



ELEKTROMAGNETICKÁ A AKUSTICKÁ EMISE PŘI TVORBĚ TRHLIN V BETONOVÝCH VZORCÍCH

ELECTROMAGNETIC AND ACOUSTIC EMISSION DURING THE CRACK GENERATION IN CONCRETE SPECIMENS

Pavel Koktavý*, Bohumil Koktavý**

Vysoké učení technické v Brně

*Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

**Fakulta stavební

Abstract

The paper deals with the electromagnetic emission (EME) and the acoustic emission (AE), which arise during the crack generation in mechanically stressed concrete specimens. The objective of the research consisted in verifying the crack generation waveform model for quasi-brittle material damaging processes. It appears that the crack position, as determined from the lag of the acoustic signal behind the electric one, indicates elevated mechanical stress concentration points in the test specimen. Experiment results thus prove to be in a good agreement with the modelling results for the crack spatial distribution in the specimens.

Keywords: Crack, Electric charge, Electromagnetic emission, Acoustic emission.

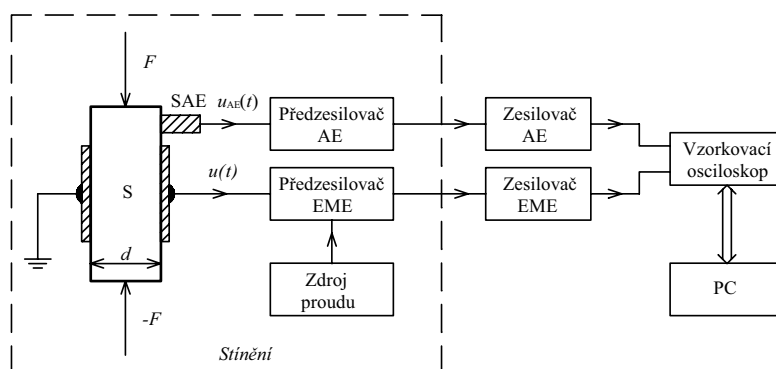
1 ÚVOD

Při mechanickém působení na pevnou látku dochází při vzniku trhlin ke generaci elektromagnetického pole, které je vyvoláno časovou změnou celkového elektrického dipólového momentu látky. Předpokládáme-li, že je sledovaná látka elektricky neutrální, potom musí docházet ke změně vzdálenosti jednotlivých nábojů elementárních dipólů látky. Existuje řada modelů pro vysvětlení tohoto jevu. Stávající model je založen na představě, že při vzniku trhlin nesou stěny trhliny opačné elektrické náboje a při jejich pohybu dochází ke změně dipólového momentu soustavy.

V předložené práci je sledována generace elektromagnetického (EME) a akustického (AE) signálu při zatěžování betonových vzorků ve tvaru kvádrů. Pro přenos zatížení mezi čelistmi lisu a vzorkem byly použity ocelové hranolky o průřezu 6 mm x 6 mm, které byly centricky vloženy mezi čelisti lisu a zkušební těleso. Modelování rozložení napjatosti a šíření trhlin ve zkušebních tělesech tvaru kvádrů používaných při měření poškození kvazikřehkých materiálů je věnována práce [1]. Ukazuje se, že napjatost je v tělese rozložena nerovnoměrně, koncentrace napětí se objevuje v oblastech pod vloženými hranolkami a tyto oblasti se při zvětšování zatížení prodlužují směrem do středu zkušebního tělesa. Účelem práce je experimentálně ověřit výsledky studie [1]. Je-li časové zpoždění akustického signálu Δt za signálem elektrickým úměrné vzdálenosti trhliny od snímače, potom musí mít rozložení četnosti dob Δt výrazná maxima.

2 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

Měření se skládá z měření akustického a elektromagnetického signálu generovaných při vzniku trhlin v materiálu. Na stěny vzorku pravouhlého průřezu jsou přiloženy kovové elektrody, které tvoří deskový kondenzátor. Tento snímací kondenzátor je zapojen na vstup předzesilovače s velkým vstupním odporem. Po dalším zesílení je elektrický signál přiváděn na jeden vstup paměťového osciloskopu, na druhý vstup se přivádí signál akustické emise, snímáný současně ze vzorku piezoelektrickým snímačem. Osciloskop naměřená data digitalizuje a přivádí do počítače. Celý proces řídí počítačový program speciálně vytvořený pro toto měření.



Obr. 1. Blokové schéma zařízení pro sledování tvorby trhlin v dielektriku při mechanickém zatěžování.

Blokové schéma zařízení je uvedeno na obr. 1. Vzorek dielektrika S opatřený elektrodami tvoří deskový kondenzátor. Při zatěžování silou F vznikají v materiálu trhlinky, při jejichž tvorbě je generován elektromagnetický a současně také akustický signál. Z jejich časového posuvu a ze znalosti rychlosti šíření mechanických vln v dielektriku lze určit vzdálenost místa vzniku trhlinky od snímače AE. Časový posuv mezi oběma signály je vyhodnocen po digitalizaci počítačem PC.

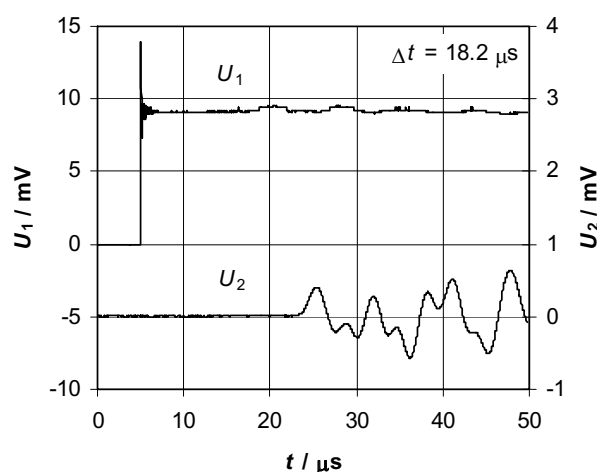
3 CHARAKTERISTIKA MĚŘENÝCH VZORKŮ

Elektromagnetická a akustická emise byla sledována při zatěžování vzorků z betonu C20/25 o objemové hmotnosti $2230 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, modulu pružnosti v tlaku 20 GPa a podélné rychlosti šíření akustického vlnění $3925 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozměry vzorků byly $63 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 63 \text{ mm}$, elektrody pro snímání signálů EME o rozměrech $45 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ byly zhotoveny nanesením uhlíkové suspenze na dvě protilehlé stěny vzorku. Snímač AE byl připevněn voskem ve středu jedné stěny s uzemněnou uhlíkovou elektrodou. Ocelové hranolky byly lepeny na horní a dolní stěnu vzorku symetricky, rovnoběžně s plošnými uhlíkovými elektrodami.

Vzorky byly zatěžovány v hydraulickém lisu (10 – 100) kN, rozsah použitých zatížení byl (14 – 40) kN.

4 MĚŘENÍ FÁZOVÉ RYCHLOSTI MECHANICKÉHO VLNĚNÍ V BETONU

Pro vyhodnocení vzdálenosti místa trhliny od středu snímače AE bylo provedeno studium závislosti rychlosti podélného vlnění v betonu na zatížení. Bylo využito upravené experimentální zařízení pro měření signálů EME. Jako budič akustického impulsu v betonovém vzorku byl využit snímač B-K, na který byl přiveden skok napětí 9 V, odezva byla měřena piezoelektrickým snímačem. Vstupní signál a odezva byly přivedeny na dva vstupy digitálního osciloskopu a odečten časový rozdíl počátků Δt obou impulsů (obr. 2). Pro umístění budiče a snímače ve středu protilehlých stěn byla zjištěna hodnota $v = 3925 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Důležitou informací byla závislost rychlosti na mechanickém zatížení vzorku. V intervalu tlaků $0 - 2,5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ však nebyla zjištěna změna fázové rychlosti.



Obr. 2. Časový průběh budicího signálu a odezvy na vzorku betonu.

5 EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY A JEJICH VYHODNOCENÍ

Elektrické signály na výstupu snímačů EME a AE byly řádově 10^{-4} V , proto bylo zvoleno zesílení obou kanálů měřicího zařízení 60 dB, šířka frekvenčního pásma pro signály EME byla 3 kHz – 1 MHz a pro kanál akustické emise bylo z důvodu odstranění rušivých signálů generovaných lisem zvoleno pásmo 9 kHz – 1 MHz. Délka realizace snímané vzorkovacím osciloskopem byla zvolena 100 μs , resp. 200 μs . Celkem bylo sejmuta 68 realizací.

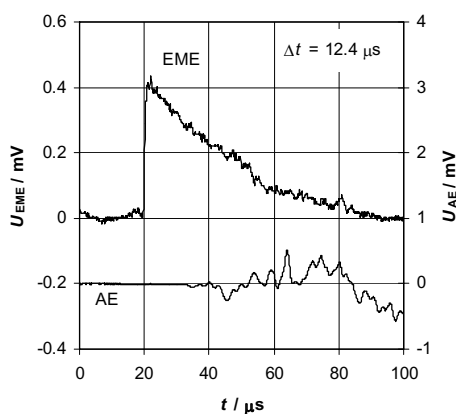
Pro studium časového průběhu tvorby trhlin jsou zajímavé signály EME. Na obr. 3 – 5 jsou uvedeny tři charakteristické typy průběhů. První typ se vyznačuje pouze prudkým nárůstem elektrického napětí, což odpovídá rychlému rozevření trhliny (obr. 3) a následným exponenciálním poklesem signálu EME, který odpovídá vybíjení měřicího kondenzátoru po rozevření trhliny. Druhý typ odpovídá rychlému rozevření trhliny s následným tlumeným kmitavým pohybem elektricky nabitých stěn trhliny (obr. 4). Třetí typ (obr. 5) je pravděpodobně způsoben rozkmitáním elektricky nabitých stěn otevřené trhliny vnějším

akustickým impulzem. Na obr. 6 je dále uveden velmi řídký případ generace dvou signálů, které zobrazují tvorbu dvou po sobě následujících trhlin v časovém odstupu asi 40 μs .

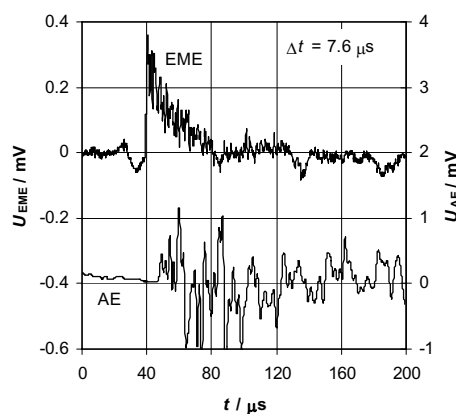
Jako další je snímán akustický signál, který je generován při tvorbě trhliny. V tomto experimentu byl využit jednak pro ověření, zda signál EME skutečně souvisí s tvorbou trhliny (je nutná existence obou signálů se zpožděným signálem AE), jednak byla sledována statistika dob zpoždění signálu AE za signálem EME. Histogramy tohoto zpoždění přináší informaci o rozložení oblastí zvýšené koncentrace mechanického napětí ve vzorku. Časová zpoždění leží v intervalu 6 μs – 15 μs , což odpovídá při hodnotě rychlosti šíření akustického vlnění 3925 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ vzdálenostem trhlin od snímače AE 20 mm – 60 mm.

Histogram četnosti časových zpoždění Δt je uveden na obr. 7. Rozdělení četnosti časových zpoždění Δt je přibližně symetrické kolem svislé osy vedené v čase 11 μs . Lze předpokládat, že oblasti se zvýšenou koncentrací napětí leží ve vzdálenosti 30 – 50 mm od snímače AE.

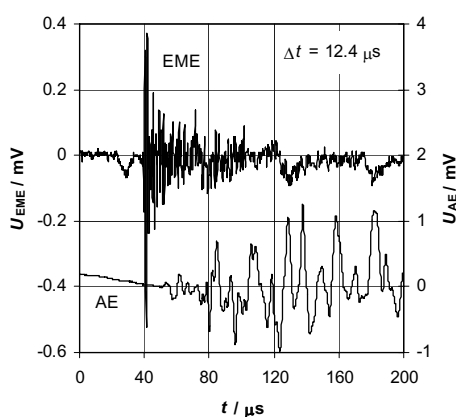
Uvedené experimentální výsledky jsou v dobrém souladu s teoretickým modelem [1].



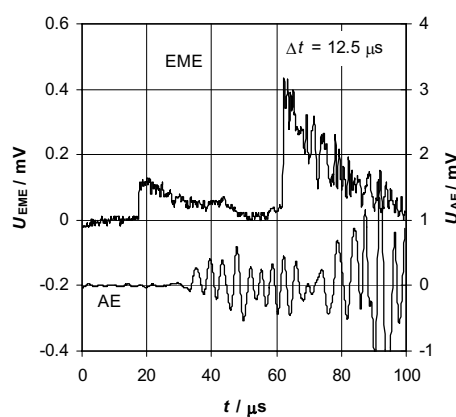
Obr. 3. Časové průběhy signálů EME a AE, vzorek b7.054, 1. typ.



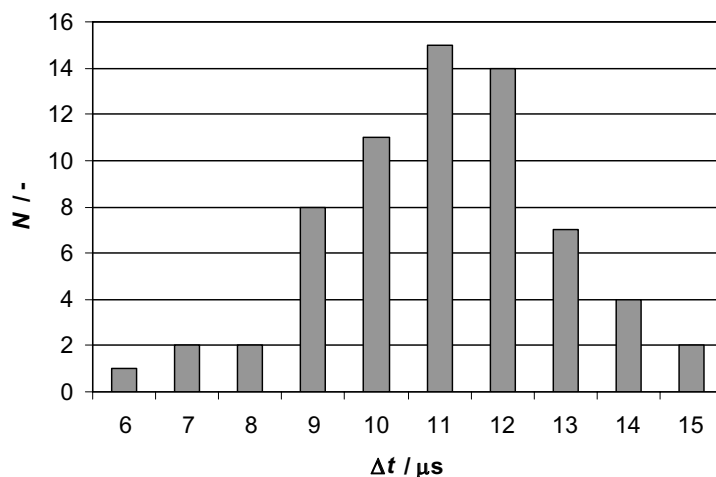
Obr. 4. Časové průběhy signálů EME a AE, vzorek b1.018, 2. typ.



Obr. 5. Časové průběhy signálů EME a AE, vzorek b1.028, 3. typ.



Obr. 6. Časové průběhy signálů EME a AE, vzorek b8.003.



Obr. 7. Histogram četností časového zpoždění signálu AE za signálem EME při namáhání vzorků tlakem.

6 ZÁVĚR

Použitá metoda současného snímání signálů EME a AE má proti stávajícím metodám využívajícím pouze signály akustické emise výhodu jednak v tom, že pomáhá určit okamžik vzniku trhliny vzhledem k počátku měřeného signálu AE, jednak podává informaci o časovém průběhu tvorby trhliny a charakteru pohybu jejích stěn. V předložené práci jsou experimentálně ověřeny výsledky modelování napětového pole v zatěžovaných betonových vzorcích pravoúhlého tvaru. Získané výsledky jsou v dobrém souladu s teorií.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla v souvislosti s řešením grantového projektu GAČR 103/06/0708 a dílčí části Výzkumného záměru MSM 0021630503 řešeného na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně.

LITERATURA

- [1] VESELÝ, V., FRANTÍK, P., KERŠNER, Z. *Analýza napjatosti a šíření trhlin ve zkušebních vzorcích pro měření poškození kvazikřehkého materiálu pomocí elektromagnetické emise*. In Sborník příspěvků mezinárodní konference Modelování v mechanice 2007, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, únor 2007, s. 1-2, ISBN 978-80-248-1330-1.

