

Napěťové vlny v diagnostice porušování materiálů

Ing. F. Valeš, CSc., ÚTSSK ČSAV, Veleslavínova 11, 301 14 Plzeň

Kolektiv : Ing. P. Hora, CSc.

Ing. M. Koberna, CSc.

Ing. Š. Morávka

Ing. J. Pátek

Ing. P. Polesný, CSc. - všichni ÚTSSK:

Ing. J. Červ, CSc., ÚT ČSAV, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8

Príspevek zahrnuje doposud dosažené výsledky programu ČSAV č. 27007 z řešení nestacionární napjatosti při podélném rázu tlustých tyčí, příčně tlusté a tenké desky a vývoje nových snímačů posuvu řádu jednotek nm.

Úvod

Rozvoj většiny zdrojů porušování celistvosti materiálů je doprovázen rychlými změnami mikronapjatosti v blízkém okolí zdroje, které vyvolají vznik napěťových vln detekovatelných zpravidla na přístupném povrchu těles. Takto zaznamenaná odezva dává možnost určit polohu zdroje, resp. podrobnou analýzou této odezvy posoudit stupeň rozvoje procesu porušování. To je podstatou a cílem akustické emise (AE). Některé neúspěchy souvisejí se zjednodušujícími předpoklady. Uvedme předpoklad lokalizačních algoritmů (ve znění uvedeném v práci [1]) : "Akustický signál má tvar ideálního pulsu, šíří se ze zdroje současně všemi směry přímočaře konstantní rychlostí a bez útlumu". V praxi je tento předpoklad nereálný, jak bude dokumentováno dále uvedenými výsledky. Cílem popisovaných prací je ukázat, jak závisí odezva na povrchu těles na jejich tvaru a na poloze vyšetřovaného místa. Dalšími cíli je navrhnout prostředky především pro snímání příčných posuvů povrchů těles (řádově velikosti nm) s jednoznačnou vazbou mezi mechanickým bruzením a elektrickým signálem snímače a navrhnout metodiku hodnocení těchto signálů, která dovolí určit vlastnosti zdrojů těchto signálů.

Popis výsledků řešení

1. Příčně nestacionárně zatížená nekonečně rozlehlá deska

Byla řešena napjatost tlusté elastické desky nekonečně rozlehlé, zatížené na kruhové ploše jednoho líce desky rovnoměrně rozloženým příčným napětím, jehož časový průběh je dán skokovou funkcí.

Řešení vycházelo z pohybových rovnic lineárního trojrozměrného kontinua a byla provedena užitím metody separace proměnných (spolu s integrálními transformacemi). Numerickým vyhodnocením výsledných vztahů byly získány průběhy především příčných posuvů na površích desky, ukazujících závislost jejich tvaru na čase a na poloze místa na povrchu desky. Vybrané průběhy jsou

uvedeny na obr. 1 a obr. 2. Z obrázků je patrná velká závislost průběhů vertikálních posuvů u_z na zvoleném místě. Ve středu obrázků je vždy uvedeno schéma úlohy. Na obr. 1 jsou časové závislosti u_z na místech 1, 2, 3 a 4 na obou lících desky. Deska má tloušťku $2d$. Budící napětí působí na ploše o průměru $2h$. Časový bezrozměrný parametr je volen ve tvaru $c_1 t/d$, kde t značí čas. V obrázcích značí A okamžik přechodu čela dilatační vlny šířící se rychlostí c_1 , B značí okamžik příchodu čela smykové vlny šířící se rychlostí c_2 . Do okolí bodu B spadá ještě příchod čela vln šířících se rychlostí Rayleighových vln c_R (pro Poissonovo číslo $\mu=0,3$ platí $c_R = 0,93 c_2$). Z obrázků je patrná velká závislost tvaru průběhů na zvoleném místě. Zatímco u průběhu 1, 2 a 4 je za čelem dilatační vlny (bod A) velmi malý nárůst hodnoty u_z , je v případě 3 nárůst značný. Tento fakt znamená, že snímače umístěné v různých místech mohou podle své citlivosti reagovat buď na rychlost čela dilatační vlny (místo 3), anebo až později, až signál dosáhne vyšší úrovně (místa 1, 2 a 4) po přechodu čela smykové vlny nebo vlny o rychlosti c_R . Rovněž je vidět i různý tvar průběhů na povrchu, na kterém působí budící zatížení (místa 1, 2), proti průběhům na povrchu volném (místa 3, 4). Je tedy zcela zřejmé, že i v tomto modelovém, zjednodušeném případě jsou průběhy příčných posuvů velmi vzdálené od představy ideálního pulsu, uvažovaného v lokalizačních algoritmech aparatur AE. V obrázcích je patrné, že po odeznění přechodového jevu, odpovídajícího náhlému nárůstu budícího napětí (skoková funkce), jsou dále průběhy monotónní. Bude-li zatížení impulsní, potom se obdobně výraznými změnami projeví v průbězích i konec budícího zatížení.

Na obr. 2 je zobrazeno rozložení posuvů u_z na horním a spodním líci desky v závislosti na bezrozměrné souřadnici r/d pro časy, kdy čelo dilatační vlny dorazilo do míst 1 a 3 - $c_1 t/d = 1$ a do míst 3 a 4 - $c_1 t/d = 6$. Písmena A a B mají stejný význam jako v obr. 1. Z obrázků je patrná shoda charakteru průběhů na horním a dolním líci desky. Zatímco v místech 1 a 2 je za čelem A velmi nízká úroveň signálu, který v místě působení budícího napětí rychle roste, je nárůst hodnoty u_z na spodním líci daleko rychlejší při podstatně nižší úrovni maximální hodnoty. Pro místa 1 a 2 je ve zvětšení uveden tvar průběhu v okolí čela smykové vlny.

Dále byla řešena napjatost tenké desky a napjatost kruhového kotouče, pro posouzení jednak vlivu zjednodušujících předpokladů a dále pro posouzení vlivu geometrie. Kruhový kotouč byl zatížen na části obvodu radiálním tlakovým napětím se skokovým průběhem v čase a dále dopadem tyčového razníku. Odezva kotouče na dopad razníku byla počítána z experimentálně určené rázové síly a změřena novým typem snímače. Ukázala se dobrá shoda obou přístupů.

2. Podélný ráz tlustých polonekcečných tyčí

Úloha slouží k posouzení napjatosti těles vyvolané při rázovém zatížení a k ověření možností užití tyč konečného příčného rozměru jako zatěžovací razník řešený teorií tenkých tyčí. Z výsledků přesného řešení, řešení jednorozměrného a experimentálního plyne, že i velmi štíhlý razník ($3,5$ mm, délka 250 mm) má ještě velmi daleko k chování podle jednorozměrné teorie - viz obr. 3. Zde je

průběh osového napětí tyče na jejím povrchu počítaný podle přesné teorie pro podélný ráz polonekonečných tyčí průměru $2a$ v místě, kde je na razník nalepen polovodičový tenzometr. Podle jednorozměrné teorie je průběh dán plnou čarou skokového průběhu, zatímco podle přesné teorie je průběh dán tečkovanou čarou. Experimentálně ověřené osově napětí má tvar čela obdobný jako přesné řešení. Z dalšího průběhu dává pouze střední hodnotu bez výrazných špiček, které nelze užitou experimentální technikou zachytit (odporový tenzometr).

3. Snímače

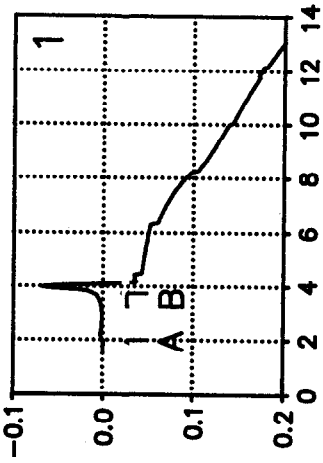
Vyvinuté snímače jsou určeny pro snímání příčných posuvů velikosti nm ve frekvenčním rozsahu od několika kHz do 1 MHz s velmi dobrou shodou tvaru elektrického signálu a mechanickým buzením. Je to jednak snímač s kuželíkovým piezoelektrickým aktivním členem (schema viz obr. 4) a laserový interferometr užívající princip Michelsonova interferometru, který je určen k absolutnímu měření příčných posuvů povrchů. Užitím polovodičového laseru je tento přístroj velmi kompaktní a relativně malý. V současném provedení je určen pro laboratorní měření.

Závěr

V příspěvku jsou uvedeny některé výsledky z oblasti výpočtů nestacionární napjatosti a vývoje nových typů snímačů. Tyto a další výsledky jsou nutným základem pro vypracování zpřesněných metodik užívaných pro hodnocení rozvoje procesu porušování materiálů. Uvedená řešení užívají některých zjednodušujících předpokladů a jsou proto prvním stupněm řešení celé problematiky.

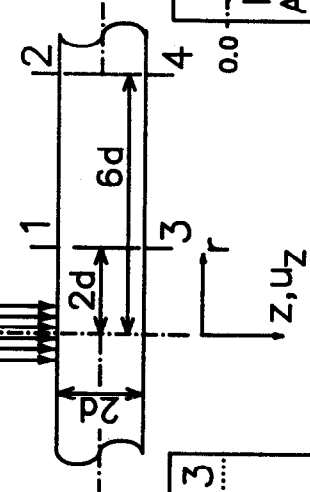
Literatura

- [1] Jonák F., Merta J., Svoboda V.: Geometrická přesnost a jednoznačnost lokalizace akustických zdrojů v rovině. Sigma Modřany, 1978

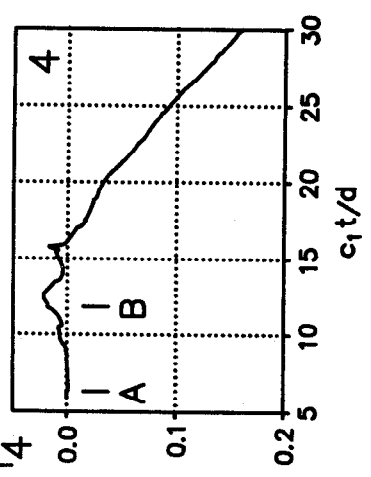
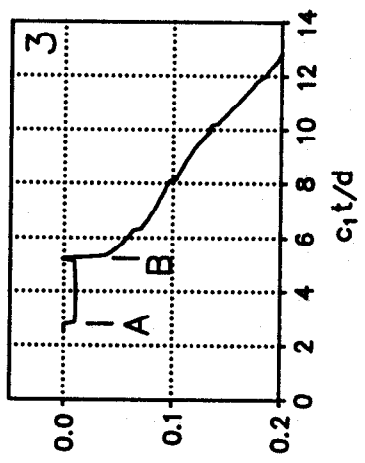
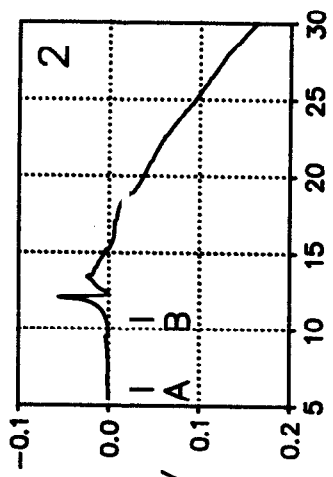


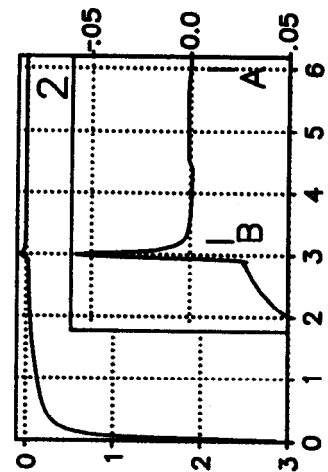
Vertikální
posuv u_z
časové průběhy

$\phi 2h$
 $h/d=0,05$

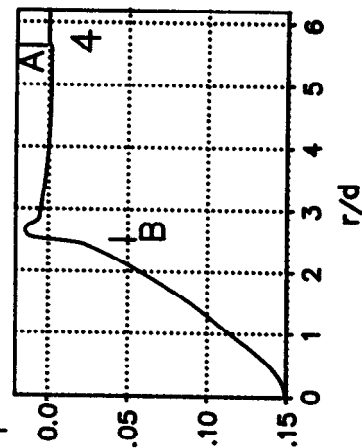
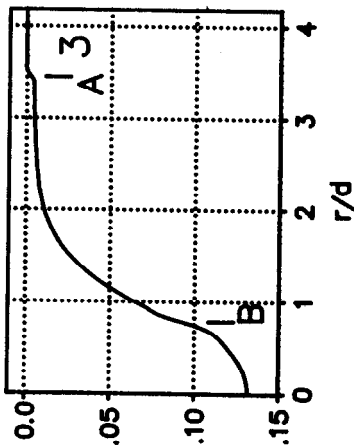
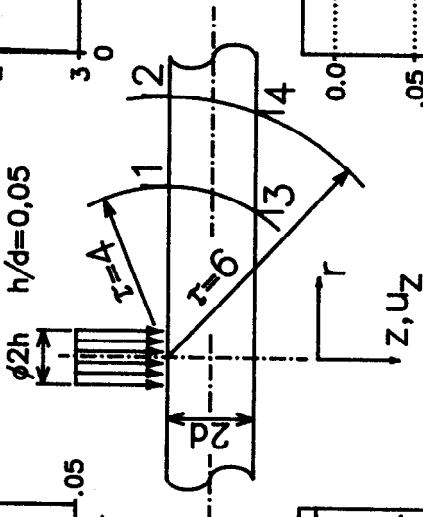
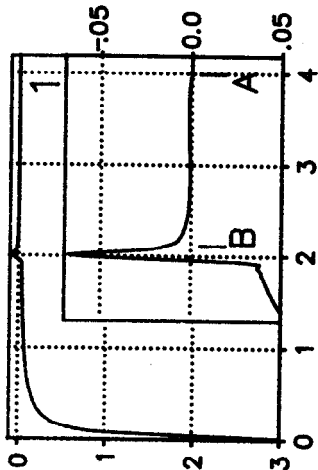


$c_1 t/d$ - normovaný čas
 c_1 - fázová rychlost
dilatací vln





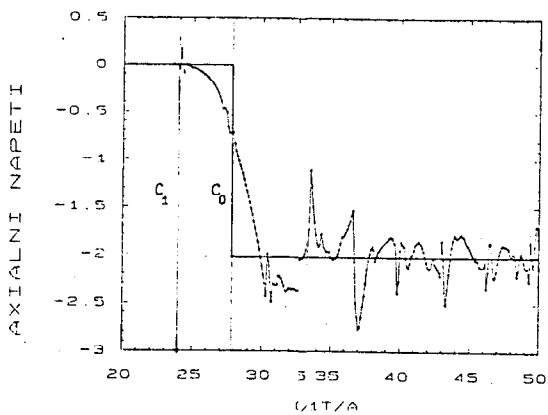
Vertikálný
posuv u_z
radialný rezy



$r = c_1 t / d$ - normovaný čas

c_1 - fázová rýchlosť
diffrakčných vln

obr. 3



obr. 4

