

ZOBRAZENÍ NAPĚTÍ A DEFORMACE S VYUŽITÍM AE

M. Černý, P. Mazal, J. Filípek

Došlo: 10. listopadu 2004

Abstract

ČERNÝ, M., MAZAL, P., FILÍPEK, J.: *Visualization of stress and deformation with use of AE*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2005, LIII, No. 2, pp. 63-74

The work is focused on the use of acoustic emission (AE) in technical practice. AE is a relatively new non-destructive experiment method, which is broadly developing mainly at the end of 20th and beginning of 21st century. The aim of the work is to monitor stress and strain initiation area until yield point. The yield point is a final stress-strain limit for machine parts application. Actual $\sigma - \varepsilon$ state should be detected by material acoustic response. It enables determining of machine usable life. Uniaxial tensile test has been performed to achieve this goal. By use of AE method, the whole A2 screw deformation, all the way to breakdown, has been observed. The record from AE has been compared with force-time ($F - t$) record. In order of completeness the record has been also compared with another screw types – ČSN 021143.50. **The comparison clearly confirmed the conclusion about acoustic activity in connecting element – screw.**

deformation of screws, uniaxial test, acoustic emission, mechanical properties, stress, strain

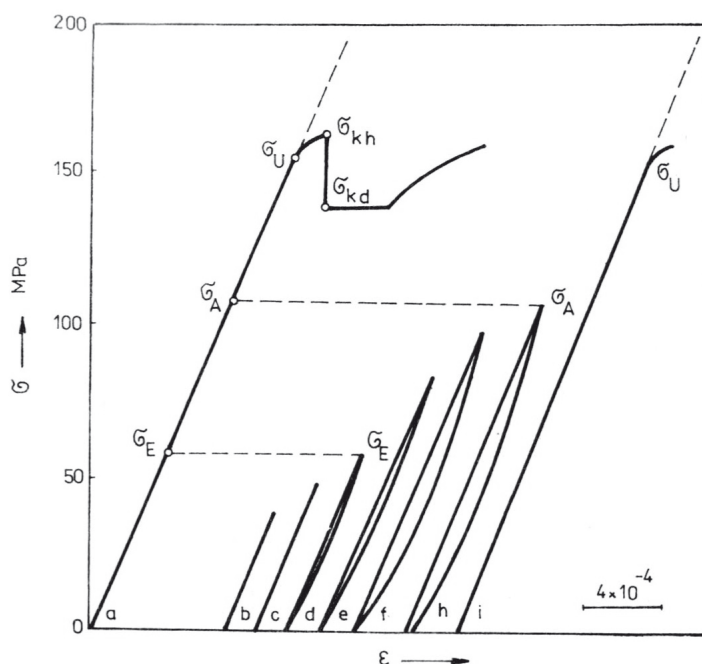
Kontrola – inspekce časově přesně rozvržená a dodržovaná, je předpokladem optimální životnosti a spolehlivosti. Strojní zařízení mají mnoho užitných vlastností (výkonnost, funkčnost, vzhled ap.), které se dále dělí do dalších podskupin. K nejvýznamnějším vlastnostem patří bezpochyby plná provozní funkčnost konstrukce, kterou lze ovlivnit hlavně z pohledu zachování pevnostních charakteristik, tj. zamezení přechodu mezního stavu pružnosti součásti na pružně-plastický stav. Konstrukční celky, to jsou i jednotlivá spojení (svary, šrouby, nýty), které jsou rovněž zatěžovány výslednými vnějšími účinky, a které jsou v rámci výpočtů únosnosti počítány a navrhovány s ohledem právě na funkčnost konstrukce (součinitel bezpečnosti). Z toho vychází i kontrola deformačních charakteristik metodami destruktivního a nedestruktivního zkoušení (metalografie, ultrazvuk, prozařování, apod.). Snaha o začlenění znalosti hodnoty meze kluzu do podvědomí techniků jako rozhodujícího napětového stavu strojních součástí je zdůrazňována

hlavně z hlediska normativní integrace v rámci Evropské unie. Možnost doplnění uceleného pohledu na stav napjatosti skýtá aplikace nové nedestruktivní metody zkoušení – metody akustické emise (AE). Její využití umožňuje zjišťovat projev výsledných vnitřních účinků v synergii se stavem mikrostruktury reálné strojní součásti. Právě určení ingerence napětí v polygonálním konstrukčním materiálu na rozvoj plastické deformace je z hlediska vzniku napětových vln, emitovaných při pohybu dislokací, významným cílem měření akustických signálů. Podstata a možnosti měřící metody AE, stručný popis zdrojů napětových vln v materiálu, součástech i konstrukcích musí být diskutovány z hlediska monitoringu emisních událostí, zachycení četnosti signálů, jejich intenzit, frekvence, tvaru vln, překmitů přes nastavené hladiny. Problematika rozvoje deformace (elastické i plastické) musí být podchycena z pohledu reálné struktury krystalických materiálů. Největší přínos lze spatřovat v rozvoji modelů zpevňování a teorie mikrodeformace.

Mikroplastická deformace

Mikroplastická deformace je přetvořením materiálu menší než 1 %, často lokalizovanou do oblasti s lineárním rozměrem 10^{-4} až 10^{-6} m. Označení některých významných mezí v diagramu závislosti napětí (σ) deformace (ε), např. pro případ technického železa (Armstrong, 1970), je na Obr. 1. Přesný záznam závislosti $\sigma - \varepsilon$ umožňuje na části křivky napětí-deformace (Obr. 1., křivka a) získat důležité body metodou postupně vzrůstajícího zatížení a následného odlehčení. Pro zatížení odpovídající pokusu b, c se po odlehčení tělesa vrátí do původního stavu tak, že stou-

pající a klesající část závislosti $\sigma - \varepsilon$ se ztotožní. Po dosažení napětí odpovídajícímu σ_E (Obr. 1, křivka d) je klesající část závislosti $\sigma - \varepsilon$ odlišná od stoupající, i když konečný stav deformace v tělese je nulový. Další zvýšení zatížení (Obr. 1., křivka e, f) se projeví ve zvětšování plochy mezi stoupající a klesající částí závislosti $\sigma - \varepsilon$, i když po odlehčení je $\varepsilon = 0$. Po dosažení napětí σ_A a následném odlehčení tělesa je $\varepsilon > 0$. Překročení napětí σ_U zapříčiní reálný odklon závislosti od lineárního průběhu $\sigma - \varepsilon$ a při dalším zvýšení napětí se projeví mez kluzu materiálu, s označením $\sigma_K \sim R_e$.



1: Charakteristický záznam závislosti $\sigma - \varepsilon$

Mez elasticity σ_E je konvenčně definována jako třecí napětí, tj. napětí potřebné na vyvolání posunu nejpohyblivějších dislokací (hranových segmentů) přes překážky s krátkým dosahem. Hodnota σ_E je dodnes těžko měřitelná. Mez anelasticity σ_A je konvenčně definována (Jaswon, 1964) jako skutečné napětí, určené prvními nereverzibilními procesy, přičemž se uplatňuje rozdílná pohyblivost hranových a šroubových segmentů v dislokaci. Technická mez pružnosti σ_{TP} je konvenčně definována jako napětí, které vyvolá v materiálu zvolenou nevratnou deformaci. Mez kluzu σ_K je napětí, při kterém se nevratně přemísťuje skupina dislokací a uskutečňuje se malá, ale už dobře měřitelná plastická deformace tělesa. Jevy a procesy probíhající v materiálu při zatěžování právě až do meze

kluzu konvenčně označujeme jako mikroplastické. Mikroplastická deformace je proces charakterizovaný heterogenitou a lokalizací, přičemž se uplatňuje anizotropie vlastností v zrnech, případně v celém objemu polykrystalické látky, ale i strukturní stejnorodost, venkovní a vnitřní faktory procesu, apod.

Při vzrůstu venkovního napětí vzrůstá počet zrn, ve kterých probíhá plastická deformace. Postupně klesá délka, na které se pohybují dislokace a vzrůstá jejich hustota nebo dislokační nahromadění v zrnech, jenž se začaly deformovat při nižších napětích. V těchto zrnech, v blízkosti hranic zrn, vznikají nakupení dislokací, která vytvoří v sousedních, doposud nedeformovaných zrnech koncentraci napětí a tím v nich indukují plastickou deformaci. Tyto procesy

představují první stadium mikroplastické deformace. Po dosažení jisté velikosti venkovního zatížení ve všech zrnech v libovolně zvoleném průřezu proběhne plastická deformace, přestanou se tvořit tzv. Lüdersovy pásy a začíná přechod k makroplastické deformaci. Proces tvorby Lüdersových pásů se konvenčně označuje jako druhé stadium mikroplastičnosti materiálu. Deformace je již viditelná – mění se celkový tvar součásti, která tak ztrácí funkčnost.

Akustická emise

Technika akustické emise (AE) je zařazena mezi metody nedestruktivního zkoušení materiálu. V průmyslově vyspělých zemích je metoda částečně standardizována a je plně akceptována certifikačními úřady i uživateli. Také v ČR již existuje základní standard pro měření a vyhodnocování signálů AE.

Pod pojmem akustická emise rozumíme vznik transičních napětíových vln v důsledku náhlého uvolnění energie uvnitř materiálu. Detekce a registrace těchto vln, spolu s lokalizací zdrojů a jejich přiřazením konkrétnímu fyzikálnímu procesu, tvoří náplň metody AE.

Výzkum AE s ohledem na studium vlastností materiálu lze rozdělit do tří oblastí:

1. Fyzikální interpretace jednotlivých zdrojů AE, frekvenční a amplitudové charakteristiky uvolňovaných napětíových vln za daných vnějších podmínek
2. Šíření uvolněných vln napětí v tělesech konečných rozměrů
3. Detekce těchto napětíových vln a jejich další analýza.

Signál získaný při detekci AE obvykle charakterizujeme počtem napětíových vln o určitém rozsahu amplitudy uvolněných za jednotku času. Tato veličina definuje rychlost akustické emise. Dle charakteru signálu AE mluvíme o dvou základních typech:

1. Spojitá AE (Continuous emission) – o vysoké frekvenci výskytu jednotlivých signálů AE s poměrně malou amplitudou
2. Bouřlivá AE (Burst emission) – náhodně se vyskytující signály s poměrně velkou amplitudou.

Na základě dosud převažujících experimentů jsou známy základní emisní projevy, které jsou shrnuty v Tab. I. Samozřejmě, reálný signál AE vždy představuje integrální vliv řady zde uvedených faktorů.

I: Základní typy emisních projevů

Spojitá AE	Bouřlivá AE
Malý rozměr zkušební tělesa	Velký rozměr zkušební tělesa
Hladké zkušební vzorky	Vzorky s vrubem
Izotropní materiál	Anizotropní materiál
Homogenní materiál	Nehomogenní materiál
Jemnozrnný materiál	Hrubozrnný materiál
Tvářený materiál	Materiál v litém stavu
Nízká pevnost materiálu	Vysokopevné materiály
Nízká deformační rychlost	Vysoká deformační rychlost
Deformace kluzem	Deformace dvojčatěním
Vysoké teploty	Nízké teploty
Difúzní typy fázových přeměn	Martenzitické přeměny
	Štěpné lomy
	Šíření trhlin

Dislokační pohyb a akustická emise

V literatuře je navržen model rozložení dislokačních smyček v inverzním prostoru smyčka – délka. Dané rozložení je úměrné rozložení signálů AE v závislosti na velikosti deformace. V elastickém stavu je

rozložení AE symetrické. Pro vyšší hodnoty deformace dochází k asymetrii. Tato asymetrie je interpretována pomocí vzájemných interakcí dislokací. Z toho je zřejmé, že základní příčinou AE je působení rychlých dislokačních zdrojů. Rozložení rychlosti AE od-

povídá vztahu pro hustotu pohyblivých dislokací ρ jako funkci deformace ε_p určenému na základě Gilmanova modelu ve tvaru:

$$\rho(\varepsilon_p) = m \varepsilon_p e - \varnothing \varepsilon_p,$$

kde: m , e jsou materiálové charakteristiky, $\varnothing = n/\rho_s$, n je koeficient zpevnění a ρ_s je smykové napětí.

Známe-li hodnotu ε_p , pro kterou $d\rho/d\varepsilon_p = 0$, lze z charakteristiky AE určit koeficient zpevnění.

Hustota pohyblivých dislokací souvisí s deformací, neboli jejich pohyblivost souvisí s rychlostí deformace materiálu (Dušek, Buchar, 1974).

AE je spojována s dynamikou dislokačního pohybu. Zaznamenává pohyby dislokací v elastické oblasti zatěžování, což by při vyšší citlivosti metody dovolovalo možnost přímého sledování pohyblivosti dislokací. Výhodou AE je, že může sledovat pohyb dislokací během zatěžovacího procesu, na rozdíl od metod elektronové mikroskopie.

Studium jednotlivých interakcí mřížkových poruch pomocí AE je podmíněno možností detekovat napětové pulsy (vlny) vyšších frekvencí (> 1 MHz). V průběhu plastické deformace jsou emitovány transiční napětové vlny. Jejich frekvence se v oblasti procesu plastické deformace pohybuje v řádu 10^6 Hz, v procesu porušování od 10^5 do 10^4 Hz. Napětové vlny se šíří tělesem (např. zkušebním vzorkem, konstrukcí ap.) od místa zdroje na volný povrch, kde jsou snímány kontaktními snímači. Amplituda pohybu volného povrchu je velmi malá, pohybuje se od 10^{-12} do 10^{-5} m. Nejčastěji se používá piezoelektrických měničů, které mění mechanické kmity na elektrické. Snímače tohoto typu mají dostatečnou citlivost a frekvenční rozsah do 10^5 Hz, výjimečně do 10^6 Hz.

Signál je nutno zesílit nejprve nízkofrekvenčním zesilovačem. Při měření se uplatňuje řada rušivých produktů v nízkofrekvenční oblasti. Proto je žádoucí velká přebuditelnost zesilovače, aby nedošlo k zahlcení rušivými signály, které se musí v dalším stupni odfiltrat pomocí hornofrekvenční propusti.

Pro zobrazení a další zpracování signálů AE jsou nejčastěji použity komerční přístroje několika světových výrobců. V našem případě bylo využito zařízení XEDO fy Dakel. Měřicí kanálová jednotka XEDO-AEv21 je určena pro měření parametrů AE a je navržena pro připojení pasivních piezokeramických snímačů.

V praxi se často vyskytuje problém, že snímač akustické emise nelze přímo umístit na sledovaný objekt (vlivem nepřístupnosti místa, příliš vysoké teploty povrchu sledovaného objektu, korozního prostředí

apod.). V těchto případech se využívají snímače s vlnovody. Volba materiálu vlnovodu závisí na materiálu zkoušeného objektu. Oba materiály by měly mít přibližně stejnou akustickou impedanci z důvodů minimalizace odrazů AE vlny a lepšího přechodu vlny z objektu na vlnovod a dále do snímače. Změna průměru vlnovodu na průměr snímače je řešena kuželovitým nebo přesněji parabolickým přechodem.

Zpracování signálu AE

V současné době existuje několik standardních postupů pro zpracování a vyhodnocování signálů akustické emise. Mezi nejstarší a nejpoužívanější postupy patří počítání překmitů (counts) přes dané prahové úrovně a sledování vývoje tohoto počtu v čase. Na tento způsob navazuje počítání tzv. událostí (events), které rozlišuje jednotlivé emisní události od sebe pomocí nastavených parametrů jako prahová úroveň, délka trvání události a mrtvý čas mezi dvěma po sobě následujícími událostmi. Pro globální popis bývá doplněk těchto měřených veličin měření RMS hodnoty signálu, eventuálně energie signálu. K podrobnému popisu jednotlivých emisních událostí bývají použity tzv. obálkové parametry. Mezi tyto obálkové parametry patří měření doby náběhu, maximální amplitudy události, délky události, počtu překmitů v rámci události atd. Mezi nejnovější trendy v oblasti zpracování signálu AE patří snaha o identifikaci zdrojů a jejich rozřazení do skupin podle charakteristických znaků. Metoda je založena na shlukování (clustering), přičemž klasifikátor může používat různé hlídané postupy rozpoznávání. Například back-propagation neuronová síť může být trénována použitím částí vybraných vzorků z tzv. „zlatého standardu“ (Bláha a kol., 1991).

Tato práce je zaměřena na detekci rozvoje deformace rozebíratelných spojů akustickou emisí. Detailní popis události v záznamu akustického signálu ze spojovacího prvku by měl umožnit poznání rozvoje degradace spoje z hlediska deformace probíhající v průběhu provozního zatížení celé konstrukce. Tzn. bez znalosti silových poměrů v zatěžovaném konstrukčním uzlu provést predikci životnosti spoje.

MATERIÁL A ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

Zkušební vzorky

Pro experimentální vyhodnocení akustické aktivity byly zvoleny šrouby M 10 z austenitické oceli A2 – 18/8 (18 % Cr, 8 % Ni) s korozivzdorností proti normálním povětrnostním podmínkám, vlhkému prostředí a organickým kyselinám. Porovnání chemického složení a mechanických vlastností s ostatními korozivzdornými ocelmi je uvedeno v Tab. II a III.

II: Chemické složení korozivzdorných ocelí

Třída	Obsah hlavních slitinových prvků (%)			AISI typ
	Cr	Ni	Mo	
A1	17,0 – 19,0	8,0 – 10,0	0,6	303
A2	17,0 – 20,0	8,0 – 13,0		304
A4	18,5 – 19,0	10,0 – 14,0	2,3 – 3,0	316

III: Mechanické vlastnosti korozivzdorných ocelí

Třída nerez. oceli	Třída pevnosti	Průměr	Šrouby			Matice
			min. mez pevnosti	nominální mez kluzu	prodloužení v okamžiku lomu	max. zatížení
		d [mm]	R_m [N/mm ²]	$R_{p0,2}$ [N/mm ²]	A_{min} [mm]	S_p [N/mm ²]
A1	50	≤ M 39	500	210	0,6 d	500
A2	70	≤ M 20	700	450	0,4 d	700
		> M 20 ≤ M 30	500	250	0,4 d	500
A4	80	≤ M 20	800	600	0,3 d	800

Záznamové zařízení AE

Pro měření akustických signálů byl využit měřicí systém DAKEL Xedo (Obr. 2).



2: Zařízení DAKEL Xedo

Systém představuje moderní a výkonné zařízení pro měření a vyhodnocení parametrů akustické emise, které umožňuje rovněž měření jiných fyzikálních veličin. Vhodnou kombinací měřicích kanálových jednotek AE a jednotek pro měření napětí je mož-

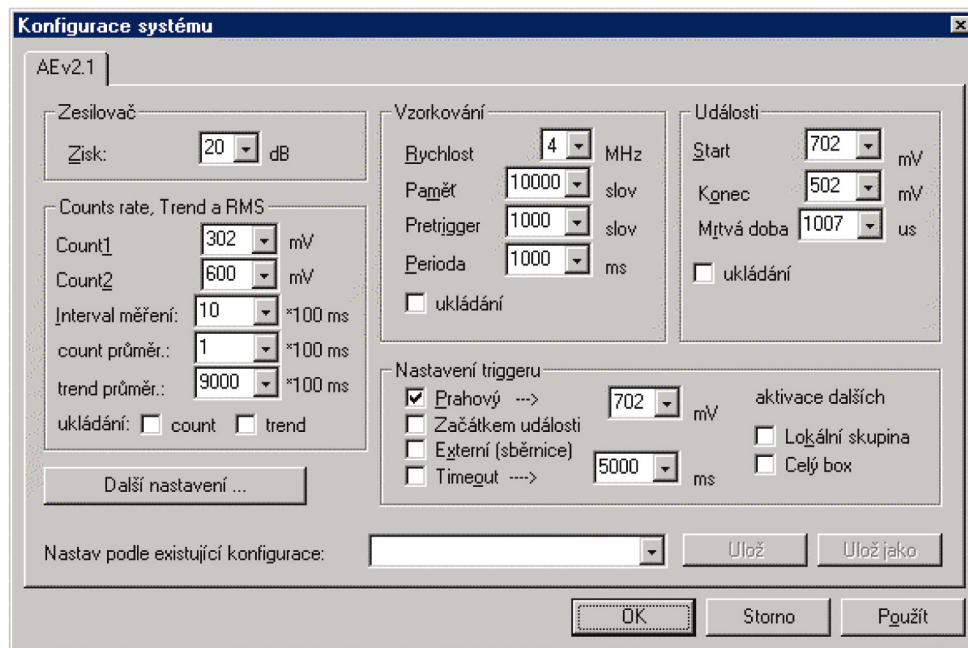
né sestavit konfigurace vyhovující požadavkům celé řady aplikací. Toto zařízení ve spojení se software Daemon nachází uplatnění jako monitorovací systém AE a externích parametrů. Měřicí jednotky systému jsou řazeny do měřicích rámců – boxů, kde jsou spolu

s komunikačními jednotkami připojeny na společnou sběrnici. Z komponentů zařízení lze sestavit malé laboratorní přístroje i rozsáhlé průmyslové diagnostické systémy.

Snímače jsou schopny plnit také funkci vysílačů/budičů a systém je vybaven elektronickým generátorem vhodných pulsů pro simulaci emisních událostí. Takto je umožněna jednoduchá kontrola funkce sní-

mačů a autokalibrace zařízení. Největší předností je, že kromě hodnocení klasických parametrů AE umožňuje rovněž vzorkování signálů na každém kanálu.

Po spuštění aplikace Daemon.exe se na obrazovce objeví hlavní okno (Obr. 3), jehož prostřednictvím probíhá veškeré řízení a komunikace s měřicím hardwarem Dakel Xedo.



3: Kontextové menu v systémové mapě – nástrojová lišta

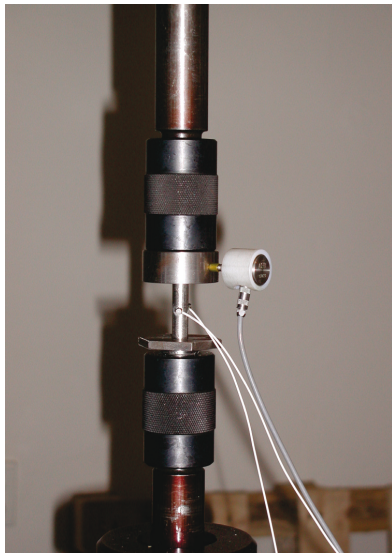
METODIKA MĚŘENÍ

K získání požadovaných výsledků byla postulována následující metodika měření:

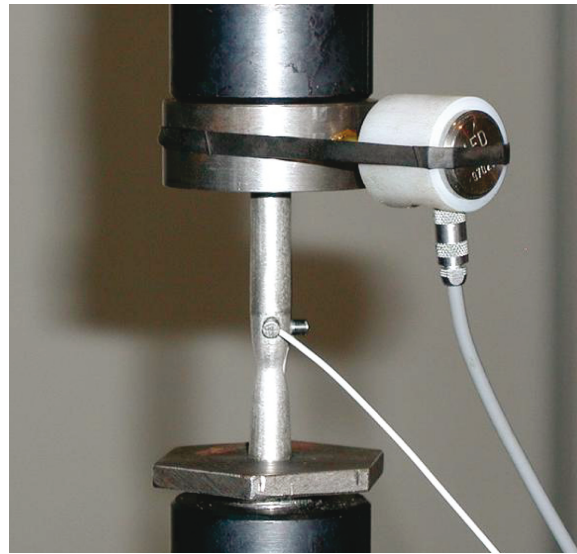
- pro uchycení šroubů vyrobit redukce vhodné pro aplikaci stávajících komerčních upínacích hlavíc použitého zatěžovacího stroje ZWICK 200 se závitů M 22 x 1 – 5g6h,
- umožnit výstup signálu vlnovodem a provést prototypovou zkoušku,
- z hlediska verifikace záznamu ověřit aplikaci a umístění kontrolních snímačů nalepením (Obr. 4),
- provést měření akustické emise u statisticky průkazného souboru vzorků v oblasti pružného zatěžování až po napětí na mezi kluzu,
- záznamy AE časově konfrontovat se záznamem síly, která je snímána zkušebním strojem a v digi-

tální formě přenesena na PC spolu s výsledky z Daklu,

- provést záznam akustické aktivity v rámci plastické deformace šroubu od vzniku Lüdersovy deformace až po vznik kontrakce („krčku“) a následné přetržení (Obr. 5),
- v návaznosti na výsledky z průběhu jednoosé tahové zkoušky a záznamu o akustické aktivitě provést rozbor napětově-deformačního a lomového chování šroubu; zavést terminologii porušení u šroubů,
- stanovit aktivitu akustického signálu v oblasti mezi kluzu a pevnosti i v okamžiku fragmentace,
- provést srovnání výsledků s měřením u materiálově odlišného typu šroubů (ČSN 02 1143.50); konfrontovat záznam AE, vzhled porušení obou typů a orientační rozbor lomů.



4: Kompletní osazení vzorku snímači



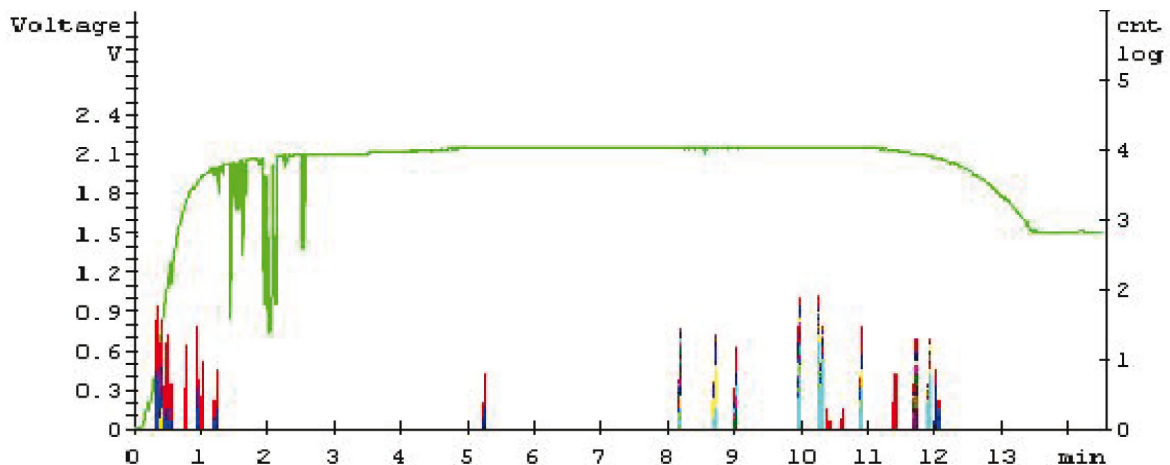
5: Kumulace poškození plastickou deformací

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

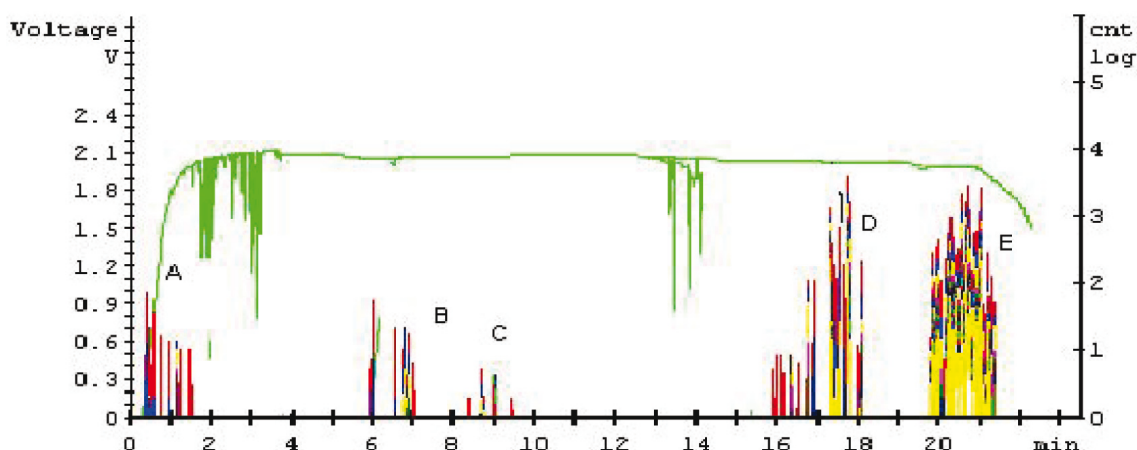
Na Obr. 6 a 7 je uveden příklad záznamu akustické aktivity v průběhu jednoosého zatěžování tahem u šroubů z austenitické oceli A2 a s vnitřním šestihranem (ČSN 02 1143.50). Levá svislá osa diagramu ukazuje napětí úměrné síle 1 V ~ 2 kN a přísluší křivce, která spojitě prochází grafem (do 2 min dosahuje maxima). Pravá svislá osa značí počet překmitů v logaritmickém měřítku.

Z průběhu záznamů síla – čas lze určit hodnoty určujících mezí napětí – smluvní meze kluzu $\sigma_{0,2}$ a meze pevnosti σ_{pl} . Akustická aktivita v oblasti platnosti Hookova zákona má z hlediska počtu událostí

jednoznačnou tendenci růstu. Toto trvá do okamžiku dosažení $\sigma_{0,2}$, kdy aktivita klesá na nulu. Další signály se objevují až v oblasti meze pevnosti σ_{pl} a konečný balík událostí přichází s tvorbou kontrakce (krčku) a úplné fragmentace zkušebního tělesa. U šroubů ČSN 02 1143.50 je akustická aktivita obdobná, jen její rozložení je modifikováno zřejmě jiným mechanismem porušení materiálu. Záznamy lze, s ohledem na anizotropii materiálu (neidentické zatěžovací podmínky) a jen přibližné umístění snímačů 2 a 3 – lepených, považovat za velmi podobné. Pro stanovení ingerence uvedených podmínek je nutný rozbor mechaniky mikroporušení šroubů.



6: Akustická odezva u šroubu A2 a záznam síly



7: Aktivní hladiny AE a záznam síly (ČSN 02 1143.50), převod $V \rightarrow kN$ je orientační, $1V \approx 2 kN$

INTERPRETACE ZÁZNAMŮ ZKOUŠKY

Pro celkové zhodnocení experimentálních výsledků je nutná postulace jednotlivých generelů celkové geneze degradace. Uvedené platí jak pro aplikace AE u šroubu A2, tak pro měření u „imbus“ šroubů (ČSN 02 1143.50) i pro následnou syntézu určující věrohodnost a oprávněnost použití této nedestruktivní zkušební metody v praxi.

Měření na šroubech A2 – V fcc mřížce austenitu je prvotní pohyb dislokací ve skluzových rovinách. Skluz i zde probíhá v rovinách nejhustěji obsazených atomy (energetické podmínky), kde je tangenciální napětí největší. Po překročení kritické hodnoty smykového napětí τ_{kr} následně začíná plastická deformace, která má v austenitické struktuře výhodné podmínky. K dispozici je velké množství skluzových (primárních) rovin. V těchto rovinách od průchodu jedné dislokace až po okamžik zastavení všech dislokací je realizována mikropplastická a posléze i makropplastická deformace. Tato je však soustředěna až na deformaci za meze kluzu a je z hlediska konstrukčního nepřípustná.

V rámci napětí do meze kluzu probíhá pohyb dislokací spontánně s ohledem na čistotu materiálu, narůstá jejich hustota ρ a až vlivem napětíových elastických polí dochází k jejich ukotvení, částečné anihilaci a zastavení činnosti Frank-Readových a dalších zdro-

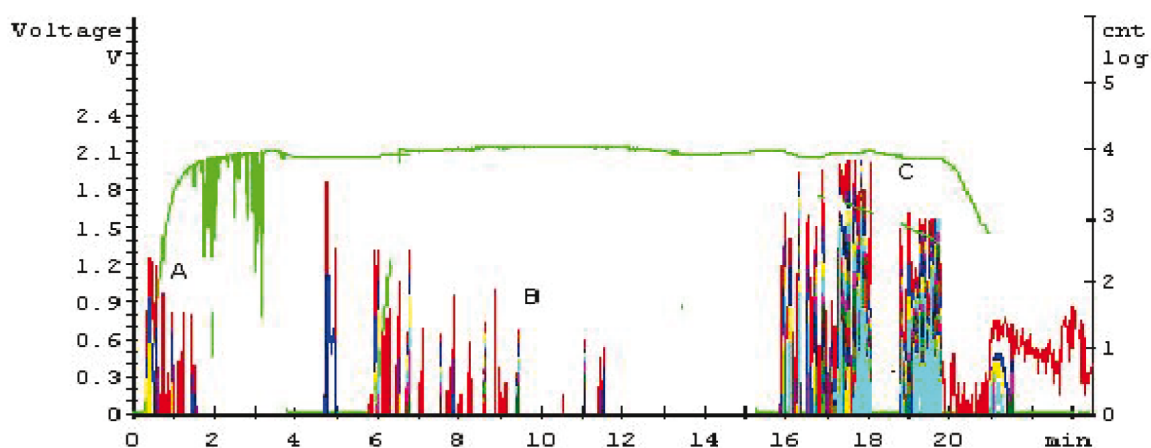
jů dislokací. **Pohyb dislokací ustane, stejně jako akustická aktivita, po dosažení meze kluzu.** Tato skutečnost je doložena na všech záznamech tahové zkoušky. S ohledem na ingerenci vlivů lze hovořit o téměř identických záznamech událostí s přibližně stejnou hodnotou překmitů na neaktivnějších hladinách. Tento stav je téměř beze změn bez ohledu na jednotlivá stadia zpevňování. Ani jedna teorie (Lammer-Cottrellova, dislokačního lesa, skoků) není měřením AE doložitelná. Struktura se po zablokování na meze kluzu „odmlčí“. Vzhledem k poměrně značné čistotě materiálu a snadnosti skluzu (fcc) je u austenitického materiálu mez kluzu nevýrazná. Nulová odezva je porušena výrazněji až v místě před dosažením meze pevnosti. V tomto okamžiku je dislokační mechanismus před ukončením své činnosti (deformace je patrna na více místech zkušební délky vzorku). V těchto místech začínají vznikat dutiny, které zvětšují svůj rozměr intenzivněji ve směru hlavních tahových napětí než ve směru kolmém. V rámci interaktivního chování kontrakce-prodloužení nastává výrazné zúžení ve tvaru „krčku“. Funkci iniciátorů tvárného porušení přebírají částice (vměstky, precipitáty) a jejich delaminace nebo oddělení od matrice (Koutský a kol., 1976). Tento dutinový mechanismus je patrný ze snímků lomové plochy (Obr. 8). Jedná se o typický číškový lom s výraznou vláknitostí.



8: Lomová plocha austenitického šroubu A2 s typickým jamkovitým vzhledem a symetrickým smykovým podílem na lomové ploše

Víceosý stav napjatosti a kombinované posunutí v mnoha skluzových systémech jsou spolu s působením makroskopického smykového napětí příčinou velkého podílu smykového lomu na okrajích lomo-

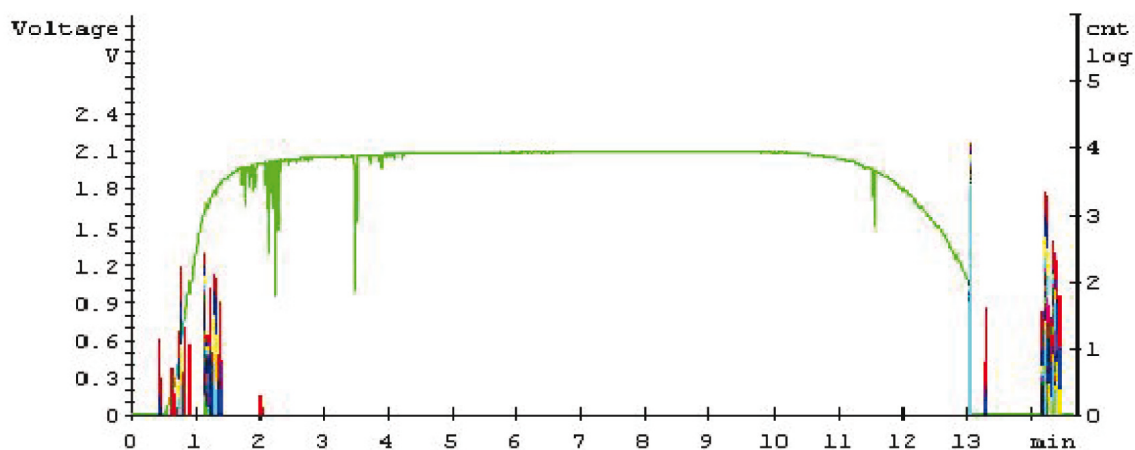
vé plochy. Průvodním jevem plastického porušení je i emise velkého počtu elastických a elastoplastických vln, což se projevuje na bouřlivém rozvoji akustické aktivity v oblasti při tvorbě krčku (Obr. 9).



9: Úvodní akustická odezva elastické a elasticko-plastické deformace (A), kontrakce na místě pozdějšího krčku (B), (C) – krček a lom

Porovnání měření na šroubech ČSN 02 1143.50. Záznam vykazuje obdobné překmity hladin jako

u A2. Četnosti překmitů jsou však menší v důsledku rozdílných podmínek pro pohyb dislokací (Obr.10).



10: Záznam AE v neaktivnějších hladinách u vzorku (šroub A2) v porovnání se záznamem síly ($V \rightarrow kN$)

Střední délka dráhy dislokací je kratší a pohyb se uskutečňuje v rámci struktury bcc. Tato má mnohem méně vhodných skluzových systémů než fcc mřížka. U šroubu ČSN 02 1143.50 je patrný vliv legur, které představují 0,32-0,4 % C, 1,5 ÷ 1,9 % Mn, 0,2 ÷ 0,4 % Cr. Je zřejmé, že u těchto šroubů se projevuje

několik hlavních externích (závitový vrub) i interních činitelů (typ struktury a substruktury, obsah příměsí a stupeň předcházející deformace). Fragmentace je výsledkem změny přechodu z houževnatého lomu na štěpný lom skokem, který je typický pro kovy s bcc mřížkou (Obr. 11).



11: Kvazištěpný lom spirálového tvaru se smykovou plochou pod závitem šroubu ČSN 02 1143.50

K náhlému přechodu dochází vznikem křehkého lomu po plastické deformaci na mezi kluzu při tzv. kritickém napětí, které není funkcí teploty ani rychlosti zatěžování. Doposud však tato teorie není popsána univerzální rovnicí přechodového stavu, která by vystihovala působení všech interních a externích

činitelů. Vlivem závitu lze stěží jednoznačně faktograficky zhodnotit lom jako čířkový nepravidelný s vláknitostí nebo nerovným lomem v centrální části lomové plochy či lomem lasturovým (vyskytuje se u ocelí s zvýšeným obsahem Mn).

SOUHRN

V dané práci jsou zhodnoceny dosažené výsledky, získané měřením AE při jednoosém tahovém zatížení šroubů. Lze zcela jednoznačně prokázat akustickou aktivitu u šroubů při jejich zatížení pod mezí kluzu, kdy je požadována jejich funkce. V okamžiku dosažení plastické deformace lze i další chování spojovacího elementu monitorovat, ale z funkčního hlediska je toto měření již nepodstatné – je vhodné pouze pro posouzení deformační exploatace. Z uvedeného plyne, že v okamžiku, kdy šroub přestane emitovat události uvedeného tvaru, je nutné přistoupit k urychlené výměně spojovacího elementu. Pro odhalení deformačního stavu je tedy nutný pouze záznam **počet překmitů – čas**. Z předchozího rovněž vyplývá nutnost vytvoření materiálového, resp. typového manuálu záznamu AE. Ten by umožnil přesnější orientaci u všech typů šroubů používaných pro spojování běžných konstrukcí. Uvedené závěry dokazují oprávněnost začlenění metody AE mezi zkoušky používané v technické praxi.

deformace šroubů, jednoosý tah, akustická emise, mechanické vlastnosti, napětí, deformace

Publikované výsledky jsou součástí řešení VZ MŠMT č. MSM 4321 00001 a projektu GA ČR 106/02/1319.

LITERATURA

- ARMSTRONG, R. W.: Metallurg. Trans., 1970, 1, s.1169.
- JASWON, M. A., RICHMAN, M. H.: Appl. Mech. Rev. 1964, 7, s.933.
- MAKMAGON, K. Dž.: In: Mikroplastičnost. Moskva, Metallurgija 1972, s.101.
- TERSTON, P.: Physic Acoustic Vol.1, Part A, Acad. Press London N. York 1964.
- DUŠEK, F., BUCHAR, J.: Použití metody akustické emise při studiu plast. deformace a lomu těles. Konf. Visalaje 1974.
- BLÁHA, J., SLÁMA, K., CVĚTLÍK, M., ŠPINDER, S.: ADA Akustická emise – firemní materiály, ADA konsorcium, Plzeň 1991.
- KOUTSKÝ, J., JANDOŠ, F., KAREL, V.: Lomy oceľových částí SNTL Praha 1976, s. 345.

Adresa

Doc. Ing. Michal Černý, CSc., Doc. Ing. Josef Filípek, CSc., Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, Doc. Ing. Pavel Mazal, CSc., Ústav konstruování, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2, 616 00 Brno, Česká republika

