

Hodnocení rozdílů v únavovém poškození vybraných materiálů pro energetiku metodami akustické emise

Akustická emise je významným zdrojem informací o průběhu únavového procesu a jeho intenzitě při cyklickém zatěžování. Zkušební vzorky byly vyrobeny z oceli 15Ch2NMFA pro tlakovou nádobu VVER1000 a slitiny INCONEL 713LC a byly zatěžovány ohybem ve vysokocyklickém režimu. V tomto příspěvku jsou uvedeny výsledky analýzy signálů akustické emise při daném zatěžování. Hlavním cílem bylo navrhnout metodu umožňující vyhodnocovat raná stadia únavového poškození a identifikovat změny probíhající v materiálu prostřednictvím parametrů akustické emise. Porovnání signálů akustické emise ukazuje u obou materiálů rozdíly v procesech únavového poškození. Rovněž byl proveden fraktografický a mikrostrukturní rozbor lokalit, kde byla iniciována trhlinka. Experimenty byly realizovány ve spolupráci mezi VUT Brno a ZČU v Plzni na základě řešení projektu MPO „Diagnostický komplex pro detekci úniků tlakových médií a materiálových vad tlakových komponent jaderných a tepelných elektráren“ a projektu „Nové Technologie pro Strojní inženýrství (NETME+)“.

Úvod

Inconel 713LC je nízkouhlíková varianta slitiny Inconel 713, která se řadí do skupiny tzv. superslitin vhodných pro vysoká namáhání za vysokých teplot a v korozním prostředí, např. v chemickém a petrochemickém průmyslu, energetice, automobilovém a leteckém průmyslu a podobně [1], [2].

Ferritická nízkolegovaná ocel 15Ch2NMFA je používána pro tlakové nádoby reaktorů typu VVER. Hlavními požadavky na tuto ocel jsou svařitelnost silnostěnných komponent, strukturní stabilita, dobré pevnostní vlastnosti při provozních teplotách, odolnost proti porušení křehkým lomem a odolnost proti degradaci vlastností při radiačním ovlivnění, [3].

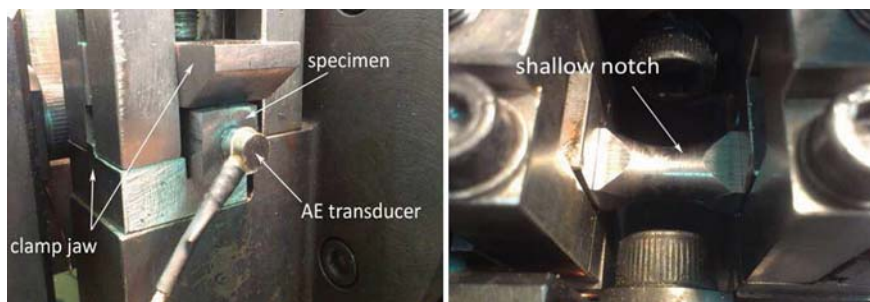
Akustická emise (AE) je schopná poskytovat informace o chování materiálu při působícím zatížení. Je využívána pro detekci iniciace a růstu defektů v provozovaných součástech a díky citlivosti této metody je možné detekovat již procesy tvoření a růstu mikrotrhlin, pohybu dislokací, pokluzů nebo dekoheze precipitátů a také lomu, [4], [5].

Primárními zdroji signálů AE v kovech jsou procesy plastické deformace a růstu trhlin, což jsou mechanismy uvolňování energie v mikrostrukturním měřítku. Z pohledu AE je významné, že predikují doprovodné nízkonapěťové vlny, [6]. S ohledem na klasifikaci signálů AE bylo zjištěno, že tvorba mikrotrhlin a jejich růst do velikosti makrotrhliny jsou charakterizovány nárůstem počtu signálů AE, [7], přičemž jev zavírání trhliny je doprovázen vysokými hodnotami počtu signálů AE, [8]. Signál AE obsahuje tři fáze, které odpovídají inkubační fázi, iniciaci trhliny a fázi jejího šíření.

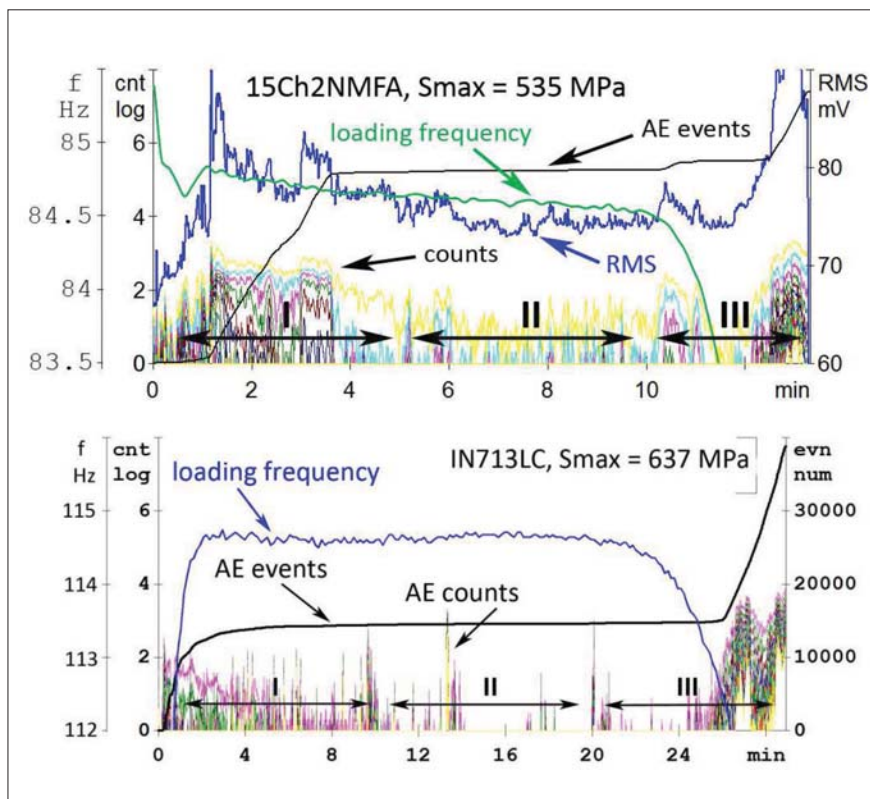
Zkušební materiál a mechanické zkoušky

Konvenční lité válcové tyče vyrobené ze slitiny Inconel 713LC byly dodány firmou PBS Velká Bíteš a.s. Struktura byla tvořena hrubými dendritickými zrny, chemické složení bylo následující: 11.98 Cr, 6.04 Al, 4.01 Mo, 1.82 Nb, 0.59 Ti, 0.06 Zr, 0.06 C, 0.008 B (ostatní nežádoucí prvky se ve slitině nacházely ve standardních mezích).

Zkušební tyče z oceli 15Ch2NMFA byly vyrobeny ve firmě Škoda Plzeň. Struktura byla tvořena jemným bainitem, chemické složení bylo následující: 0.13 - 0.18 C, 0.30-0.60 Mn, 0.17 - 0.37 Si,



Obr. 1 – Umístění snímačů AE



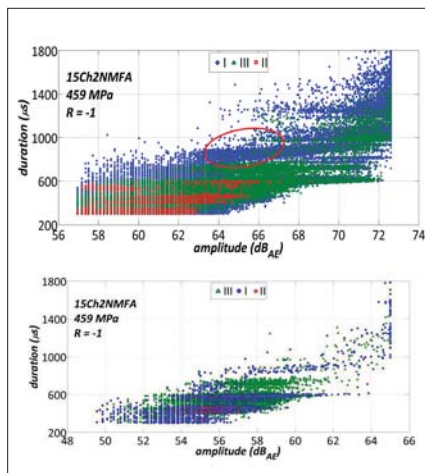
Obr. 2 – Porovnání signálů AE (count rate – cnt [log], AE events – evn [num]) a zátěžné frekvence (f [Hz]) v průběhu únavové zkoušky materiálů 15Ch2NMFA a Inconel 713LC

1.8 - 2.3 Cr, 1 - 1.5 Ni, 0.5 - 0.7 Mo, Max 0.12 V. Je zřejmé, že struktura a chemické složení obou použitých materiálů byly diametrálně odlišné, takže bylo možno očekávat odlišný charakter signálů AE. Zkušební tělesa byla zatěžována ohybem do lomu ve vysokocyklickém režimu na zkušebním stroji RUMUL Cracktronic 8204/160 sinusovým cyklem

s frekvencí cca 114 Hz a koeficientem nesouměrnosti cyklu $R=-1$ (střídavý cyklus).

Měření signálů akustické emise

Signály AE byly snímány prostřednictvím monitorovacího systému DAKEL-XEDO s celkovým ziskem 80 dB. Dva piezoelektrické snímače (DAKEL,



Obr. 3 – Lokalizace zdrojů AE a) všechny zdroje b) pouze ve vrubu

type: MIDI) byly upevněny na konce vzorků pomocí lepidla Loctite tak, že tvořily dvoukanálový systém, viz obr. 1.

Výsledky měření

Typická AE odezva materiálů 15Ch2NMFA a Inconel 713LC na vysokocyklické zatěžování při zvolených hladinách napětí je uvedena na obr. 2. Základní stadia únavového poškození jsou uvedena v diagramech (I – změna mechanických vlastností, cyklické zpevňování, resp. změkčování, II – nukleace trhliny, III – šíření mikro-, resp. makrotrhliny).

V první čtvrtině únavové životnosti se aktivita signálů AE vyvolaná změnami mechanických vlastností zvyšuje. Následující fáze je charakterizována nízkou aktivitou signálů AE, která posléze vede k iniciaci únavové mikrotrhliny. Průběh závažné frekvence se ukázal jako užitečný pro identifikaci počátku růstu magistralní trhliny. Je zajímavé, že signály AE v oblasti šíření magistralní trhliny byly významně opožděné, což potvrzuje

existenci různých stádií růstu trhliny, a vysoká aktivita signálů AE v oblasti blízko lomu charakterizuje nestabilní fázi růstu.

Závěry

AE umožňuje získat mnoho informací o odezvě materiálů na únavové zatěžování. Hlavním cílem této studie bylo navrhnout metodu pro vyhodnocení raných stádií únavového poškození a identifikaci změn, ke kterým v obou studovaných materiálech dochází, metodami AE. Odezva signálů AE na únavové zatěžování ohybem obou studovaných materiálů je charakterizována nízkou aktivitou v případě slitiny Inconel 713 v porovnání s ocelí 15CH2NMFA, nicméně v obou případech vykazují záznamy shodné rysy, odpovídající jednotlivým stádiím únavového porušování. Bylo dokumentováno, že rané stadium – pohyb dislokací a tvoření skluzových pásů – je doprovázeno vysokými hodnotami signálů AE. Je možno tak formulovat závěr, že metoda AE může sloužit jako citlivá metoda pro odhalení únavového poškození již v počátečních stádiích únavového procesu.

Poděkování

Studie presentované v tomto příspěvku byly realizovány s finanční podporou „Operational Programme Research and Development for Innovations“ v rámci projektu NETME Centre (New Technologies for Mechanical Engineering), Reg. No. CZ.1.05/2.1.00/01.0002 a v rámci projektu udržitelnosti podporovaném prostřednictvím NETME CENTRE PLUS (LO1202) prostředky MŠMT v rámci „National Sustainability Programme I“ a byly podpořeny také Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR v rámci projektu č. FR-TI4/602 "Diagnostic complex for detecting leakage of pressure media and material defects pressure components of nuclear power plants".

Literatura:

- [1] ASM speciality handbook: Nickel, cobalt, and their alloys. Materials Park: ASM International, 2000. ISBN 978-0-87170-685-0.
- [2] M.J. Donachie, S.J. Donachie: Superalloys: a technical guide, 2nd ed. Materials Park: ASM International, 2000, 439 p. ISBN 08 717-0749-7.
- [3] J. Koutsky: Steels for Power Engineering. Prague: SNTL, 1981, 337 s.
- [4] R.K. Miller, E.v.K. Hill: Acoustic Emission Testing, NDT Handbook, Vol. 6, 3rd edition, ASNT, Columbus, 2005. ISBN 1-57117-106-1.
- [5] ASM Handbook, Nondestructive Evaluation and Quality Control, Vol. 17, ASM International, Materials Park, OH, 1989.
- [6] L.M. Rogers: Structural and Engineering Monitoring by Acoustic Emission Methods – Fundamentals and Applications, Lloyd's Register, Technical Investigation Department, London, 80 p. 2001.
- [7] O.V. Bashkov, T.I. Bashkova, A. Popkova: Stages of Bending Fatigue of Titanium Alloys and Their Identification by Acoustic Emission, in 30th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission, University of Granada, 2012. ISBN13: 978-84-615-9941-7.
- [8] M.F.M. Yusof, C.K.E. Nizwan, N. Jamaludin, S. Abdullah: Acoustic Emission Behavior during Fatigue Crack of API5LX70 Gas Pipeline Steel. Applied Mechanics and Materials. Vols. 80-81, (2011), pp. 148-152.

Václav Mentl,
University of West Bohemia in Pilsen,

František Vlašič, Denisa Bártková,
Pavel Mazal,
Brno University of Technology

Application of acoustic emission for identification of Differences in fatigue damage of selected materials For power plants

An acoustic emission is remarkable source of information about the fatigue process and its intensity at cyclic loading. The specimens made of nuclear reactor pressure vessel steel and INCONEL 713LC were subjected to bending fatigue loading in the high-cycle range. This study presents results of acoustic emission signal analysis. The main aim of the study was to propose a methodology for the evaluation of early manifestations of fatigue damage and to identify material changes in both materials by AE parameters. The comparison of AE signals of both the materials indicates differences of damage mechanism. An examination of crack initiation sites and microstructure have been also performed. The experiments were realized in cooperation between laboratories of Brno University of Technology and University of West Bohemia in Pilsen and are related to solving of project of the Czech Ministry of Industry and Commerce: "A diagnostic complex for the detection of pressure media and material defects in pressure components of nuclear and classic power plants" and project New Technologies for Mechanical Engineering (NETME+).

Оценка изношенности и повреждений некоторых материалов, применяемых в энергетике, при помощи метода акустической эмиссии

Акустическая эмиссия является значительным источником информации при исследовании процесса износа и его интенсивности в связи с циклическими нагрузками. Образцы исследования были произведены из стали 15CH2NMFA для напорного сосуда VVER1000 и сплава INCONEL 713LC. Они были подвергнуты испытаниям на гибкость при циклических нагрузках. В статье приведены результаты анализа сигналов акустической эмиссии при данных нагрузках. Главная цель исследования — предложить метод, позволяющий определять ранние стадии усталости, ведущие к повреждениям, и идентифицировать изменения, происходящие в материале, с помощью параметров акустической эмиссии. Сравнение сигналов акустической эмиссии показывает у обоих материалов различия в процессах усталости. Также были проведены фактографический и микроструктурный анализы участков, где берёт начало трещина. Эксперименты были проведены VUT Брно в сотрудничестве с ЖЭУ в Пльзене на основе проекта МРО «Диагностический комплекс для предотвращения утечки рабочей напорной среды и материальных дефектов напорных компонентов атомных и тепловых электростанций» и проекта «Новые технологии для машиностроения (NETME+)».