

VYUŽITÍ AKUSTICKÉ EMISE PRO DIAGNOSTIKU CREEPOVÉHO POŠKOZENÍ PAROVODNÍCH SYSTÉMŮ

ACOUSTIC EMISSION AS A METHOD FOR DIAGNOSTICS OF CREEP DAMAGE OF STEAM PIPING SYSTEMS

Marie Svobodová^{a)}, Tomáš Chmela^{a)}, Josef Čmakal^{a)}, Tomáš Slunéčko^{b)} a Václav Koula^{b)}

^{a)} UJP PRAHA a.s.

^{b)} Zemědělské družstvo Rpety se sídlem ve Rpetech. DAKEL – Středisko technické diagnostiky

Abstrakt

Doba provozu většiny energetických zařízení a podniků chemického průmyslu v ČR je významným důvodem pro vývoj diagnostických a provozně monitorovacích systémů, které by výrazně přispěly ke snížení rizika možné havárie vysokotlakých potrubních systémů provozovaných při vysoké teplotě. A právě diagnostika s využitím akustické emise (AE) je pro danou oblast perspektivní metodou nedestruktivního testování, neboť, na rozdíl od běžných ultrazvukových diagnostických metod využívaných k lokální diagnostice, je využitelná pro dlouhodobé plošné provozní monitorování stavu potrubí a umožňuje z více míst současně snímat signál AE, ten dálkově přenášet a v diagnostickém systému zaznamenávat a zpracovávat data v reálném čase. Tento příspěvek shrnuje dosavadní laboratorní výsledky odezvy AE na průběh creepového procesu (nukleaci a propagaci creepové trhliny) u parovodní oceli 15 128.

Abstract

The operating time of most energy and chemical plants in the Czech Republic is an important reason for the development of diagnostic and operational monitoring systems that would greatly contribute to reducing the risk of a high-temperature high-pressure pipeline accident. And acoustic emission (AE) diagnostics belongs to these perspective non-destructive testing that is, unlike to conventional ultrasound diagnostic methods used for local diagnostics, usable for long-term field monitoring of the pipeline condition. Moreover, acoustic emission diagnostics allows to simultaneously capture the AE signal from multiple locations, remotely transmit and record real-time data in the diagnostic system and to analyze them. This paper summarizes the laboratory results of the AE response to the creep process (nucleation and propagation of the creep crack) taking part in steam pipeline steel 15 128.

Úvod

Od roku 2016 je ve spolupráci čtyř odborných pracovišť: Zemědělské družstvo Rpety se sídlem ve Rpetech. DAKEL – Středisko technické diagnostiky (dále jen DAKEL), UJP PRAHA a.s., Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v.v.i. a Laboratoř akustické emise FSI VUT v Brně, řešen výzkumný projekt č. FV10645 programu MPO ČR - TRIO s názvem „Analyzátor kontinuální akustické emise pro diagnostiku erozně korozního a creepového poškození potrubních systémů“. Jeho cílem je návrh a realizace diagnostického systému a metody využívající AE pro diagnostiku a provozní monitorování poškození vysokotlakých potrubních systémů způsobené erozně korozními procesy a pro diagnostiku šíření trhlin, vznikajících v důsledku creepového poškození.

Hlavním úkolem pracoviště UJP PRAHA a.s. v rámci tohoto projektu je nalézt spojitosti mezi nukleací (tvorbou) a propagací (šíření) trhlin, které nastávají v materiálu při creepu, a odezvou jeho AE během tohoto procesu. K tomuto účelu jsou v laboratořích UJP PRAHA a.s. prováděny jednoosé tahové creepové zkoušky několika parovodních materiálů s různou předchozí expozicí (např. různě provozně exponovaná ocel 15 128, laboratorně stárnutý heterogenní

svarový spoj ocelí P91 a 15Ch1M1F nebo výchozí stav oceli P92) s kontinuálním záznamem AE (zajišťuje DAKEL). V praxi se však nelze vyhnout šumům, ve kterých se emisní události spojené s nukleací a propagací creepové trhliny ztrácí. Proto jsou během creepových zkoušek souběžně klasifikovány jednotlivé zdroje šumů s cílem se jim v následných creepových zkouškách (a výhledově i v provozních podmínkách) zcela vyhnout nebo upravit parametry snímání či post-hodnocení signálu AE tak, aby byly tyto šумы co nejvíce eliminovány.

V následujícím textu jsou popsány dosavadní laboratorní výsledky odezvy AE na průběh creepového procesu (nukleaci a propagaci creepové trhliny) u parovodní oceli 15 128.

Experimentální materiál

Zkoušený materiál pochází z vysokotlakého parovodu (z oceli ČSN 15 128.9 jmenovitých rozměrů OD 324 x 48 mm) kotle K6 v Elektrárně Počerady z kolena OH17. Koleno bylo po 240 066 pracovních hodinách při teplotě 540 °C a tlaku 17,46 MPa vyřezáno, protože se v jeho tažené části objevily creepové trhliny. Těsně pod vnějším povrchem tažené části s trhlínami byly tangenciálně odebrány vzorky pro creepovou zkoušku se záznamem AE. Vzorky mají tvar krátkých poměrných závitových tahových tyčí s průměrem 6 mm a závitem M10 s prodloužením závitové hlavy na jedné straně pro přivaření vlnovodu, který zprostředkovává přenos akustického signálu.

Laboratorní creepové zkoušky

Jednoosé tahové creepové zkoušky jsou prováděny na tří-pozicovém stroji Zst 2/3, vyrobeném firmou VEB WERKSTOFF PRUFMASCHINEN LEIPZIG. Podmínky dosud ukončených zkoušek shrnuje tabulka 1 (\varnothing je průměr zkušební tyče, F je zatěžovací síla, σ je napětí vztahované k průměru \varnothing , T je teplota zkoušky, t_r je doba do lomu, $A_5(\epsilon)$ je deformace při lomu a Z je kontrakce). Teplota v peci je kontrolována třemi kalibrovanými termočlánky typu K a zaznamenávána pomocí modulu ADAM (výrobce Advantech) do počítače. Creepové prodloužení je kontinuálně snímáno pomocí citlivého inkrementálního rotačního čidla (zapojeného přes kladku) a zapisováno do miniaturního počítače Raspberry Pi (snímá se čas, úhel pootočení měřící kladky a z nich přepočtené prodloužení vzorku).

Výsledky nemají z hlediska stanovení creepového chování příliš vysokou vypovídající hodnotu, ale pro potřeby nalezení spojitosti mezi procesem creepu a odezvou jeho AE jsou zcela dostačující.

Snímání signálu AE

Záznam akustické emise byl realizován systémem DAKEL-XEDO (v současnosti je používán systém DAKEL-ZEDO, nejnovější produkt řešitele projektu DAKEL). Na začátku zkoušky byl navíc paralelně proveden záznam AE systémem DAKEL-IPL s konstantní vzorkovací frekvencí 2 MHz (v případě vzorku C16 byly také zaznamenávány 10 minutové úseky periodicky každých 12 hodin po celou dobu zkoušky).

Aktivita signálu AE ze vzorku je sledována přes vlnovod magnetickým snímačem MDK13 po celou dobu creepové zkoušky. Signál snímače, který obsahuje integrovaný předzesilovač, je snímán při zesílení 20 dB a 40 dB se vzorkovací frekvencí 2 MHz. Frekvenční rozsah použité sondy je 500 kHz. Základem hodnocení parametrů AE je analýza celkového šumového pozadí. Pro tento účel se v systému XEDO během creepové zkoušky sledují počty překmitů (cnt) amplitudy přes dvě nastavitelné prahové úrovně (c1 204 mV, c2 604 mV), a střední efektivní hodnota signálu RMS (Root Mean Square). Systém dále hodnotí počet emisních událostí (EU), které převyšují běžné šumové pozadí, a tvarové parametry těchto událostí.

Výsledky creepových zkoušek

Doba do lomu creepovaných vzorků je závislá na přesné lokalitě odběru vzorků pod creepovými trhlinami v tažené části parovodního kolene. Vzorek C14, s nejkratší dobou do lomu, v sobě obsahoval několik creepových trhlin ještě před začátkem laboratorní creepové zkoušky, viz obr. 1. Naopak výchozí stupeň creepového poškození vzorku C16, s nejdelší dobou do lomu, odpovídal pouze ojedinělým kavitám. Každopádně ve všech případech došlo v průběhu laboratorní creepové zkoušky k rozvoji creepového poškození a k tvorbě magistralní creepové trhliny.

V souvislosti s dobou do lomu je patrný rozdíl i v dosažené celkové deformaci. Kontinuální záznam creepové deformace (creepová křivka) ve všech případech však odpovídal očekávanému průběhu s třemi stádii, viz ukázka na obr. 2, ačkoliv přesná identifikace přechodu z jednoho stádia do druhého není vždy jednoduchá, viz obr. 3.

Výsledky analýzy AE

V průběhu creepových zkoušek byly detekovány jednotlivé EU a hodnoty RMS. Jejich vývoj sleduje rychlost creepové deformace, viz obr. 2 a obr. 3: v primárním stádiu vykazují RMS vyšší hodnoty a dochází k vyššímu počtu EU. Při přechodu do sekundárního stádia ustálené creepové deformace (minimální rychlost creepu) hodnoty RMS postupně klesají až k minimálním pouze s občasným výkyvem k vyšším hodnotám. Také nárůst počtu EU se výrazně sníží a zůstává konstantní až do terciárního stádia, kdy dochází k rapidnímu nárůstu počtu EU. Také hodnoty RMS v blízkosti doby do lomu extrémně narůstají a dosahují až trojnásobku hodnot v primárním stádiu.

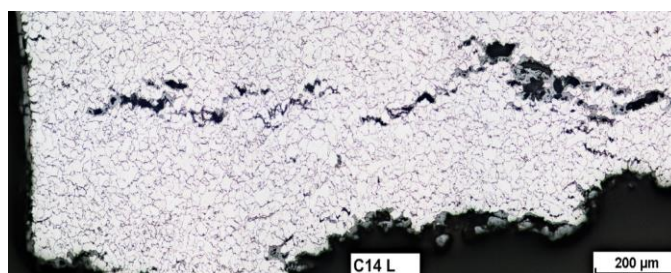
Kromě grafického hodnocení záznamů AE byly všechny EU převedeny do frekvenčních spekter pomocí Fourierovy transformace a tato frekvenční spektra byla dále zpracována do časových přehledů, viz obr. 4, v nichž každý bod grafu náleží jedné EU v čase, kdy k této události došlo. EU je zde interpretována frekvencí, při níž byla dosažena maximální amplituda frekvenčního spektra. V blízkosti doby do lomu lze pozorovat několik frekvenčních hladin, zatímco v průběhu celé zkoušky je frekvence naprosté většiny EU cca 200 kHz.

Závěr

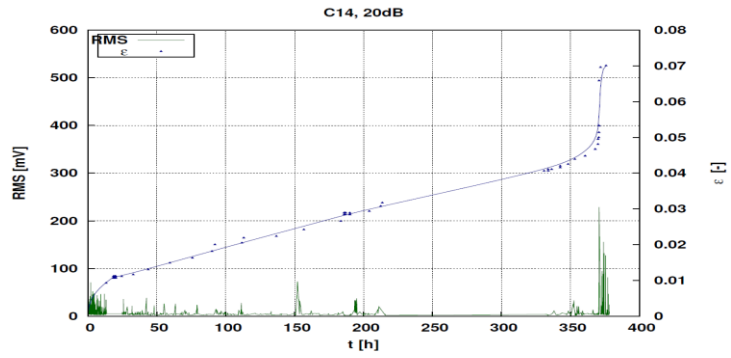
Z dosud dokončených laboratorních testů vyplývá, že vývoj počtu EU koresponduje s nárůstem creepové rychlosti při přechodu do terciárního stádia creepu. Další práce budou zaměřeny na identifikaci zdrojů EU dle frekvenčních spekter, tj. vyloučení těch frekvencí, které odpovídají šumům a nikoli AE odezvě creepového děje.

Tabulka 1: Podmínky a výsledky ukončených creepových zkoušek

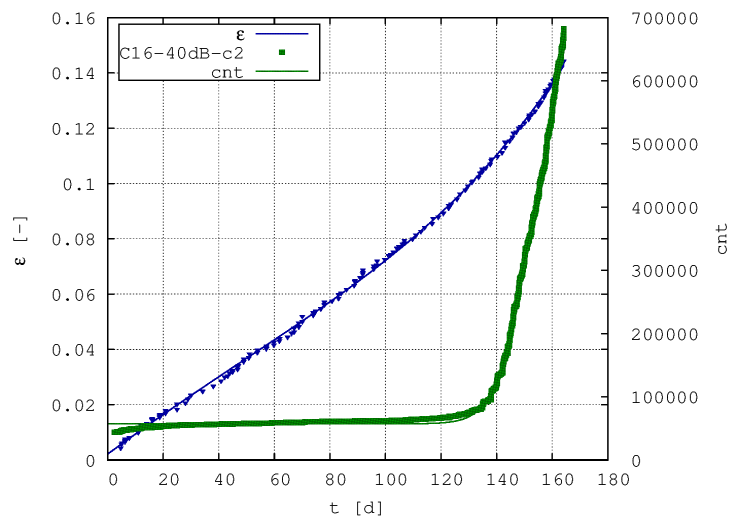
Vzorek	ø [mm]	F [kp]	σ [MPa]	T [°C]	t _r [h]	A5(ε) [%]	Z [%]
C14	5,99	280	97,5	545	370,8	6,1	10,6
C15	5,96	260	91,4	545	1027	7,8	9,2
C16	5,99	260	90,5	540	4143	18,4	24,4



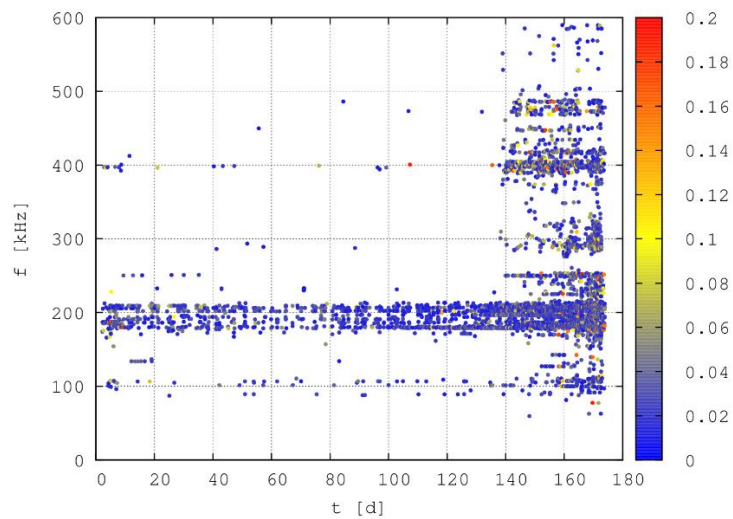
Obr. 1: Mikrostruktura vzorku C14 v blízkosti lomu po creepové zkoušce. Uvnitř materiálu jsou patrné zoxidované creepové trhlinky z předchozí provozní expozice.



Obr. 2: Vývoj RMS a creepové deformace ϵ při zesílení 20 dB – vzorek C14



Obr. 3: Vývoj počtu EU v porovnání s creepovou deformací ϵ při zesílení 40 dB – vzorek C16



Obr. 4: Časový přehled všech zaznamenaných EU z obr. 3. Barevná škála (normalizovaná) odpovídá úrovni dosažené maximální amplitudy.