

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ HLOUBKY TRHLIN STŘÍDAVOU POTENCIÁLOVOU METODOU

DESIGNING OF A DEVICE FOR CRACK DEPTH MEASURING USING ACPD METHOD

Jakub Mlnářík, Petr Chuchvalec a Jan Kec

SVÚM a.s.

Abstrakt

Potenciálová metoda se již desetiletí využívá zejména v mechanických zkušebnách pro měření rychlosti růstu trhlin. Během zkoušky prochází vzorkem stejnosměrný nebo střídavý proud. Trhliny a nehomogenity na vzorku způsobují nárůst lokálního odporu a tím větší úbytek napětí. Potenciálové metody jsou velmi vhodné k provozním aplikacím (přístroje pro měření hloubky trhlin, monitorování stability známých trhlin během provozu, měření tloušťky stěny...).

Ačkoli princip metod je relativně jednoduchý, reálná aplikace bývá spojena s různými obtížemi. Stejnosměrná metoda obvykle vyžaduje průchod velmi vysokých proudů a vyhodnocení bývá matematicky náročné, střídavá metoda je naopak náchylná k rušení a ke vzniku rušivé indukované složky v signálu. Většímu rozšíření potenciálových měření také brání vysoká cena komerčních produktů. Cílem naší práce je zhodnotit možnosti střídavé potenciálové metody pro stanovení hloubky trhlin a navrhnout levné zařízení pro laboratorní i provozní podmínky.

Abstract

Potential Drop (PD) techniques have been used for decades, especially in mechanical laboratories for monitoring crack growth. During the test AC/DC currents are injected in the specimen. Defects generally increases local resistance and hence the measured voltage drop. The PD techniques are also great for in field applications (devices for crack depth measuring, monitoring stability of a known crack during operation, long-term wall thickness measurement...).

However, while the principle underlying these techniques is relatively simple, some difficulties have been encountered in their practical applications. Many commercial systems based on PD methods, for instance, require the injection of very large currents in order to obtain sufficiently large signals, or have problems with stability, interferences and electrical noise... And commercial systems are nowadays very expensive. The aim of this work is to evaluate the capabilities of ACPD technique for crack sizing and design a simple and low-cost device for laboratory and also in-field crack measuring.

Úvod

Hlavní rozdíl mezi stejnosměrnou a střídavou metodou potenciálového měření je charakter rozložení proudu ve vzorku. Při průchodu stejnosměrného proudu platí, že proud prochází rovnoměrně celým průřezem vzorku (obr. 1). Střídavý proud vyvolává tzv. skin efekt, kdy jsou vlivem indukovaného magnetického pole elektrony vytlačovány od středu vzorku směrem k jeho povrchu. Hloubka skin efektu (tedy pomyslná slupka, kterou prochází elektrický proud) je závislá na frekvenci střídavého proudu. Hlavní výhody střídavé metody jsou:

- koncentrace proudu na povrchu vzorku (vyšší citlivost při nižších proudtech),
- lineární závislost úbytku napětí přes trhlínu na hloubce trhlíny ve velkém rozsahu,
- eliminace stejnosměrných rušivých složek (např. termoelektrické napětí).

Měřicí aparatura

Byla zrealizována pokusná měřicí aparatura pro základní seznámení se ACPD měřením hloubky trhlin (obr. 2). Střídavý budící proud je získán pomocí přeladitelného sinus generátoru se zesilovačem. Budící proud ve vzorku může ve špičkách dosahovat až 5 A. Měřený signál je zesílen v předzesilovači s nastavitelným ziskem. Po odfiltrování parazitních frekvencí je signál na A/D převodníku digitalizován a počítačově zpracován. Měření probíhá pulzně – proud prochází vzorkem jen krátkou dobu (max. 100 ms) během měření. Zařízení disponuje celkem 8 měřicími kanály. Vodiče k vedení budícího proudu a vodiče k měření potenciálového spádu jsou důsledně stíněny pro omezení parazitní indukované složky.

Měření na umělých trhlínách, únavová zkouška

Na plechu z uhlíkové oceli o tloušťce 10 mm byly vyfrézovány umělé trhliny o hloubce 1, 3, 4 a 5 mm v délkách 10, 20 a 30 mm. Pro měření potenciálového spádu byla zhotovena ruční příkládací sonda se 4 kontakty (obr. 2). Vnější kontakty slouží k zavedení el. proudu, vnitřní k měření úbytku napětí. Kontakty byly zhotoveny z pružinového drátu o průměru 0,3 mm. Sonda byla střídavě příkládána přes modelové trhliny a mimo trhliny pro stanovení referenčního stavu. Měření bylo provedeno při několika frekvencích.

Výsledky měření při jednotlivých frekvencích jsou na obr. 3 až obr. 7. V grafech je vyneseno poměr naměřeného úbytku napětí přes trhlinu / napětí mimo trhlinu v závislosti na hloubce umělé trhliny. U frekvencí do 100 a 500 kHz se v souladu s očekáváním příliš neprojevuje skin efekt, což se projevuje nelineární závislostí signálu na hloubce trhliny. Od frekvence 1000 Hz již tato závislost lineární je pro trhlinu o délce 30 mm. Kratší trhliny s větší hloubkou vykazují výraznou odchylku od lineárního chování. Elektrický proud se totiž nešíří jen příčně přes trhlinu do hloubky vzorku, ale částečně trhlinu obchází na povrchu. Tento nežádoucí proud roste s hloubkou trhliny a s klesající délkou trhliny.

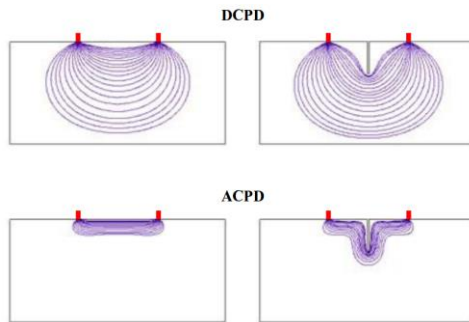
Na obr. 8 je znázorněna závislost odchylky od linearitu v závislosti na poměru hloubka/délka trhliny. Je zjevná podobná závislost pro všechny měřené frekvence. Závislost lze interpolovat např. polynomem 2. stupně.

Komerční příruční přístroje pro měření hloubky trhlin obvykle spoléhají na 1-2 bodovou kalibraci na kalibračním bloku a zanedbávají nelinearitu u krátkých trhlin. Pokud jsou tedy měřeny trhliny krátké, ale s velkou hloubkou, je výsledek zatížen značnou chybou a měřená hloubka trhliny je podhodnocena. V praxi bývá obvykle možné alespoň orientačně stanovit délku trhliny a tu zadat jako vstupní parametr, což při vhodné kalibraci výrazně zpřesní měřenou hodnotu.

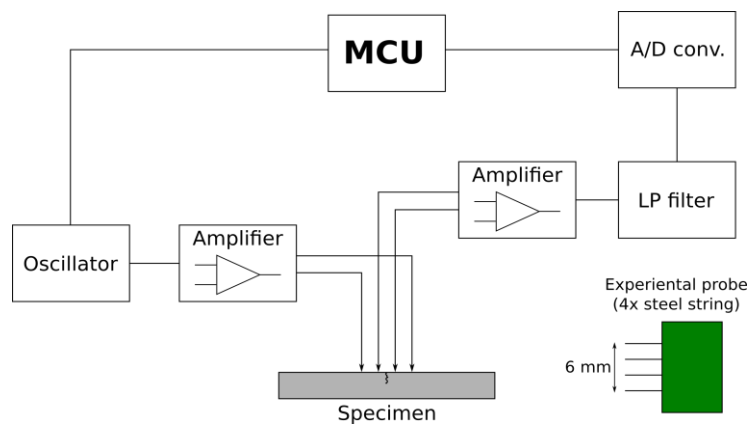
Dalším experimentem bylo měření růstu trhliny vzorku při únavové zkoušce (obr. 9). Cílem bylo cyklovat ostrou trhlinu dané hloubky pro další mechanickou zkoušku. Zkouška započala na vzorku s umělým vrubem 7,8 mm. Po počátečním rychlém nárůstu trhliny byla snížena frekvence cyklování (čas 200 s). V čase 580 s byl vzorek uvolněn (patrná relaxace) a znovu zatížen s jinou amplitudou cyklování. Po dosažení hloubky 11 mm byl vzorek demontován. Po doložení vzorku byla potvrzena shoda skutečné hloubky s naměřenými údaji.

Závěry

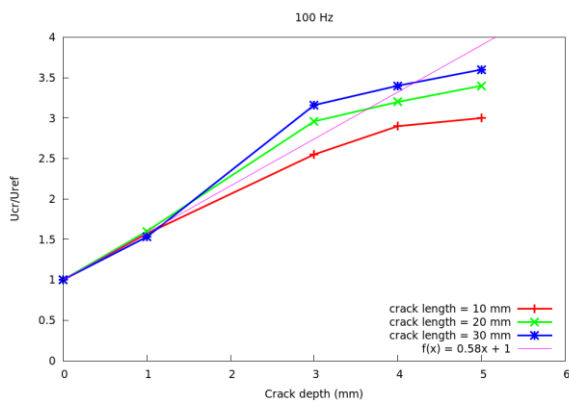
- Byla navržena a zrealizována experimentální aparatura pro měření metodou ACPD.
- Možnost kalibrace a reprodukovatelnost metody byla ověřena měřením na modelových trhlínách.
- Zařízení bylo prakticky využito při cyklování trhliny dané hloubky na únavovém stroji.



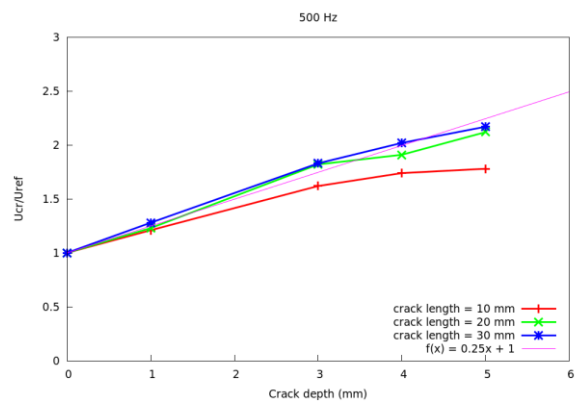
Obr. 1: Schematické porovnání elektrického pole při stejnosměrné a střídavé metodě



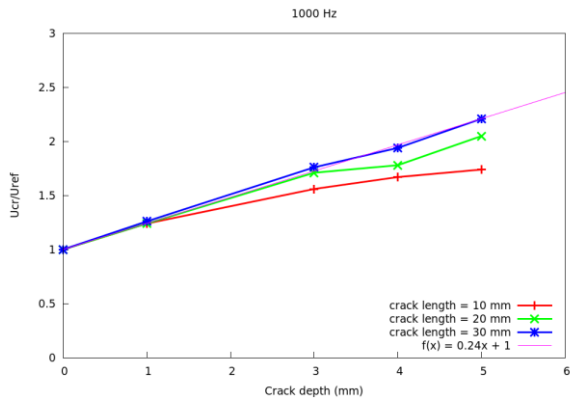
Obr. 2: Uspořádání experimentální měřicí aparatury



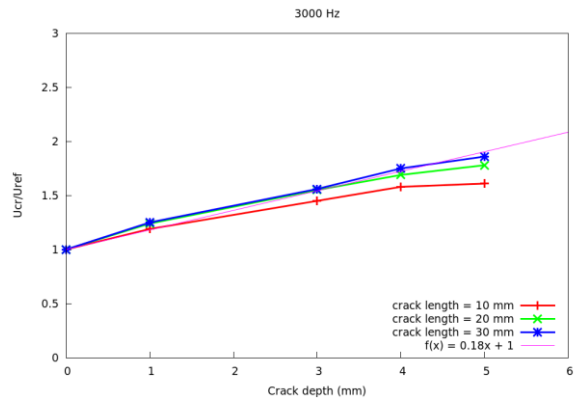
Obr. 3: Umělé trhliny – 100 Hz



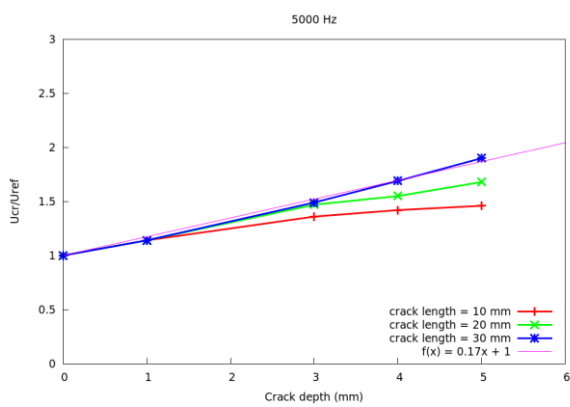
Obr. 4: Umělé trhliny – 500 Hz



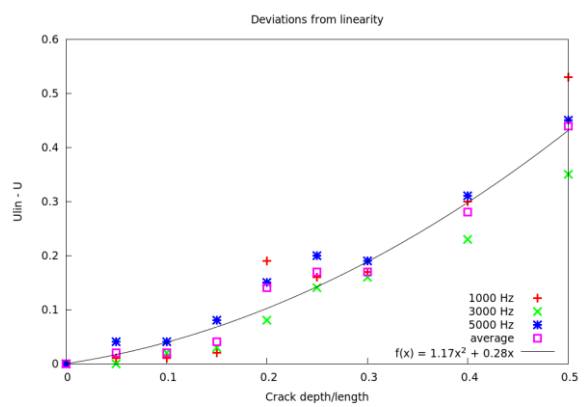
Obr. 5: Umělé trhliny – 1000 Hz



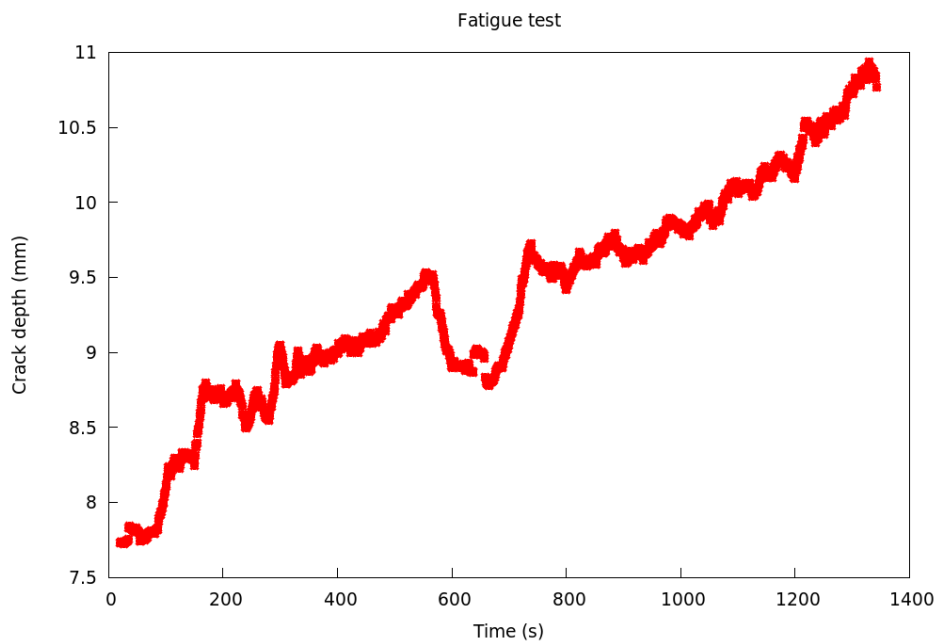
Obr. 6: Umělé trhliny – 3000 Hz



Obr. 7: Umělé trhliny – 5000 Hz



Obr. 8: Odchyly od linearity



Obr. 9: Růst trhliny při únavovém zatěžování