

# STANOVENÍ ÚNAVOVÝCH A TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ POMOCÍ MINIATURIZOVANÝCH TĚLES A DIC METODY

## DETERMINATION OF FATIGUE AND TENSION PROPERTIES BY USING SUB-SIZED SPECIMENS AND DIC METHOD

Eva Chvostová, Ján Džugan a Pavel Konopík

COMTES FHT a.s., Dobřany

### Abstrakt

Jednou z metod pro hodnocení mechanických vlastností materiálů je metoda, která se zaměřuje na použití miniaturizovaných zkušebních vzorků. V tomto článku jsou popsány a porovnány výsledky vysoko cyklové únavy oceli X1CrNiMoAlTi provedené na standardních zkušebních tělesech a miniaturizovaných vzorcích. Dále jsou diskutovány výsledky mikrotahových zkoušek pro zjištění počáteční úrovně napětí pro zkoušky únavy. Použití miniaturizovaného zkušebního vzorku přináší mnoho výhod, jako je snížení nákladů, možnost semidestruktivního odběru materiálu, úspora času.

### Abstract

One method for evaluating the mechanical properties of materials is the use of methods that focus on the use of miniaturized test specimens. This paper describes and compares the results of high-cycle fatigue of X1CrNiMoAlTi steel with the use of on standard test samples and sub sized samples. There are also discussed the results of micro-tensile tests to determine the initial level of stress for fatigue tests The use of miniature specimen brings many advantages such as cost reduction, non-invasive affection of the material, time saving.

### Úvod

Předložený příspěvek představuje potenciál aplikace miniaturizovaných vzorků pro stanovení mechanických vlastností materiálů. Cílem použití těchto metod je stanovení zbytkové životnosti, hodnocení lokálních vlastností materiálu a hodnocení vlastností materiálu v případech, kdy je k dispozici omezený objem experimentálního materiálu (např. vývoj nanomateriálů metodami extrémní deformace). Byla vyvinuta řada nedestruktivních nebo polodestruktivních metod, jako například Small Punch Test (SPT) nebo Automated Ball Indentation (ABI).

Nevýhodou těchto metod je, že pro kvantifikaci vlastností používají některé korelace s omezenou platností, s vyššími tolerančními hranicemi vyplývajícími z nejistot měření a vyhodnocení, rovněž zohledňují různé režimy zatěžování mezi těmito metodami a standardními zkušebními metodami (např. SPT x zkoušku rázem v ohybu, ABI x lomová houževnatost, ...).

Proto je důležitý vývoj metodiky zkoušení mechanických vlastností materiálů pomocí miniaturizovaných standardních zkušebních vzorků, protože tyto testy mají velmi důležitou výhodu – stejný režim zatěžování jako standardní zkušební vzorky [1]. Problémem s miniaturizací vzorků je především dostupnost vhodných měřicích přístrojů vhodných pro testování vzorků o objemu několika kubických milimetrů. Přesnost siloměru není tak kritická, ale například přímá deformace na vzorku s minimální deformací vyžaduje speciální optické metody, jako je Digital Image Correlation (DIC), které jsou široce dostupné teprve v poslední době. S využitím výhod nejnovějších měřicích zařízení a technik lze úspěšně použít miniaturizované vzorky, které poskytují mnohem spolehlivější data než současně používané metody používající korelační přístup. Taková data mohou být dále použita jako zdroj vstupních dat pro simulaci FEM nebo pro určení místa lomu.

Experimentální program byl proveden na oceli X1CrNiMoAlTi 12-11-2. Byly provedeny zkoušky tahem a zkoušky vysoko cyklové únavy na standardních zkušebních tělesech a na miniaturizovaných zkušebních tělesech. Miniaturizované vzorky byly vyrobeny z polotovaru ode-

braného procesem elektrojiskrového obrábění přenosným odběrovým zařízením EDSE (Electric Discharge Sampling Equipment), které se používá pro extrakci materiálu ze skutečných provozních komponent k hodnocení životnosti reálných součástí tak, aby komponenta zůstala plně funkční a mohla být dále provozována.

### **Mikro-tahová zkouška (M-TT)**

Pro zjištění počáteční úrovně napětí pro zkoušky únavy byly provedeny zkoušky tahem s použitím mikro tahového zkušební tělesa, viz obr. 1a. Zkoušky byly provedeny na zkušebním stroji LabControl o silové kapacitě 5 kN za pokojových teplot. Zkušební set up je znázorněn na obr. 1b. Měření deformace probíhá pomocí bezkontaktního měřicího systému ARAMIS, který využívá metody digitální obrazové korelace (Digital Image Correlation - DIC). DIC je moderní metodou měření pole deformací. Je založena na optickém sledování změn v obrazovém záznamu při mechanické zkoušce [2]. Na zkoušený vzorek je nanesen náhodný kontrastní vzor (tzv. pattern), který je snímán jednou (2D) nebo více (3D) kamerami. DIC software pak sleduje změny vzoru v jednotlivých obrazech záznamu vůči referenčnímu obrazu. Touto metodou je možné velmi přesně měřit deformace a posuvy, a to jak na celém zkušebním tělese, tak lokálně v jednotlivých oblastech viz obr. 1c.

### **Určení vysokocyklové únavy pomocí miniaturizovaných zkušebních těles**

Zkoušky vysokocyklové únavy na miniaturizovaných vzorcích byly provedeny na servo-hydraulickém zkušebním stroji MTS Bi-ONIX s kapacitou 25 kN v režimu tah – tlak. Testy byly prováděny řízenou silou s koeficientem nesouměrnosti cyklu  $R = -1$  při frekvenci přibližně 50 Hz a pokojové teplotě. Porovnání velikosti se standardním vzorkem VCÚ je na obr. 2. Výsledky testů jsou uvedeny jako počet cyklů do lomu, které jsou vyneseny v závislosti na amplitudě napětí v semilogaritmickém měřítku. Vzorky, které dosáhly  $10^7$  cyklů, jsou označeny šipkami. Výsledky mají poměrně velký rozptyl, proto je mez únavy  $\sigma_C$  vyhodnocena jako maximální amplituda napětí, při kterém vzorek nepraskl ani po  $10^7$  cyklů. Na této úrovni napětí byly provedeny dva platné testy. Porovnání výsledků nestandardních a standardních únavových testů je uvedeno na obr. 3.

### **Diskuze výsledků**

Získané výsledky tahových zkoušek získaných použitím miniaturizovaných a standardních vzorků byly téměř identické a byly dosaženy bez numerických korelací. Průměrné hodnoty byly mez kluzu  $R_{p0,2}$  1593 MPa při použití M-TT tělesa a 1592 MPa pro standardní těleso, u meze pevnosti byl rozdíl 2 MPa, 1646 MPa resp. 1648 MPa, tažnost se lišila o 0,6 %, tj. 10,9 % resp. 11,5 %. To ukazuje na velmi dobrou shodu výsledků. Podle získaných výsledků zkoušek tahem byly aplikovány první úrovně zatěžování vysoko cyklové únavy.

Porovnání dosažených výsledků pomocí nestandardních a standardních únavových testů je uvedeno na obr. 3. Mez únavy byla určena na 730 MPa při použití standardních těles a 720 MPa u miniaturizovaných těles. Výsledky testů při použití miniaturizovaných zkušebních těles vykazují vyšší rozptyl. Tento fakt prezentuje i horší přizpůsobení lineární regrese oproti standardní regresi. To je očekávaný rys a může být způsoben několika faktory, jako je nehomogenita oceli, která je reprezentována sekundárními částicemi v dané oblasti, citlivostí na vruby nebo na stav povrchu zkušební vzorku. Výsledky získané s použitím obou typů těles přineslo velmi podobné výsledky, rozdíl 10 MPa, což je velmi pozitivní výsledek. Po zkouškách únavy byl u vybraných vzorků zkoumán povrch lomu pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu JEOL JSM 6380. Fraktografie nestandardních vzorků vykazuje dobrou shodu ve srovnání se standardními vzorky. Na lomových plochách byly pozorovány jemné postupové čáry a počátek lomu. Nejčastěji byla iniciace lomu způsobena náhodně rozptýlenými částicemi, které působily jako iniciátor únavové trhliny.

## Závěr

Ocel X1CrNiMoAlTi 12-11-2 se používá pro vysoce zatěžované součásti, jako jsou díly pro letectví, vysokotlaké čerpadla nebo aplikace na moři. Na tyto součásti jsou kladeny vysoké nároky na bezpečnou životnost, a proto je důležité zhodnotit skutečné vlastnosti materiálu po několika letech používání. Pak musí být použita některá nedestruktivní nebo semidestruktivní metoda, aby bylo možné posoudit skutečné vlastnosti a z toho vyplývající zbytkovou životnost. Práce, která je zde prezentována, ukazuje možnost získání výsledků zkoušek vysoko cyklové únavy a zkoušky pevnosti v tahu při použití miniaturizovaných zkušebních těles zatěžovaných stejným způsobem jako standardní vzorky. Tento typ přístupu vede k výrazně vyšší přesnosti měřených dat. Hlavním důvodem vyšší přesnosti, je absence korelace výsledků. Aktuální výsledky jasně ukazují potenciál použití miniaturizovaných zkušebních těles pro určení mechanických vlastností.

Získané deformační křivky M-TT jsou plně srovnatelné s výsledky standardních testů. Výsledky ukazují vynikající shodu při použití standardních zkušebních vzorků a M-TT těles. Provedení zkoušek vysokocyklové únavy potvrdily možnost získání spolehlivých výsledků na základě miniaturních vzorků bez nezbytnosti korelace výsledků.

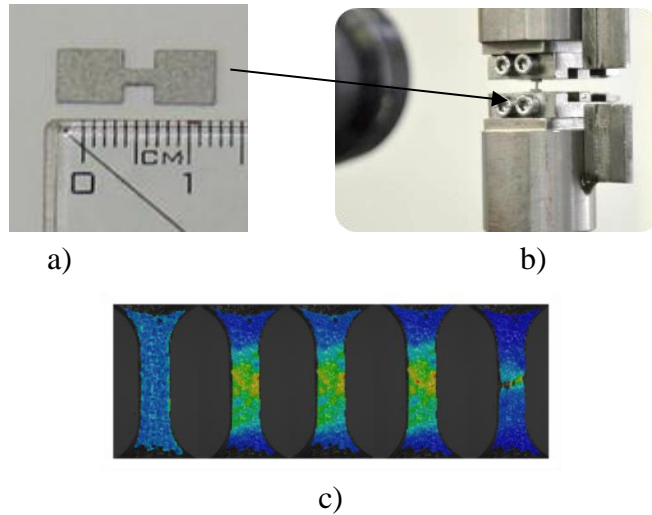
Všechny tyto aplikace ukazují možnost získat spolehlivé a opakovatelné výsledky zkoušek mechanických vlastností materiálů při použití miniaturizovaných standardních zkušebních těles.

## Poděkování

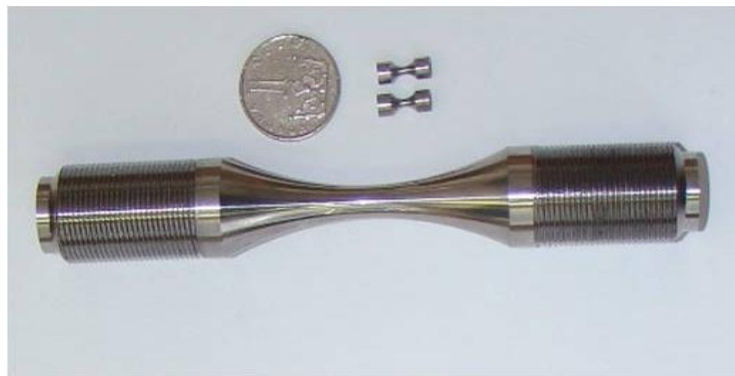
Tento příspěvek byl vytvořen pomocí projektu Posuzování provozuschopnosti zařízení s využitím miniaturních zkušebních těles TH 02020448, financovaný Technologickou agenturou České republiky.

## Literatura

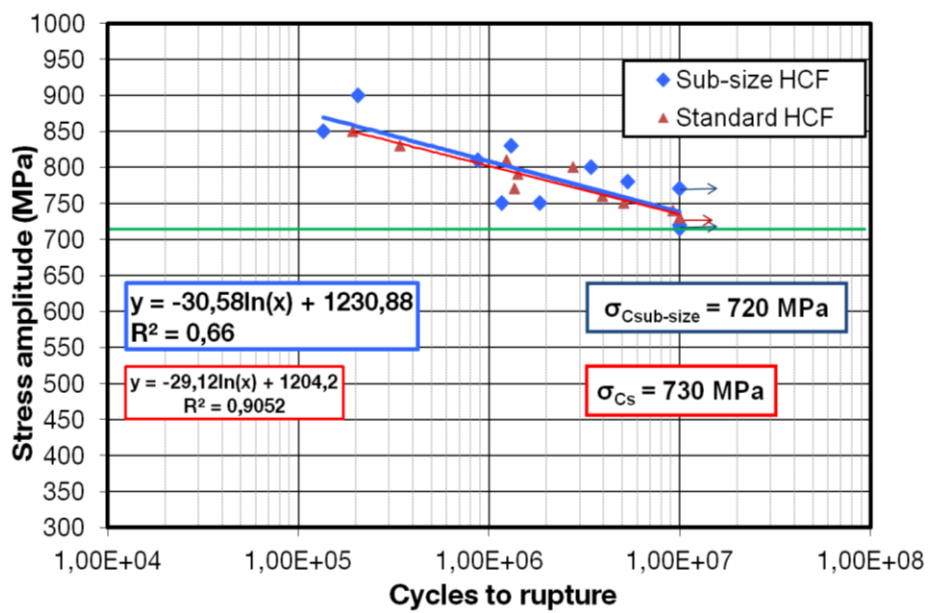
- [1] Džugan, J., Procházka, R., Konopík, P. (2014): *Micro-Tensile Test Technique Development and Application to Mechanical Property Determination, Small Specimen Test Techniques*. 6th Volume, STP 1576, Mikhail A. Sokolov and Enrico Lucon, Eds., pp. 1-19, doi:10.1520/STP157620140022, ASTM International, West Conshohocken, PA 2014 K.
- [2] Konopik, P., Džugan, J. (2012): *Determination of Tensile Properties of Low Carbon Steel and Alloyed Steel 34CrNiMo6 by Small Punch Test and Micro-Tensile Test*. 2nd International Conference SSTT, 2. 10. – 4. 10. 2012, Ostrava, Czech Republic. ISBN 978-80-260-0079-2



Obr. 1: a) M-TT těleso, b) čelisti pro uchycení mikro-tahového tělesa do zkušebního stroje, c) měření deformace pomocí DIC na mikro-tahových vzorcích



Obr. 2: Porovnání vzorků vysokocyklové únavy



Obr. 3: Porovnání výsledků vysokocyklové únavy pro materiál X1CrNiMoAlTi 12-11-2 při použití standardních a miniaturizovaných zkušebních těles