revize 1, Kuřim, 2015-02-25.

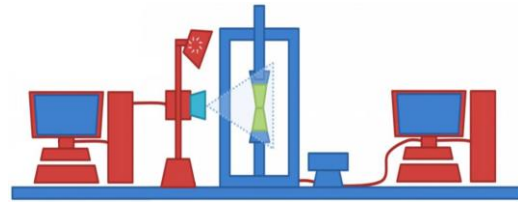
Tabulky a obrázky



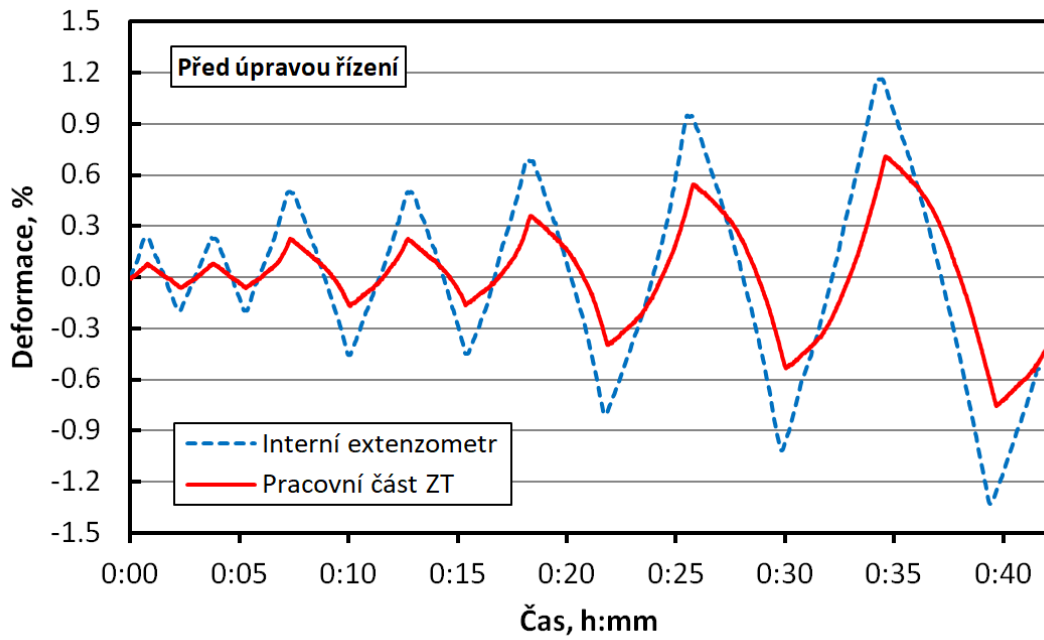
Obr. 1 Schematické znázornění umístění extenzometrů na autoklávu



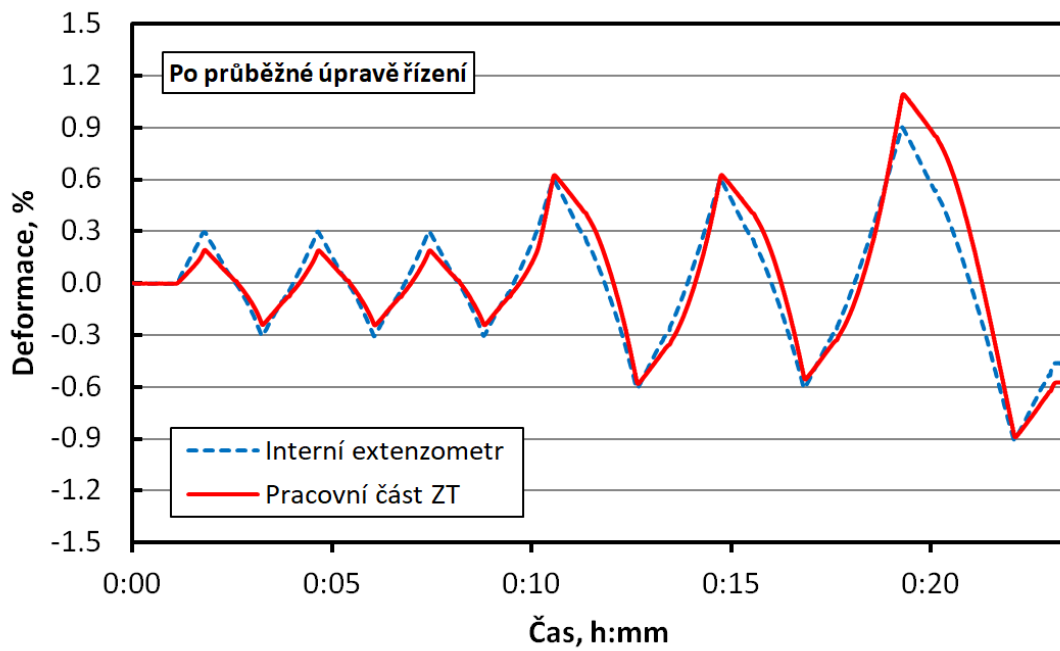
Obr. 2 Povrchová úprava zkušebního tělesa



Obr. 3 Schéma měřicího systému [1]



Obr. 4 Srovnání závislostí deformace na čase (před úpravou řízení zkušebního zařízení)



Obr. 5 Srovnání závislostí deformace na čase (po průběžné úpravě řízení zkušebního zařízení)