



Experimentální technika AE a její využití k vyhodnocování povrchových vlastností textilií

Lubomír SODOMKA, TUL Liberec, lubomír.sodomka@volny.cz
Jan VALÍČEK, Milena KUŠNEROVÁ, VŠB Ostrava

Abstrakt

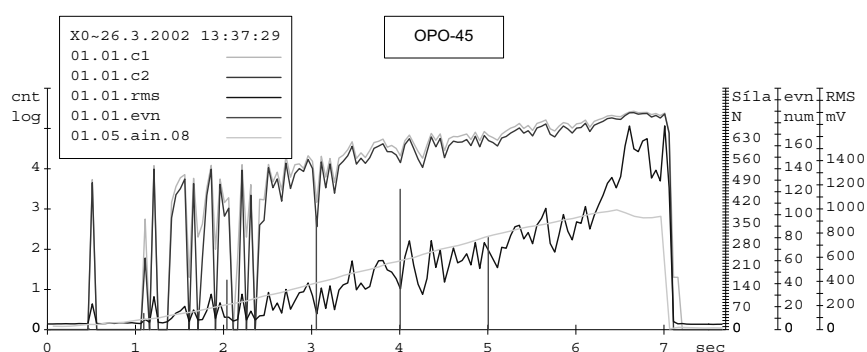
V příspěvku jsou diskutovány možnosti určování energie AE událostí za využití konvoluce a dekonvoluce a možnosti určování autoheze a adsorpce vláken v textiliích a jejich součinitelů tření ve vláknech, přízích, tkaninách a rouninách.

O studium mechanických vlastností materiálů je velký zájem ve všech oblastech materiálů, a tedy i v textilních materiálech. Většina zkoušek mechanických vlastností se provádí na dynamometrech např. k měření modulu v tahu E a modulu všestranové stlačitelnosti K. Pro měření modulu ve smyku vláken se s výhodou využívá torzní kyvadlo [1]. Horší je to s modulem ve smyku G plošných textilií. I když je možné modul G měřit na jednom modulu KES [2], je měření omezeno pouze na lehké oděvní materiály. V poslední době se ukázala možnost měření modulu G i na dynamometrech [3]. Při těchto měřeních jde hlavně o měření veličin kontinua. Vedle těchto projevů, dochází v materiálech při jejich namáhání k projevům jemnějším, vytvářející napěťové elastické vlny, které je možné snímat na povrchu zařízení. Jde o emise napěťových vln (ENV), akustickou emisi (AE) nebo též fononovou emisi (FE). ENV (AE) skýtá informace o dějích probíhajících uvnitř materiálů během jejich namáhání. Zdroji AE jsou nehomogenity v materiálech s pnutím, případně poruchy [4]. Soudobá technika AE umožňuje zjišťovat zdroje s energetickým ekvivalentem 1000 dislokací a větším [5], [6]. Uvážíme-li odhad energie dislokace délky 10^{-5} až 10^{-3} mm na $4 \cdot (10^{-18}$ až $10^{-16})$ J, pak z učení energie jedné AE události, lze určovat dislokační ekvivalent AE zdroje napětí. Užitím AE je možné určovat jako zdroje AE napětí tyto útvary v materiálech:

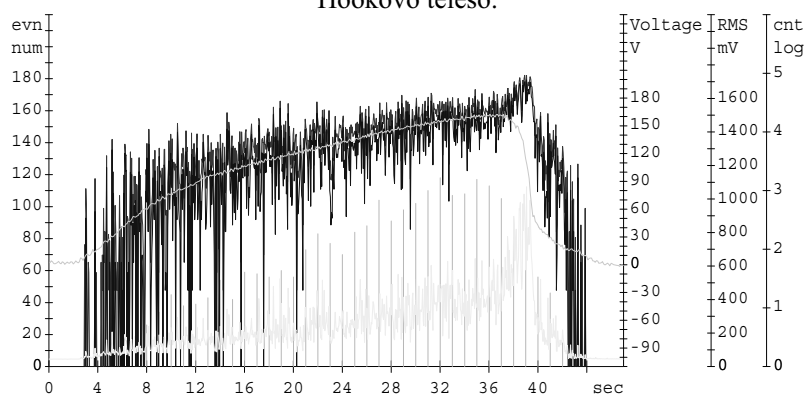
Zdroj AE	energie v J
Zdroj dislokací Franka-Reada	$> 4 \cdot 10^{-18}$
Vznik mikrotrhliny	10^{-12} až 10^{-10}
Plastická deformace objemu	
o rozměru 0,1 mm	10^{-4}
Zánik dvojčete o objemu ~ 1 mm ³	10^{-3} až 10^{-2}
Energie tepelných šumů	$4,2 \cdot 10^{-21}$ J/Hz

Energie vzniká rozrušením kohezních vazeb materiálu. Je zajímavé, že AE energie při namáhání textilií dává energetické spektrum srovnatelné s energiemi vzniku mikrotrhlinek. Tuto skutečnost lze vyložit třením vláken o sebe za vzniku a přerušování autohezních a adsorpčních vazeb mezi vlákny. Dává tedy AE možnost určovat i takové energie.

Příklady AE spektrogramů dvou typů textilií tkaniny a rouniny (netkané textilie) jsou na obr.1 a obr.2

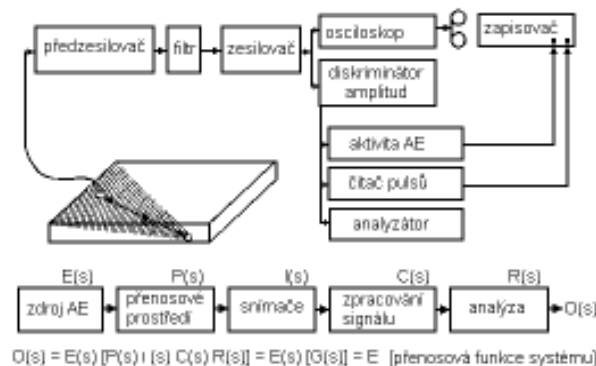


Obr.1 AE spektrum tkaniny namáhané ve směru 45° . Křivka namáhání je přímka. Textilie je Hookovo těleso.



Obr.2 AE spektrogram rouniny Tatrutex 200 namáhané v podélném směru. Jde o těleso Voigtovo-Kelvinovo

Spektrum AE je pro každou textilií charakteristické a lze ji jeho pomocí identifikovat [7]. Při ENV (AE) jde o vznik elastického napětového vlnění v určitém místě materiálu, kde došlo k soustředění velkého napětí, působením buď vnějšího působení nebo i vnitřním pnutím v materiálu. Z místa vzniku se šíří vlnění materiálem, aby se uvolnilo na jeho povrchu, kde je možné je již snímat citlivými senzory v podobě pulsů. Zachycený signál se dále zpracovává, analyzuje, aby bylo možné určit původ a kvalitu zdroje vlnění. Celý postup zajišťuje experimentální technika sestávající z citlivého snímače napětových vln, z něhož se přenáší zachycený signál, kde dochází k jeho záznamu a dále pak k statistickému zpracování velkého množství emisních signálů (pulsů), AE událostí. Celkové uspořádání snímání a zpracování AE je na obr.3.



Obr.3. Podstata vzniku a snímání AE

Senzor napětového vlnění se umístí na povrch materiálu. Kabelem se vedou pulsy AE událostí do předzesilovače přes filtr do zesilovače k záznamu na osciloskop a k elektronickému (počítačovému) zpracování. Označíme-li skutečný průběh napětové vlny AE zdroje $E(s)$, postupuje tento puls přenosovým prostředím a v něm dojde k modulaci pulsu prostředím $P(s)$ a další modulaci snímačem $I(s)$, při zpracování signálu $C(s)$ a při analýze signálu je dále modulován veličinou $R(s)$. Na výstupu je pak zaznamenán signál $O(s)$, pro který lze napsat formálně vztah ve tvaru součinu

$$O(s) = E(s) P(s) I(s) C(s) R(s) = G(s)E(s), \quad G(s) = P(s) I(s) C(s) R(s) \quad (1)$$

V němž $G(s)$ představuje přenosovou funkci, kterou je možné určovat experimentálně kalibrací. Vztah (1) platí pouze pro okamžité hodnoty v daném okamžiku (s). Vztah (1) je možné zobecnit užitím konvoluce místo pouhého součinu.

4.1 Konvoluce

Poněvadž konvoluce je důležitou matematickou operací při zpracovávání signálů a zvláště pak AE signálů, bude se tento článek zabývat definicí, vlastnostmi a využitím konvoluce při vyhodnocování AE záznamů.

Konvoluce dvou funkcí f a g označovaná $f * g$ je definovaná jako integrál součinu dvou funkcí z nichž jedna otočena kolem vertikální osy a posunuta je zvláštním druhem integrální transformace, takže

$$f * g (t) = \int_a^b f(\tau) g(t - \tau) d\tau \quad (2)$$

Integrace se provádí v oblasti, kde jsou obě funkce definované. Často bývá $a = -\infty$, $b = +\infty$. I když proměnná t je pro AE čas, nemusí tomu tak být vždy. Je-li integrační obor konečný, lze jej rozšířit do nekonečna periodickým rozšířením v oběma směrech a vytvořit tak periodickou oblast integrace, a konvoluce se pak nazývá cyklická, kruhová nebo periodická konvoluce. Konvoluce se počítá užitím rychlé konvoluce (FC) užitím algoritmu rychlé Fourierovy transformace (FFT, fast Fourier transform) na obě funkce užitím konvolučního teorému (viz poslední ze vztahu (3) ,

jejich vynásobením a vypočtem inverzní FTT tj. IFFT. K obecnému řešení problému (1) je třeba znát vlastnosti konvoluce, které shrneme do následujících vztahů.

Vlastnosti konvoluce

komutativnost : $f * g = g * f$, **asociativnost** : $f * (g * h) = (f * g) * h$ (3)

distributivnost: $f * (g / h) = (f * g) / (f * h)$ **prvek identity (jednotkový)** $f * \delta = \delta * f = f$
kde δ označuje Diracovu δ - funkci.

asociativnost při skalárním násobení : $a (f * g) = (af) * g = f * (ag)$

derivační pravidlo:

$D(f * g) = Df * g = f * Dg$ **konvoluční teorém** : $F(f * g) = k | F(f) | \cdot | F(g) |$

kde F představuje operátor Fourierovy transformace.

Chceme-li zpracovat výsledný signál podle (4.1) užitím konvoluce, vytvoříme konvoluce dvojic časových funkcí $P * I = U$ a $C * R = W$. **Z nich pak konvoluci $U * W = G$, kterou nazýváme přenosová konvoluce.** Pro konvoluci výsledného signálu O dostaneme

$$O(t) = E * G(t) \quad (4)$$

Časový průběh výsledného signálu $O(t)$ zjistíme experimentálně z AE spektra a skutečný napěťový signál $E(t)$ lze vyřešit v podstatě užitím rovnice (4), určíme-li přenosovou funkci $G(t)$. Ta je určena modulací signálu zdroje z šíření prostředím, snímačem a vyhodnocovacím zařízením (viz (1)) . K určení průběhu mechanického napětí vystupujícího ze zdroje, je nutné řešit rovnici (4). Z průběhu $E(t)$ je pak možné usuzovat i na podstatu AE zdroje.

Měřené AE vlnění jsou výsledkem konvoluce tří jevů generátoru vlnění AE zdrojů, modulací materiálem šíření a záznamovou soustavou (viz (1)). Příslušný výsledný matematický model pro napětí záznamu AE pulsu je vyjádřen podle [4] vztahem (5):

$$U(t) = \iint_{S_T} E_{jk}(t') P_{ij,k}(r, r_0, t'-t'') I(r, t-t'') dr dt'' \quad (5)$$

$U(t)$ je puls výstupního elektrického napětí, r' označuje polohu zdroje uvnitř materiálu, r je poloha snímače na povrchu vzorku, S_T je plocha snímače.

4.2 Signál zdroje, dekonvoluce

Dekonvoluce je matematické řešení užívané k určení zdrojového napěťového signálu $E(t)$ z pozorovaného signálu $O(t)$ užitím vztahu (4). Funkce $G(t)$ představuje přenosovou funkci, která závisí na prostředí šíření signálu a modulačních veličinách snímací soustavy. Známe-li přenosovou funkci nebo minimálně její tvar je možné již určit dekonvoluci průběh mechanického napětí zdroje AE. Je-li předem přenosová funkce neznámá, je třeba ji alespoň odhadnout. To se většinou provádí metodou statistického odhadu. Podrobnosti je nutné hledat v literatuře např. v [8], [9] .

Přenosovou funkci lze přibližně určit cejchováním. V místě vzorku vybudíme elastické vlnění zdrojem o známém průběhu vlnění. Tím známe $E(t)$ a s jeho záznamem i $O(t)$. Podílem $O(t)/E(t)$ určíme přibližně průběh přenosové funkce $G(t)$.

Při využívání AE se spokojujeme obvykle s veličinami získanými z experimentálního měření (viz [10]).

Průběhy vlnění v AE zdrojích lze určovat nezávisle i jinými metodami.

K určení absolutní hodnoty energie AE události je nutné určit přenosovou funkci, což je možné provést užitím kalibrace zařízení např. kalibrátorem AECAL2 (obr.4)



Obr.4 Kalibrátor AECAL 2

Teprve po určení přenosové funkce, je možné určovat energii události a z ní pak i kohezní, adhezní a adsorbční energie vazeb molekul k povrchu. Zvláště zajímavé a perspektivní je pak určování z AE spekter (obr.2) autohezní energií vláken v rouninách a z nich pak i odhadovat jejich mechanické vlastnosti.

Literatura

- [1] Sodomka,L.: Uhlíková vlákna.
- [2] Sodomka,L., Dudíková,M.: Několik poznámek k využití KES soustavy. Postoupeno redakci Vlákná a textil 2007
- [3] Sodomka,L., et al.: Měření G plošných materiálů
- [4] Sodomka,L.,Fiala,J.: Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi 1, Adhesiv Liberec 2003, kap.2, str.95
- [5] Ivanov,V.I., Belov,B.,M.: Akustikoemissionyj kontrol zvariki i svarnych sojediněnij. Moskva mašinostrojenie 1981, str.79
- [6] Broch,J.T.: Mechanical vibration and shock measurements. Brüel & Kjaer ,Denmark 1984, str.220,222
- [7] Sodomka,L., Valíček,J: Application of acoustic emission (ae,swe) to the diagnostics of mechanical properties of textile fabrics. Sborník Strutex 12. mezinárodní konference 2005, str.193
- Sodomka,L., Valíček,J: Využití akustické emise k hodnocení mechanických vlastností materiálů. Sborník příspěvků Defektoskopie 2005, Znojmo 2005, str.221
- Sodomka,L.: Application of acoustic emission to the evaluation of mechanical properties of textile fabrics. Fibers and textiles
- Sodomka,L.: Akustická emise jako citlivá diagnostika textilií. Sborník 9. mezinárodní konference Strutex 2002, str.441
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/convolution>
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/deconvolution>
- [10] Sodomka,L.: Emise napěťových vln (ENV) (akustická emise, AE, fononová emise, FE) Adhesiv Liberec 2008 v rukopise.

