

ZOBRAZENÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY OCELI ČSN 416236 Z ROTORU PARNÍ TURBÍNY IN-SITU V ŘEM

SEM IMAGING OF IN-SITU TENSILE TESTING OF STEAM TURBINE ROTOR STEEL CSN 416236

Martin Bystrianský, Zbyněk Bunda, Václav Mentl, Josef Volák a Ludmila Kučerová
Regionální technologický institut, Západočeská univerzita v Plzni

Abstrakt

Byla provedena in-situ zkouška tahem oceli 27CrNiMoV v komoře elektronového rastrovacího mikroskopu za použití deformačního stolku. Ocel 27CrNiMoV (ČSN 416236) se používá pro rotory parních turbín. Během experimentu byla zkoumána deformace a tvorba a šíření trhlin. Z oceli byly připraveny malé ploché vzorky (45 x 10 x 1,5 mm, s počáteční měřenou délkou 25 mm), ve tvaru kosti. Materiál v počátečním stavu obsahoval vysoký počet defektů ve formě mikrotrhlin.

Při tahových zkouškách bylo provedeno srovnání chování vzorků bez viditelné vady a vzorků s trhlinou v těle vzorku. Přítomnost vady v počátečním stavu zjevně ukázala přímý vliv na vlastnosti materiálu, jako je nižší pevnost v tahu. Vzorek, jeho zúžení v testované části (tvorba krčku) a šířící se trhlina jsou zobrazeny v různých fázích tahového zatížení. Při testování in-situ je možno pozorovat rozdíly v deformaci vzorku.

Vzorek bez vad je ovlivněn v celém těle a lze pozorovat správné zúžení, zatímco přítomnost trhliny ve vzorcích vady soustředí napětí na menší plochu a také změnilo tvar křivky napětí-prodloužení.

Abstract

In-situ tensile testing of a 27CrNiMoV alloy which is used for steam turbine rotors was carried out using scanning electron microscope (SEM). Deformation and crack formation and propagation was examined using this test. Small (45 x 10 x 1,5 mm, with gauge length 25 mm), flat samples based on dog-bone shape were prepared from the steel. The material in its initial state contained big number of defects in form of microcracks.

A comparison of behavior at tensile tests of samples without visible defect and with crack in the gauge section was performed. Apparently, the presence of defect in the initial state showed direct influence on properties like lower tensile strength. The sample, its necking and propagated crack is displayed at different stages of the tensile load. In-situ testing reveal differences in the sample deformation. The defect-free sample is affected in its whole body and proper necking can be observed, whereas the presence of the crack in the defect samples concentrates stress to a smaller area and also changed the shape of the stress-strain curve.

Úvod

Chování součástí obsahujících trhliny je v dnešní době často popisováno pomocí parametrů lomové mechaniky. Tyto parametry, např. faktor intenzity napětí atd., popisují konečnou fázi životnosti součástí, ale nepopisují chování materiálu mezi zahájením trhliny a konečným lomem. To lze popsat pomocí tahových zkoušek využitím normalizovaných a miniaturních zkušebních vzorků, které mohou být vyrobeny zanalyzovaného materiálu.

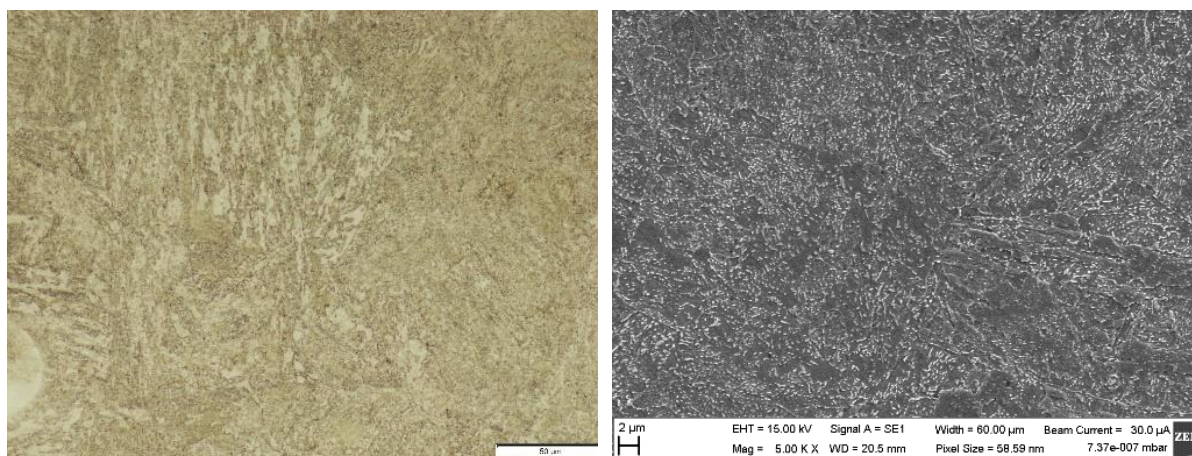
Ocel 27CrNiMoV (ČSN 416236) byla použita pro výkovky vysokotlakých rotorů parních turbín značky Škoda. Zkušební vzorky použité v tomto článku byly vyřezány z CT vzorků, ve kterých byla nakmitaná trhlina, ale nebyly použity pro zkoušky lomové houževnatosti. Bylo možné vyrobit mini tahové vzorky obsahující trhliny. Díky tomu bylo možné porovnat chování oceli při zkouškách tahem miniaturních zkušebních vzorků s prasklinami a bez nich.

Materiál

Pro tento experiment byla použita nízkolegovaná ocel 27CrNiMoV (ČSN 416236), která se používá pro rotory parních turbín. Chemické složení této oceli je uvedeno v tab. 1, mikrostruktura je na obr. 1. Zkouška tahem proběhla přímo v komoře řádkovacího elektronového mikroskopu na speciálním deformačním stolku. Výhoda tohoto in-situ experimentu je v možnosti přerušit zatěžování vzorku a následně pokračovat v experimentu. Pomocí analýz při postupném tahovém zatížení je možné pozorovat změny a reakce vzorku v různých fázích křivky napětí – prodloužení [1].

Tab. 1: Chemické složení experimentálního materiálu

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
0,3	0,5	< 0,1	1,0	0,6	0,8	0,2



Obr. 1 Bainitická mikrostruktura testovaného materiálu: světelný mikroskop (vlevo), řádkovací elektronový mikroskop (vpravo)

Z CT tělesa byly odříznuty plechy, ze kterých byly následně vodním paprskem vyříznuty vzorky o velikosti 45 x 10 mm. Tloušťka vzorků po vyříznutí vodním paprskem byla 1,8 mm. Vzorky byly poté broušeny a leštěny na standardní metalografické brusce a leštičce na finální tloušťku 1,5 mm. Před analýzou v řádkovacím elektronovém mikroskopu byly vzorky naleptány leptadlem Nital 3 % [1].

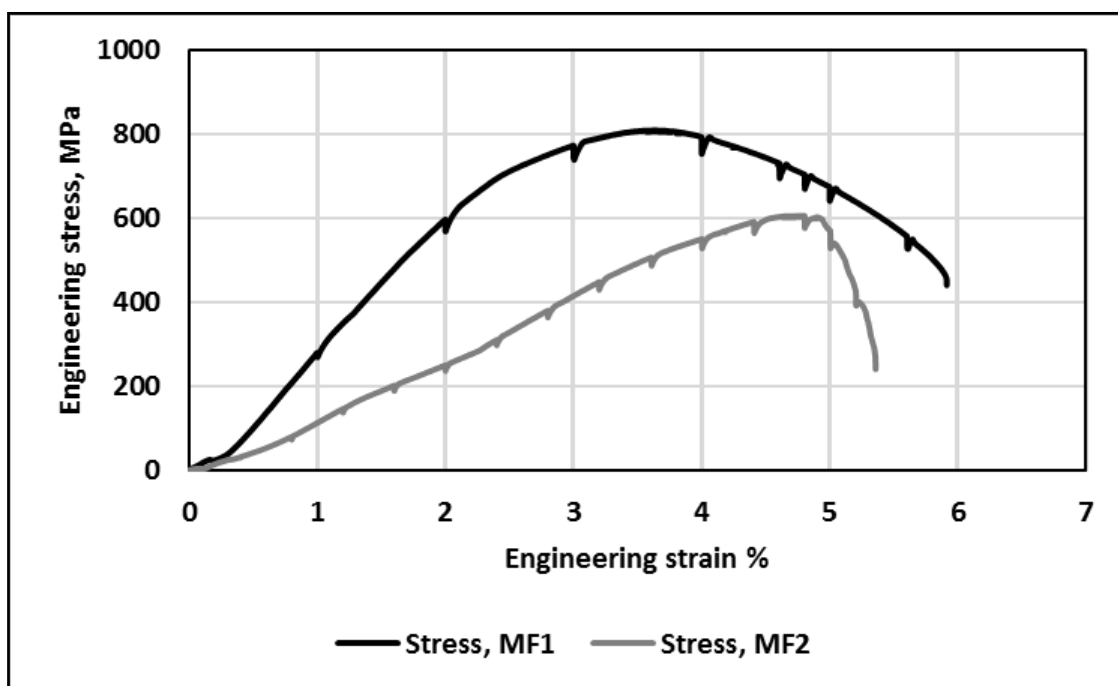
Při tahovém zkoušení na speciálním deformačním stolku byly porovnávány vzorky s přítomností trhlín ve zkoušené části vzorku a vzorky bez trhlín.

Pro zkoušení byl použit in-situ deformační stůl MTII/Fullam SEM Tester 1000 EBSD, který je kompatibilní s elektronovým mikroskopem SEM EVO MA25, Carl Zeiss (GmbH, Germany). Deformační stůl umožňuje testování vzorků v rozsahu síly až do 4500 N při deformační rychlosti 0,02 – 2 mm/min [2].

Samotné experimenty byly prováděny s konstantním zatížením s pauzami pro analýzy až do přetržení vzorku.

Výsledky

Na obr. 1 jsou porovnány dva grafy vzorků: MF1 (vzorek bez trhliny) a MF2 (vzorek s trhlinou). Je zde patrné rozdílné chování vybraných vzorků. Na křivkách jsou patrné poklesy v místech, kde byl test přerušen pro analýzu mikrostruktury.

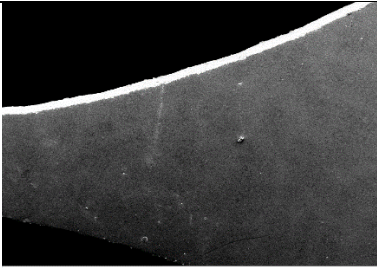
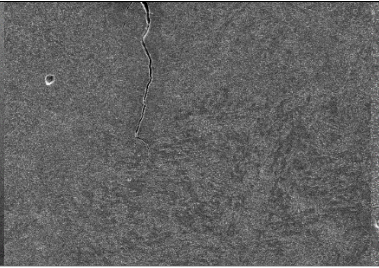
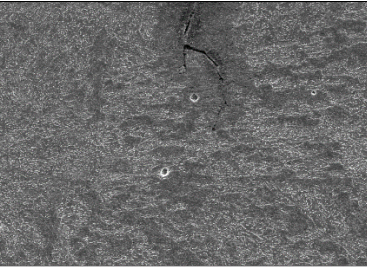
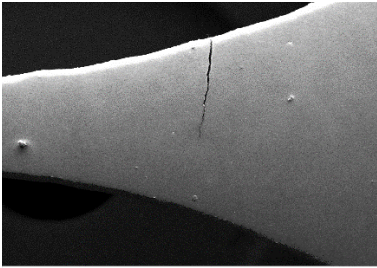
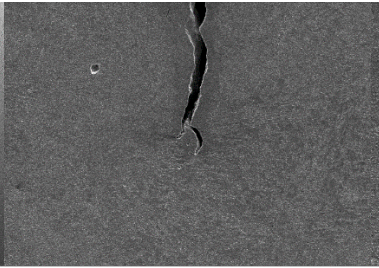
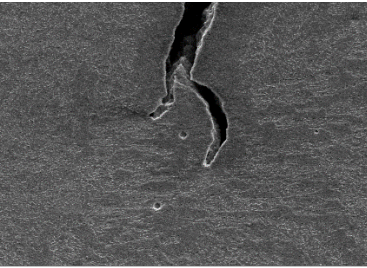
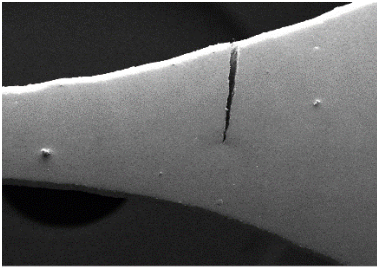
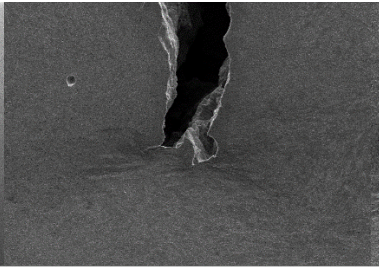
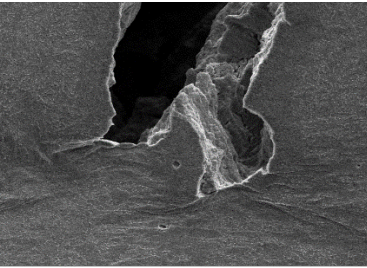
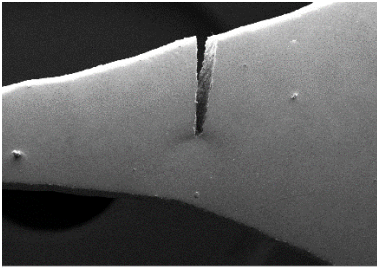
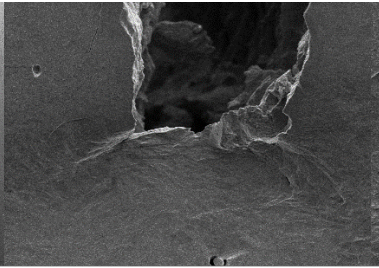
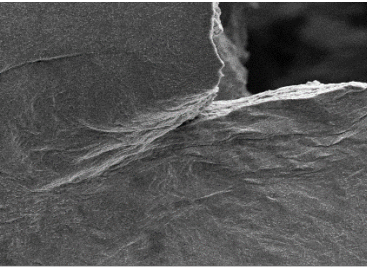
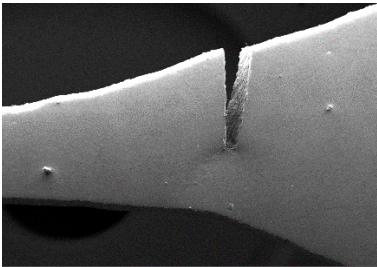
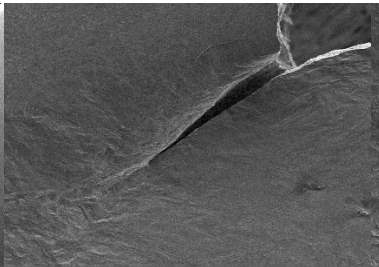
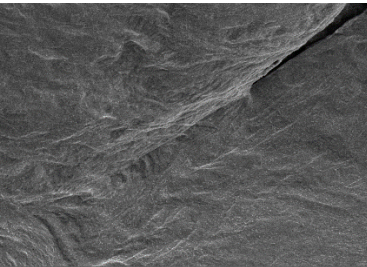


Obr. 2: Stress-strain křivky vybraných vzorků MF1 (bez trhliny) a MF2 (s trhlinou)

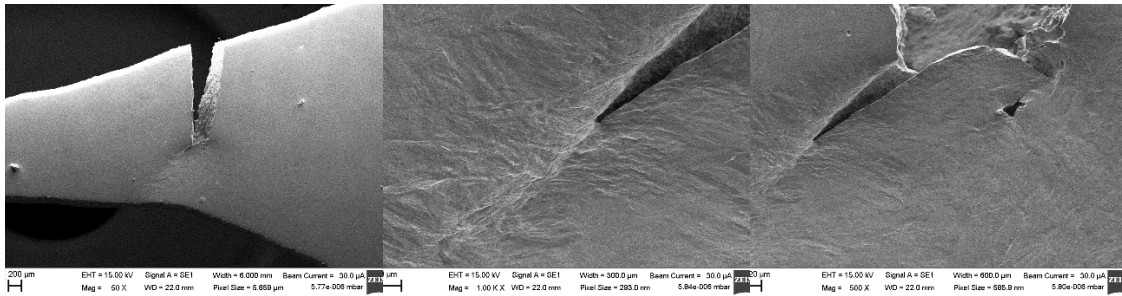
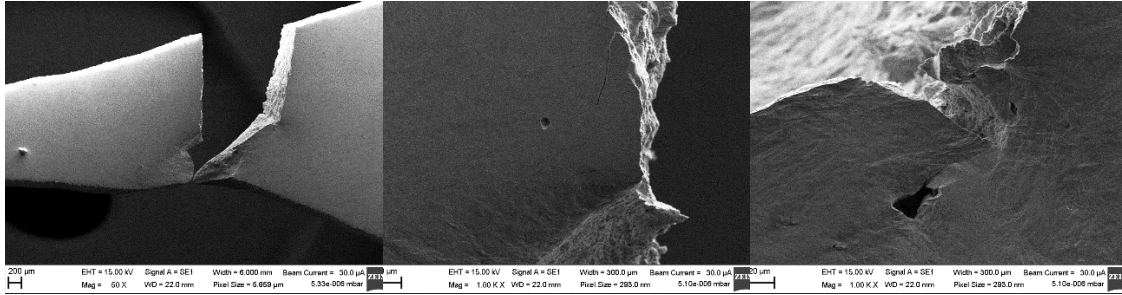
Tab. 2 ukazuje některé lokality na dvou vzorcích MF1 a MF2. V tab. 2 je vývoj tahové zkoušky pro vzorek MF1 bez defektu. Je patrné klasické zúžení zkušební tyče při tahové zkoušce s rovnoměrným rozložením napětí v celém průřezu vzorku. I když lokálně existují oblasti, které jsou ovlivněny více než jiné, dochází k deformaci rovnoměrně v celém vzorku.

Přítomnost trhliny však vede k odlišnému chování během tahového zatížení vzorku MF2. V prvních fázích experimentu není vidět žádná deformace struktury, lze pozorovat pouze otevření trhliny. Deformace se objevila při prodloužení 4,5 % a k destrukci vzorku došlo při deformaci 5,4 %. Zatímco u vzorku MF1 se deformace začala projevovat při prodloužení 3 % a lomu došlo při prodloužení 6 %. Příklad mikrostruktury vzorku MF2 je uveden v tab. 2 [1].

Tab. 2: Vzorek MF2 s trhlinou, v jejímž čele se koncentruje napětí – přehled vývoje mikrostruktury v závislosti na zvyšující se deformaci

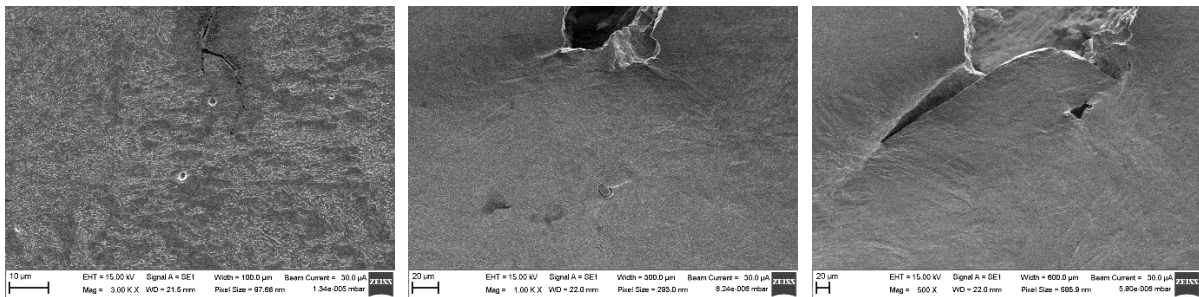
Def %	Vzorek	Trhlina	Detail struktury
0			
2,8			
3,6			
4,5			
4,8			

5,0

5,4
Lom

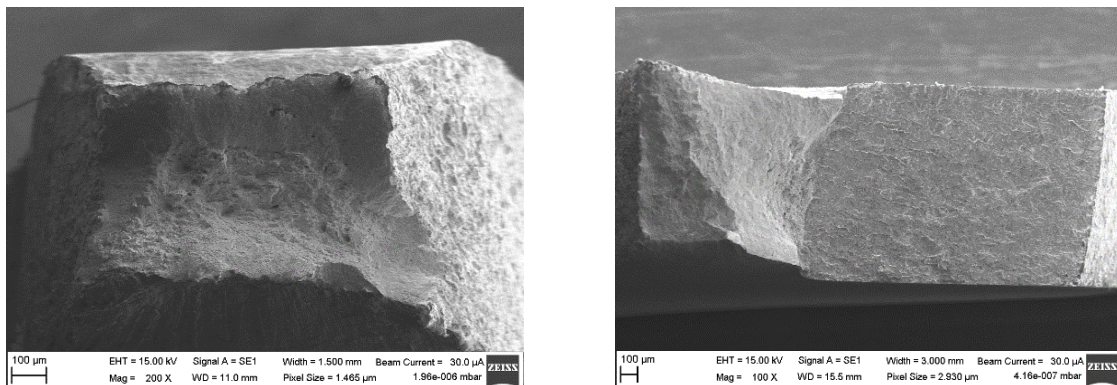
Experiment na vzorku MF2

U vzorku MF2 byla pozorován také vliv přítomnosti částic v materiálu na průběh šíření trhliny. Na začátku testování byla nalezena karbidická částice přibližně 70 μm vzdálena od špičky trhliny (ve směru trhliny). Konec trhliny byl rozdělen do dvou větví, z toho jedna byla hlavní větev šíření trhliny až do deformace 4,6 %, kdy dosáhla zmíněné částice. Šíření trhliny se v této větvi zastavilo. Dále se trhlina začala velmi rychle šířit druhou větví [1].



Obr. 3: Rozvětvená trhlina: a) před testováním, b) při deformaci 4,0 %, c) při deformaci 4,8 %

Porovnání lomů vybraných vzorků je na obr. 4.



Obr. 4: Lomy vybraných vzorků MF1 (vlevo) a MF2 (vpravo)

Závěr

Příspěvek se zaměřuje na chování nízkolegované bainitické oceli 27CrNiMoV (CSN 416236) při zkoušce tahem. Experiment byl proveden v komoře řádkovacího elektronového mikroskopu na in-situ deformačním stolku. To umožňovalo přerušování tahové zkoušky pro analýzu vzorku. Díky vyříznutí vzorků z nakmitaného CT tělesa bylo možné získat také vzorky z oblastí, kam zasahovala trhlina. Bylo provedeno porovnání chování vzorků bez trhlín a vzorků, kde byla přítomna trhlina. Zatímco vzorky bez trhlín, vykazují při tahovém zatížení zužování zkušební tyče (tvorba krčku) a deformace v začátku zatěžování probíhá rovnoměrně v celém průměru vzorku, defekty ve vzorcích s trhlinou působí jako koncentrátoři napětí, kde se deformace začíná objevovat při dostatečném otevření trhliny.

U experimentu s vzorkem s trhlinou MF2 došlo k zajímavému uvolnění napětí na vzorku s rozvětvenou trhlinou. Obě větve trhliny se začaly otevírat současně, do doby, dokud jedna z větví nedosáhla lokality, kde se šíření trhliny zastavilo na karbidické částici. Následně se trhlina začala velmi rychle šířit druhou větví.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu LO1502 Rozvoj Regionálního technologického institutu podpořeného programem Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy na podporu výzkumu, experimentálního vývoje a inovací Národní program udržitelnosti I („NPU I“).

Literatura

- [1] Bystrianský, M., Kučerová, L., Bunda, Z. (2019): SEM paging of in-situ tensile testing of 27CrNiMoV steel. *Abstract booklet of 17th International Symposium on Metallography, Fractography and Materials Science*, Technical University of Košice, Nový Smokovec, High Tatra (Slovakia). ISBN 978-80-553-3285-7
- [2] Kučerová, L., Bunda, Z., Procházka, J. (2017): *Preparation of Samples for In Situ Deformation Testing and Analysis of Microstructure Development*. Materials Science Forum, Metallography XVI, Vol. 891, pp. 95-100. ISSN 0255-5476