

MONITORING OF THE ACOUSTIC EMISSION DURING MECHANICAL AND CORROSION DEGRADATION

Dostál P., Černý M.

Department of Engineering and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: pet.d@seznam.cz, michalc@mendelu.cz

ABSTRACT

The work deals with special method of non-destructive testing – Acoustic emission. It is divided into two parts. The theoretical part contains the principle of this method and its application. The laboratory part is focused on research of corrosion in the material using Acoustic emission. The material is exposed to specific conditions - NaCl environment in the salt chamber for accelerating the process of degradation. The chamber is designed to simulate the corrosion conditions. The test pieces degrade very fast inside. In this part is also contained an acoustic measurement of fatigue degradation of materials by high cyclic loading. The research is focused on materials from aluminum alloys. Using the acoustic sensor is possible to provide monitoring of internal changes in the material.

By means of the competent software there is a possibility for analysing and processing of acoustic signals. This enables identification the current stage of degradation and assessing the risk of an accident in real-time.

Key words: corrosion, aluminium, aluminium alloys, degradation, mechanical loading, fatigue loading, fatigue crack, cyclic loading.

Acknowledgments: This study was supported and financed by the internal grant agency Mendel University in Brno – Faculty of Agronomy n. IP 10/2010.

ÚVOD

Nedestruktivní kontrola materiálu (NDT), se stala významným prvkem kontroly a řízení jakosti v průmyslu. Tyto nedestruktivní metody dokáží výrobcům včas odhalit skryté výrobní vady, které i při současných špičkových technologiích nelze nikdy vyloučit.

Postavení a význam metody akustické emise (AE) mezi ostatními NDT metodami spočívá především v jejich vzájemném doplňování. Metoda AE podává principiálně odlišnou informaci oproti ostatním NDT metodám. Metoda AE a ostatní NDT metody se poskytovanými informacemi nepřekrývají, ale vhodně doplňují.

Typické NDT metody pracují z cílem "vhodného nasvícení a tím zviditelnění" přítomnosti defektu v materiálu konstrukce. Přítomnost defektu se projeví změnou intenzity toku záření, změnou toku vířivých proudů, změnou magnetického toku v materiálu, v šíření a odrazech UZ vln, ve zviditelnění defektu penetrační kapalinou nebo magnetickým práškem. Tyto metody vyhledávají přítomnost defektu v konstrukci obvykle postupně krok po kroku. Vypovídají o přítomnosti, velikosti, orientaci a geometrii defektů.

Od pradávna se k orientačnímu posouzení změny kvality tělesa užívá známé poklepání, na cihlu, keramiku apod. Na základě odezvy tělesa na tento úder "slyšíme" případnou změnu vlastní frekvence tělesa a z té dokážeme identifikovat výskyt skryté vady. Soudobé akustické metody testování nejsou tolik subjektivní a jsou založeny na přesnějších měřících postupech, zejména ve způsobu buzení a příjmu zvuku.[4]

Tento článek se zabývá monitoringem a vizualizací korozní degradace a změn únavové životnosti materiálu pomocí snímání akustické emise. Zkušebním materiálem je slitina hliníku. Zkušební vzorky jsou cyklicky namáhány na ohyb, přičemž se snižuje jejich únavová životnost. V jistém okamžiku vzniká ve vzorku únavová mikrotrhlina, kterou je možné identifikovat právě pomocí metodiky akustické emise. Práce se rovněž zabývá problematikou koroze. Vzorky jsou vystaveny zrychleným korozním podmínkám a pomocí metody AE je tento proces sledován a analyzován. Pomocí prováděných laboratorních zkoušek a následné analýzy dat je možné účelně predikovat chování daného materiálu v reálných provozních podmínkách. Tímto lze zvýšit bezpečnost strojů, zařízení a procesů, lze předcházet závažným haváriím a modernizovat procesy.

MATERIÁL A METODIKA

Zkušební zařízení

Analyzátor Xedo (Obr.1) od společnosti Dakel je moderní a výkonné modulární zařízení pro měření a vyhodnocování parametrů akustické emise. Umožňuje rovněž měření jiných fyzikálních veličin. Měřicí jednotky systému jsou řazeny do ráků (tzv. boxů), kde jsou spolu s komunikačními jednotkami připojeny na společnou sběrnici. Z komponentů zařízení lze sestavit jak malé laboratorní přístroje, tak rozsáhlé průmyslové diagnostické systémy. Analyzátoři jsou určeny pro připojení pasivních piezokeramických snímačů bez zesilovače nebo aktivních snímačů s integrovaným předzesilovačem napájeným 12 nebo 24 V. Zpracování signálu vzorkovaného 2-8 MHz s 12bitovým rozlišením probíhá plně digitálně.



Obr.1 Analyzátor XEDO

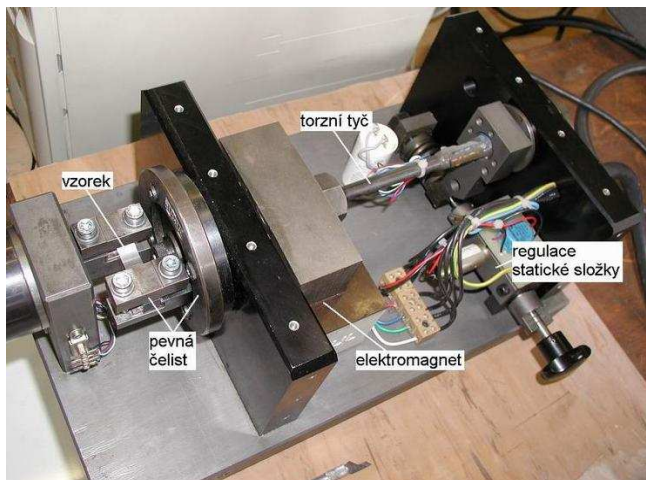
Snímače akustické emise, převádějící balíky vln akustické emise na elektrické signály, jsou obvykle keramické piezoelektrické snímače, případně rezonanční snímače s daným rozsahem frekvencí (30kHz, 300kHz). Pro tento konkrétní případ měření mechanické a korozní degradace slitin hliníku byl zvolen snímač IDK-09 s korundovou dotykovou plochou (Obr.2). Širokopásmové snímače jsou využívány jen pro orientační zjištění frekvenčního spektra. Nižší frekvence akustické emise sledujeme v kompozitech, potrubích, betonu, kdežto vyšší frekvence jsou zjišťovány při měřeních nad šumovým pozadím nebo při omezení detekčního rozsahu. K zabezpečení dobrého akustického přenosu je nanášeno mezi snímač a materiálem pojídlo, směs vody a rozpustného glycerinu či speciální “nadvukové” lepidlo.



Obr.2 Snímač akustické emise

MENDELNET 2010

Pro testování únavové životnosti materiálu je použit vysokofrekvenční pulzátor Rumul Cracktronic 160. Zařízení se nachází v laboratoři vysokocyklové únavy VUT FSI v Brně, ÚK. Zkušební vzorek je na tomto zařízení cyklicky zatěžován a při tomto procesu jsou snímány signály akustické emise. Jedná se o moderní, počítačem řízený stolní pulzátor, který pracuje v oblasti zatěžování plochým ohybem s frekvencí zatěžování v rozmezí 50 – 120 Hz. Součástí vybavení je software umožňující nejrůznější způsoby programového zatěžování vzorků. Maximální ohybové zatížení je 160 Nm. Princip tohoto pulzátoru je znázorněn na obrázku Obr.3. Snímač AE je upevněn na vzorku.



Obr.3 Princip pulzátoru Rumul Cracktronic 160

Pro korozní degradaci materiálu bylo použito zařízení od firmy Liebisch. Hlavní části jsou zobrazeny na obr. 4 - zkušební prostor (test room), průtokoměr a regulátor (flow meter and regulator), zásobní nádrž (tank), tryska (nozzle), větrání (ventilation), vlhčící zařízení (humidifier).



Obr.4 Princip solné komory

MATERIÁL

Pro zkoušku vysokocyklického únavového namáhání i pro korozní zkoušku v solné komoře používáme normované zkušební vzorky (viz. obr.5). Vzorky jsou určeny pro elektrotezonanční zkušební stroje a mají délku 55mm. Vzorky jsou ze slitiny hliníku EN AW-7075. Jedná se o vytvrditelnou slitinu vysoké pevnosti.



Obr.5 Zkušební vzorky

METODIKA

A) AE při mechanické degradaci

Vzorky jsou cyklicky namáhány čtyřbodovým ohybem na vysokofrekvenčním pulzátoru Rumul Cracktronic 160. Na zkušební zařízení je nutné vhodně zvolit a nastavit amplitudu zatěžování, která zůstává po celou dobu testu konstantní. Tuto amplitudu volíme na základě četných zkušebních měření 9,5Nm, což odpovídá napětí 240MPa.

Zatěžovací frekvence je určena tuhostí zkoušeného vzorku. Tato frekvence se vlivem postupné únavové degradace vzorku mění. Do systému je nutné na základě experimentálních testů zadat takovou hodnotu změny frekvence, při které zkušební zařízení automaticky ukončí test vzhledem k již jistému šíření únavové trhliny. Tato změna frekvence pro námi testovaný materiál je 1,5Hz.

Pomocí detekce změny zatěžovací frekvence lze tedy určit, kdy se začíná trhlina šířit. Předmětem výzkumu je ale stanovení jednoznačné fáze procesu, kdy vzniká únavová mikrotrhlina, tedy ta fáze degradace, která předchází fatálnímu poškození vzorku, resp. reálné součásti v praxi. Pro toto určení využíváme metodu akustické emise, pomocí které dokážeme „slyšet“ změnu stavu zkoušeného materiálu. V určitých lokalitách materiálu dochází v důsledku cyklického únavového zatěžování k uvolňování části materiálem nahromaděné elastické energie, např. při vzniku a šíření trhliny. Uvolněná energie se v přilehlém okolí místa uvolnění transformuje na napěťový impuls, který se šíří materiálem ve formě přechodových elastických vln a při dosažení povrchu materiálu se transformuje na takový mód vlnění, který odpovídá geometrické konfiguraci a rozměrům objektu. Složka vlnění kolmá k povrchu materiálu je pak detekována piezoelektrickým snímačem akustické

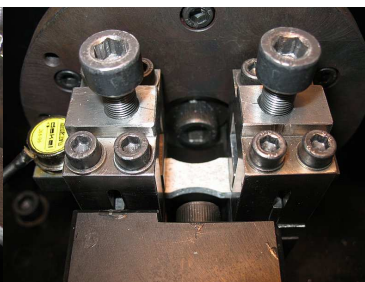
MENDELNET 2010

emise (viz. obr. 4, obr. 5). Akustický signál ze snímače je po zesílení přiveden na vstup měřícího systému, kde je po opětovném zesílení vyhodnocován.

Signál AE má buď charakter spojitého šumu, kdy jeho amplituda po delší dobu neklesá pod určitou prahovou úroveň, nebo je nespojitá a signál má charakter časově oddělených pulsů - emisních událostí. Zdrojem spojité AE jsou mikromechanismy v procesu plastické deformace materiálu, technologické šумы při provozu zařízení, resp. vlnění emitované při úniku média z tlakových systémů. Zdrojem nespojité AE jsou především procesy probíhající při vzniku a rozvoji trhlin a korozní jevy, spojené s impulsním uvolňováním elastické energie.



Obr 6 Umístění snímače AE

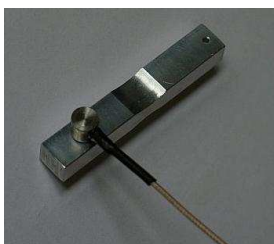


Obr.7 Umístění snímače AE

B) AE při korozní degradaci

Zrychlené korozní zkoušky byly provedeny v souladu s ČSN ISO 9227. Ke zkoušce bylo použito korozního prostředí v podobě solné mlhy (atmosféra chloridu NaCl) o koncentraci 50 ± 5 g/l destilované vody. Hustota roztoku při této koncentraci a teplotě 25°C je $1,0225$ až $1,0400$ g.cm⁻³. Tato zkouška se obvykle používá pro kovy, jejich slitiny, kovové povlaky, či organické povlaky na kovových podkladech a probíhá při teplotě 35°C.

Piezoelektrický snímač akustické emise je přilepen na vzorek (viz. Obr. 8) a izolován od agresivního korozního prostředí sanitárním tmelem (viz. Obr. 9). Takto je zabráněno degradaci samotného snímače. Umístění vzorku v komoře je zobrazeno na Obr. 10.



Obr. 8 Umístění snímače



Obr. 9 Izolace snímače

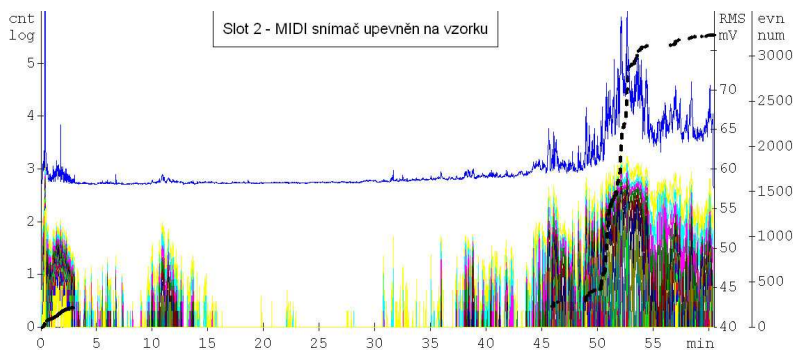


Obr. 10 Poloha vzorku v komoře

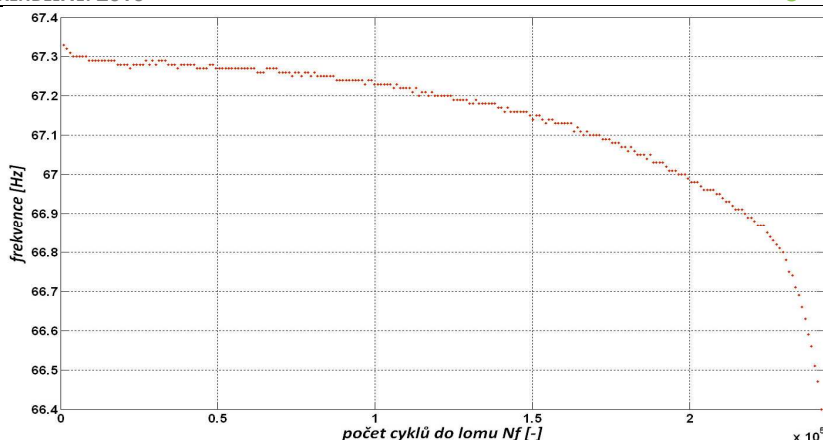
Vlastní anodické rozpouštění kovu se nepovažuje za významný zdroj signálu AE. V průběhu koroze vzniká volný povrch, mění se napětí na povrchu kovu, uvolňují se dislokace, vznikají, uvolňují se a zanikají bubliny a praskají oxidická nebo solná víčka uzavírající korozní body. Generace AE při korozi je spojována právě s těmito procesy. Měření AE tedy detekuje “pouze” procesy, které korozi doprovázejí – měření AE je tedy nepřímá metoda sledování koroze [5].

VÝSLEDKY A DISKUZE

V tomto článku je uveden reprezentativní příklad vizualizace akustické emise. Akustická emise je snímána a zaznamenávána v několika hladinách. Graf 1 znázorňuje signály akustické emise, graf 2 vyjadřuje závislost zatěžovací frekvence na počtu cyklů do lomu. Modrá křivka v grafu (Graf 1) nejlépe indikuje akustické signály vznikající v namáhaném vzorku. Z tohoto grafu lze vyčíst, že mikrotrhlina byla indikována po cca 50ti minutách cyklického zatěžování. V tomto místě vznikla významná emisní událost. Z grafu (Graf 2) vyčteme, že tento okamžik nastal při cca 2×10^5 cyklech.



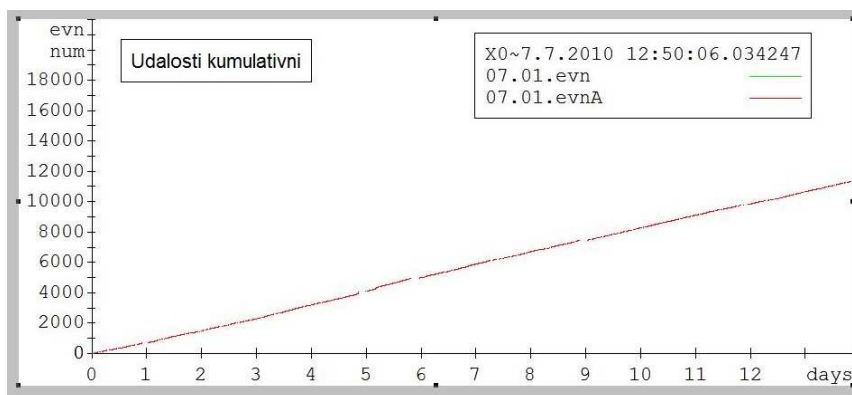
Graf 1. Monitoring akustické emise při mechanickém zatěžování



Graf 2. Závislost frekvence na počtu cyklů

Do stádia šíření trhliny proběhlo 243200 cyklů. Toto stádium je možné identifikovat z grafu (Graf 2), kde frekvenční křivka klesá na hodnotu 66,4Hz a níže (při konstantní amplitudě). Od této chvíle se trhlina šíří až do konečného lomu materiálu.

Pro hodnocení korozního degradačního procesu pomocí metody akustické emise je prozatím k dispozici krátkodobá analýza. Z grafu Graf 3 je patrné, že nenastaly žádné významné emisní události. Kumulativní součet událostí v závislosti na čase vytváří téměř lineární charakteristiku, což znamená, že byl detekován souvislý šum emisních událostí bez jakéhokoli extrému. Je tedy nutné podrobit zkoušený materiál delšímu degradačnímu procesu.



Graf 3. Kumulativní součet emisních událostí

ZÁVĚR

Metoda AE umožňuje kontrolu v reálném čase, přímo v průběhu sledovaného procesu. Umožňuje sledovat vývoj procesu. Práce je zaměřena na využívání této metody v oblasti korozní a mechanické, resp. únavové degradace materiálu.

Poškození únavou je v praxi, navzdory veškerému dosavadnímu výzkumu a pokroku v poznání, stále častým důvodem mnohdy fatálních selhání mechanicky namáhaných konstrukcí. Díky možnosti detekce a vizualizace poškození metodou akustické emise je možné včas predikovat blížící se poškození konstrukce, stroje, zařízení či procesu. Pomocí této vizualizace AE je možné sledovat aktivní defekty, tedy ty, které jsou zvláště nebezpečné.

U korozního poškození strojů a zařízení je častým problémem, že tento jev ujde pozornosti obsluhy, což může vést až k nevratným škodám na dané části zařízení. Je odhadováno, že koroze ročně způsobí škodu za zhruba padesát miliard dolarů. Proto je velmi účelné a perspektivní věnovat se této problematice. Měření AE se uplatní při sledování zejména lokalizovaných typů koroze. Hodnověrnost výsledků měření AE není ovlivněna heterogenitou parametrů pracovního prostředí ani konstrukční složitostí zařízení. Výhodou sledování koroze měřeními AE je jednoduchá možnost určení místa zdroje AE – lokalizace místa poškození korozí. Charakteristiky signálů elektrochemického šumu i akustické emise umožňují predikovat typ koroze a jeho intenzitu.

Přínos této práce lze spatřovat především v rozšíření poznatků o nukleaci a šíření únavových mikrotrhlin a rovněž definování kritického stádia korozní degradace u slitin hliníku. Tyto poznatky lze dále aplikovat v řadě vědních oborů, kde využitím znalostí únavového a korozního procesu můžeme předcházet závažným nehodám.

LITERATURA

- [1] Dakel [online]. [cit. 2010-09-14]. Dostupné z: <http://www.dakel.cz> .
- [2] VUT FSI [online]. [cit. 2010-09-11]. Dostupné z: http://www.shigley.cz/www_uk/texty/vyzkum_unavove_vlastnosti_-_akusticka_emise .
- [3] MM Spektrum [online]. [cit. 2010-09-9]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/diagnostika-metodou-akusticke-emise> .
- [4] MUNI [online]. [cit. 2010-09-2]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/projekty/KEMIS.HTML> .
- [5] Davar [online]. [cit. 2010-09-14]. Dostupné z: <http://www.davar.cz> .
- [5] KLESNIL, M., LUKÁŠ, P. (1975): Únava kovových materiálů při mechanickém namáhání. ACADEMIA, 222s. ISBN 509-21-857.

[6] KLESNIL, M., LUKÁŠ, P. (1973): Šíření únavových trhlin v oceli. ACADEMIA, 89s.

ISBN 509-21-872.

[7] KOUTSKÝ, J. (1995): Degradací procesy a predikce životnosti. Západočeská univerzita, 167s. ISBN 80-7082-177-9.

[8] BROOKS, CHARLIE, R. (2002): Failure analysis of engineering materials. MC GRAW-HILL, 602s. ISBN 0-07-135758-0.