

VYUŽITÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE
PŘI ŘEŠENÍ PEVNOSTNÍCH OTÁZEK

Ing. Stanislav Štěpánek, CSc.
Ing. Antonín Mičkal

o. p. ŠKODA Plzeň

ANOTACE

V referátu jsou shrnuty výsledky prací a názory, objasňující vznik akustické emise při různých stupních poškození materiálu konstrukcí. Dále jsou zde shrnuty názory na samotný jev akustické emise a její kvantitativní hodnocení. Pro komplexní hodnocení akustické emise se uvažuje měření dvou parametrů pro výskyt, tří parametrů pro velikost emisní události a tří parametrů pro lokalizaci emisního zdroje. Dále je v referátu stručně vysvětlen význam diskriminace signálů a je uvedeno principiální schéma měřicího zařízení, uvažující volitelné vyhodnocovací jednotky. Referát je doložen typickými výsledky experimentálních prací, souvisejících s řešením pevnostních otázek.

1. Úvod

Experimentální analýzu napětí používáme k optimalizaci tvaru namáhaných součástí nebo k vyšetřování zatížení konstrukcí nebo k zjišťování stavu konstrukce vzhledem k jejímu dalšímu provozu. Poslední aplikace je nejobtížnější.

A. J. Durelli v úvodu své knihy *Applied Stress Analysis* [1] přirovnává moderního specialistu v analýze napětí a pevnosti k lékaři. Málokteří lidé navštěvují lékaře pouze pro potěšení stýkat se s ním společensky. K lékaři obvykle přicházejí, až když se necítí dobře.

Specialisté v analýze napětí a pevnosti jsou na tom podobně, nejčastěji jsou ke konstrukci povolováni, až když je nebezpečí, že by mohla selhat. Právě tak jako lékař, první věc, kterou musí specialista v analýze napětí a pevnosti provést, je stanovit diagnózu. Odborný lékař pracuje v úzkém zaměření. Stejně je tomu u úzce specializovaných pracovníků v analýze napětí. Mnozí jsou schopni polepit celou konstrukci elektrickými odporovými tenzometry nebo nalepit opticky citlivou vrstvu a pozorovat izochromáty. Pouze někteří jsou však schopni posoudit celý mechanismus a správně odhadnout, kde je chyba, a vyšetřit příčiny daného problému.

Dobří lékaři a dobří pracovníci v analýze napětí a pevnosti musí spoléhat na podobné intelektuální zázemí, hluboké vědecké poznání vzájemných vztahů v organismu.

Durelli dále uvádí, že teorie pružnosti a pevnosti a zkušenost v metodách experimentální analýzy napětí a pevnosti poskytují informace v celé šíři problému a pomáhají tak specialistovi k nejlepšímu pochopení při stanovení diagnózy a příčin poruch a umožňují mu nalézt prostředky, jak poruchy odstranit.

S růstem složitosti technických zařízení a vzhledem k vyšším požadavkům bezpečnosti a spolehlivosti a se zrychlujícím se vývojem nových typů zařízení je stále obtížnější získávat dostatečné zkušenosti a informace o stavu zařízení, přičemž ve všech oblastech lidské činnosti roste závislost

lidí na správné funkci konstrukcí.

Rozbor napjatosti, experimentální i teoretický, nedává dostatečnou informaci o stavu zařízení vzhledem k jeho životnosti. K tomu musíme ještě znát odpor materiálu proti porušení, a to nejen v místech koncentrací napětí vlivem tvaru součásti, ale i v místech vad. Kde jsou a jaké jsou tyto vady nám určují defektoskopické nedestruktivní metody. Teprve vzájemný vztah všech těchto parametrů, tj. velikostí provozního a zbytkového napětí, okamžitých vlastností materiálu a charakteru vady nebo tvaru součásti, nám poskytuje informaci o zbytkové životnosti konstrukce nebo o možnosti vzniku porušení.

2. PROCES PORUŠENÍ KONSTRUKCE

Mimo porušení konstrukce ztrátou její elastické stability lze předpokládat, že společným jmenovatelem celého procesu v inženýrské praxi vyskytujícího se každého porušení lomu je zásoba elastické energie v soustavě, existence plastické deformace v místě bodového porušení a skokový průběh porušení s vyzařováním elastických napěťových vln.

2.1 Průběh plastické deformace

Jednoduchý a názorný model skokového průběhu plastické deformace s vyzařováním elastických napěťových vln podal P. P. Gillis [2, 3].

Předpokládejme, že materiál je pomalu a homogenně deformován jednoosým napětím a že křivka napětí - deformace bude mít tvar podle obr. 1. Pro jednotkový objem materiálu bude vnější práce pro odpovídající přírůstek deformace rovna $Pd(\Delta l) = \sigma \cdot d\epsilon$. Vzrůst napětí je $Hd\epsilon$ a elastická vratná deformace energie vzroste z $\sigma^2/2E$ na $(\sigma + Hd\epsilon)^2/2E$, tj. přírůstek $(H/E)\sigma d\epsilon$ je mnohem menší než přírůstek vnější energie. Uvažujeme-li jednotkový objem jako izolovaný systém

pak přebytek vnější práce nad vratnou deformační energií musí vést k přírůstku jiné vnitřní energie v systému nebo musí být přenesen do okolí.

Experimentálně bylo potvrzeno, že většina plastické deformační energie je v konečné fázi zdrojem tepla v materiálu a část je uložena v mikrostrukturálních změnách materiálu, jako je vzrůst objemu dislokací a jiných defektů.

Přesto, že konstrukční materiály jsou konglomerátem krystalů, se při studiu plastické deformace těchto látek ukázalo velmi užitečným vyšetřovat mechanické vlastnosti monokrystalů. Fisher a Lally [4] zjistili experimentálně na monokrystalech několika kovů, že malé ostré skluzové poklesy v plynulém vzrůstu napětí jsou spojeny s vyzařováním elastických napěťových vln. Velikost těchto skluzů byla přibližně odhadnuta jako miliontina plynulého napětí. Na obr. 2 je zvětšená část křivky napětí - deformace, se sérií těchto ostrých mikroskluzů.

Předpokládá se, že jev ostrých skluzových poklesů je způsoben současným posunem mnoha dislokací, aby se rozšířil deformační pás do méně namáhané oblasti krystalu podle obr. 3. Tento jev je naprosto lokální pro každou jednotlivou událost, avšak má vliv na průměrnou deformaci vzorku, protože místa následujících událostí se přemísťují. Předpokládá se dále, že přírůstek deformace ϵ'' se šíří osově v oblasti délky Δl , která se rozšiřuje napříč po celém průřezu vzorku. Vyplyvající okamžitá plastická deformace $\epsilon''_{\Delta l}$ je větší nežli posunutí hlav trhacího stroje během okamžiku šíření tohoto přírůstku. Oblast, která náhle přijala tento dosti velký lokální plastický přírůstek, uvolňuje napětí ze vzorku v hodnotě rovné této plastické deformaci násobené modulem pružnosti a příslušnou částí objemu této oblasti. Náhle uvolněné napětí nebo ostré mikroskluzy se šíří vzorkem jako elastické napěťové vlny. Odražené napěťové vlny způsobují vibrace segmentů dislokačních čar mezi překážkami.

Jev, označený na obr. 3 pro monokrystal, je možné aplikovat též pro polykrystal za předpokladu, že deformační skok ϵ'' proběhne současně ve všech zrnech průřezu vzorku. V případě, že se tak stane jen v jednom zrnech v daném okamžiku, jednalo

by se jen o geometrickou modifikaci této analýzy.

Předpokládá se [2] , že asi 1 % celkové plastické deformace je spojeno s deformačními skoky.

2.2 Vznik a šíření trhliny

Předpokládá se, že lomový proces sestává z následujících stádií [5] :

- a) vznik nukleačního zárodku mikrotrhliny plastickou deformací
- b) přeměna nukleačního zárodku v submikrotrhlinu a její nestabilní růst
- c) šíření mikrotrhliny přes bariéru, s kterou se mikrotrhlina při svém růstu setká (např. hranice zrna, precipitát apod.).

Pro nukleaci mikrotrhliny je rozhodující pouze smykové napětí [6]. Smith [7] a Almond et al. [8] předložili teorie, které popisují vznik mikrotrhliny ve feritu společným účinkem nakupení dislokací a porušením karbidické částice. Háku et al. [9 , 10] ukázali, že pro vznik lomu je určující šíření mikrotrhliny přes hranice zrna. Mc Makon a Cohen [11] uvádějí, že iniciaci mikrotrhlin ve feritu u nízkouhlíkové oceli způsobují prasklé karbidy, které ve feritické matici vytvářejí Griffithovou trhlinu řádově velikosti zrna.

Tetelman a Chow [12] uvádějí, že iniciace a šíření mikrotrhlin probíhá při daleko nižších napětích, než je teoretická kohesivní pevnost. Aby došlo k lomu, požaduje se, aby nějaká vnitřní koncentrace napětí v lokální oblasti dosáhla teoretické hodnoty, a tím nastalo v dané oblasti přetržení atomové vazby. Všeobecně se soudí, že nashromáždění skupin čarových dislokací vyvolávají iniciaci trhliny. Aby nastalo nashromáždění dostatečně velkého množství dislokací, musí v šíření dislokací existovat překážka, jako např. hranice zrna. U některých materiálů však mohou dislokace sklouznout napříč z jedné roviny do druhé a tam opět způsobit homogenní řadu a pak nejsou vytvořeny podmínky pro iniciaci trhliny.

Na obr. 4 je znázorněno šíření plastické deformace přes hranici zrna. V zrnech, která se plasticky deformovala, se

dislokace emitované zdrojem A pohybují ve skluzové rovině. Při dosažení překážky (hranice zrna) se zastaví a nastává nakupení dislokací (zrna A). Toto nakupení dislokací vede ke koncentraci napětí u hranice zrna. Je-li $\tau_{\max}$ maximální vnější smykové napětí, τ_i napětí působící proti pohybu dislokací ve skluzové rovině, pak koncentrace napětí v místě B, vzdálené od čela nakupení o x , je dána vztahem

$$(\tau_{\max} - \tau_i) \cdot \sqrt{\frac{L}{x}},$$

kde L je délka nakupení dislokací.

K plastické deformaci sousedního zrna dojde tehdy, když napětí v místě B dosáhne hodnoty potřebné k uvolnění stávajících dislokací, nebo napětí potřebné k tvorbě nových dislokací

$$\delta_D = \delta_{\max} + (\delta_{\max} - \delta_i) \cdot \sqrt{\frac{L}{x}}$$

Periodickým opakováním popsaného procesu dochází k postupnému šíření čela deformačního pásu a plastické deformace se při napětí τ_D šíří postupně bez iniciace trhliny.

Podmínka pro iniciaci trhliny podle dislokační teorie je

$$\delta_{\max} \cdot n \cdot b = \tau_i \cdot n \cdot b + 2f$$

kde n je počet dislokací v seskupení, b - je Burgersův vektor a f - je celková elastická a plastická práce na jednotku plochy, spotřebované v oblasti, kde se tvoří mikrotrhliny.

Mikrotrhliny, které jsou iniciovány nahromaděnými dislokacemi, jsou velmi malé, řádu asi $0,10 \mu\text{m}$. Tyto trhliny nemohou růst, dokud není uvolněno dostatek energie během námáhání trhliny.

Griffith na základě termodynamických úvah usoudil, že nestabilní šíření musí mít za následek pokles volné energie soustavy. Trhlina by se měla začít šířit tehdy, když se úbytek elastické energie dW_E nakupené v tělese, stane větší než přírůstek povrchové energie dW_p nově se tvořících ploch při růstu trhliny. Inglis odvodil pro délku trhliny $2a$, že

$$W_E = \frac{\pi G^2 a^2}{E}$$

a přírůstek povrchové energie je dán vztahem

$$W_p = 4 a f,$$

kde f je povrchová energie materiálu tělesa.

Griffithovo kritérium je tedy

$$\frac{d}{da} \left(\frac{\pi G^2 a^2}{E} \right) = \frac{d}{da} (4 a f),$$

$$\text{odkud } \sigma_f = \sqrt{\frac{2 E f}{\pi a}}$$

Toto platí pro elastická tělesa, tj. při šíření trhlin nastává přímé porušování atomových vazeb. U kovových materiálů s plastickou deformací na čele trhliny je nutné tuto rovnici modifikovat, např. připočtením f_p - plastické povrchové energie (Orowan), a výsledná závislost bude

$$\sigma_f^2 \cdot a = \text{konst.}$$

Při dosažení napětí σ_f se počne mikrotrhlina nestabilně šířit, a protože pro iniciaci šíření trhliny je potřebná větší energie než pro její nestabilní šíření, náhle se předává kinetická energie okolnímu materiálu a produkují se ostré elastické vlny.

U konstrukčních ocelí, hranice zrn působí jako bariéry proti šíření mikrotrhlin a omezují délku mikrotrhliny na jeden nebo dva průměry zrna. Před lomem, jak stoupá napětí se tvoří čelní mikrotrhliny - obrázek 5, které jsou zdrojem vln elastic-
kých napětí. Uvolněná energie vzniká na každém částečném lomu zrna. Výsledný lom celého tělesa se objeví, když mikrotrhlina je schopna se šířit všemi bariérami, které omezují její růst, nebo když skupina zastavených trhlin se spojí dohromady

do tvaru dostatečně velké makrotrhliny, která se může šířit. Tento proces šíření trhliny v oceli se děje diskontinuálně s opskovaným iniciováním mikrotrhlin a opakovaným růstem plastické oblasti na čele postupující makrotrhliny. Tyto události, které se rychle opakují na čele makrotrhliny, jsou zdrojem vln elastických napětí, protože jsou spojeny se vzrůstem a uvolňováním energie.

3. AKUSTICKÁ EMISE

V předcházející kapitole jsme se seznámili se základními souvislostmi mezi procesy porušení materiálu a vznikem elastických vln. Podívejme se nyní podrobněji na samotný jev akustické emise.

Působí-li na mechanickou konstrukci silové pole, vytvoří se v materiálu konstrukce mechanické napětí, jehož velikost je úměrná akumulované potenciální energii. V důsledku jakékoli rychlé pohybové změny v mikro nebo v makrostruktuře materiálu dochází k náhlému uvolnění určitého kvanta této energie a my říkáme, že vznikla emisní událost. Lokalita vzniku emisní události se nazývá emisní zdroj. Samotný proces uvolňování energie v materiálu pod vlivem mechanického napětí má v prvním přiblížení charakter impulsního náhodného procesu. V důsledku elastických vlastností materiálu vyvolá kvantum uvolněné energie napěťový impuls, který iniciuje tvorbu přechodové elastické vlny. Část této energie se průchodem elastické vlny materiálem mění v teplo, část vyvolá na povrchu materiálu povrchovou vlnu a zbytek energie se vrací do materiálu prostřednictvím odražené vlny. Tomuto jevu říkáme akustická emise.

Povrchová vlna může být vhodným snímačem snímána a přeměněna na elektrický signál, kterému pak říkáme emisní signál.

Jelikož jsou emisní signály vyvolány změnami v samotné struktuře materiálu, nesou informaci o změnách ve stavu materiálu i celé konstrukce, a to z oblastí nevratných změn.

Z tohoto důvodu je akustická emise zvláště vhodná pro diagnostiku stavu materiálu a konstrukcí.

3.1. Parametry akustické emise

Jak již bylo řečeno, má akustická emise z jednoho zdroje charakter impulsního náhodného procesu. Náhodnost celého jevu vyplývá také z náhodnosti místa výskytu. Musíme tedy i pro jednoduchá hodnocení akustické emise uvažovat několik nezávislých parametrů. Podle Hartmana a Kelledyho [13] je dostatečné uvažovat šest nezávislých parametrů akustické emise, které charakterizují výskyt a dobu výskytu emisní události, velikost emisní události a lokalitu emisního zdroje. Jako doplňující jsou uvažovány jeden nebo několik nepřímých parametrů (např. tlak, teplota, zatížení ap.), které charakterizují podmínky vzniku akustické emise. Podívejme se nyní podrobněji na nezávislé parametry akustické emise.

Výskyt emisní události N je pořadové číslo, vyjadřující počet emisních událostí od počátku uvažovaného intervalu, a může být použito také k indexování ostatních parametrů.

Doba výskytu emisní události T je měřena od počátku uvažovaného intervalu.

Velikost emisní události můžeme vyjádřit amplitudou a nebo počtem překročení emisního signálu nastavené hladiny $\underline{n}$. Tuto hodnotu nazýváme počtem impulsů. Někteří autoři [14] měří velikost emisní události její energií E .

Lokalita emisního zdroje je jednoznačně určena příchoovou sekvencí akustického signálu k jednotlivým snímačům, označme ji s_i, s_j, s_k a časovými intervaly mezi příchody akustického signálu k těmto snímačům $\Delta t_{ij}, \Delta t_{ik}$.

Nepřímým parametrem p může být libovolný měřitelný parametr procesu vedoucího k vytvoření napěťového stavu.

4. MĚŘENÍ AKUSTICKÉ EMISE

Princip měření akustické emise spočívá v transformaci parametrů povrchové elastické vlny v emisní signály, ve změření parametrů těchto signálů a ve zpětné transformaci na výskyt a velikost emisní události a lokalitu emisního zdroje. Vlivem elektrické a akustické interference poruchových zdrojů s užitečným signálem a akustické interference odrazů s původním signálem je realizace uvedeného principu měření velmi obtížná a bez dodatečných ochran a diskriminačních opatření prakticky neproveditelná. Ochranná opatření spočívají v maximálním omezení operačního šumu stimulačního zařízení, ve filtraci síťového brumu a ve stínění proti vysokofrekvenčním složkám elektrického pole v místě zkoušky. Uvedená opatření mají individuální charakter a jejich efektivnost závisí z velké části na zkušenostech, erudici a kvalifikaci pracovníků provádějících měření.

4.1 Diskriminace signálů akustické emise

Diskriminace emisních signálů spočívá v rozlišení užitečného signálu od signálu poruchového a převážně se realizuje přístrojovým vybavením. Podle [15 , 16] rozlišujeme tři stupně diskriminace:

- diskriminace podle vlastností analogového signálu
- diskriminace podle lokalizace emisního zdroje, tzv. prostorová diskriminace
- diskriminace podle úplnosti konečného výsledku, tzv. numerická diskriminace

Diskriminace podle analogových vlastností emisního signálu nám umožňuje odfiltrovat emisní signály od šumu, pokud se tyto signály v diskriminovaných parametrech od sebe liší.

Je to především amplitudová diskriminace, která dovoluje jednoduchými prostředky rozlišit signály s různou amplitudou. Používá se převážně k potlačení vlivu vlastních šumů

elektronického zařízení při jednéúrovňové diskriminaci. Při víceúrovňové diskriminaci je možné rozlišit a potlačit poruchové signály s konstantní amplitudou. Diskriminační podmínka je vyjádřena nerovností

$$a_p > U_d,$$

kde a_p je amplituda signálu a U_d je diskriminační hladina diskriminátoru.

Frekvenční diskriminace rozděluje signály podle jejich frekvenčního obsahu a realizuje se pásmovým filtrem. Používá se především pro potlačení vlivu operačního šumu. Měřený signál prochází pásmovou propustí při splnění diskriminační nerovnosti

$$f_d < f_s < f_h$$

Dolní frekvence pásmové propustí f_d se obvykle uvažuje od 50 - 100 kHz, horní frekvence f_h od 150 - 1 500 kHz, tj. vytváří se propust' o šířce frekvenčního pásma 100 - 1 450 kHz.

Časová diskriminace signálů je podmíněna znalostí determinovaného nebo detekovatelného výskytu poruchového signálu a pracuje tak, že po dobu výskytu poruchy jsou měřené údaje blokovány. Pro výstupní napětí U diskriminátoru platí podmínky

$$\begin{aligned} U &= U_{vst} && \text{pro } T \text{ non } \in (t_z, t_k) \\ U &= 0 && \text{pro } T \in (t_z, t_k), \end{aligned}$$

kde t_z a t_k je počátek a konec poruchového signálu.

Prostorová diskriminace umožňuje rozlišení užitečného signálu od poruchového signálu, a to tak, že akceptuje signály pouze z určité oblasti měřeného objektu, přičemž a priori předpokládáme, že v dané oblasti poruchový signál nevzniká. Podíváme se na dva způsoby prostorové diskriminace.

Diskriminace podle koincidence příchodů signálu do dvou snímačů dovoluje akceptovat pouze ty signály, které leží v určitém pásmu mezi dvěma snímači a potlačuje všechny signály, které procházejí ze zdrojů vně tohoto pásma. Podmínka koincidence může být zapsána jako logický součin

$$Y = S_1 \cdot S_2,$$

kde Y je akceptační signál, S_1 a S_2 jsou signály vytvořené v prvním a druhém snímači příchodem akustického signálu z materiálu. Délka těchto signálů je nastavitelná a je rovna koincidenční době.

Diskriminace "Master-Slave" je založena na tom, že signál je akceptován pouze v tom případě, když vybudí nejdříve snímač řídicího kanálu (Master) a teprve potom snímač některého z podřízených (Slave) kanálů, kterých může být několik. Diskriminační podmínka má tvar logického součinu

$$Y = M \cdot \bar{S},$$

kde Y je akceptační signál, M je logický signál, vytvořený příchodem akustického signálu do snímače řídicího kanálu a S je také logický signál, vytvořený příchodem akustického signálu do snímače podřízeného kanálu.

Numerická diskriminace je podmíněna použitím počítače, který zpracovává údaje z mnoha kanálů. Každá akceptovatelná emisní událost musí být reprezentována úplnou sadou údajů. V případě neúplné sady údajů může být tato událost potlačena.

4.2. Měřicí zařízení

Principiální schéma měřicího zařízení, které by vyhovovalo současným požadavkům na měření akustické emise, je uvedeno na obr. 11. Funkční požadavky na takové zařízení vyplývají z úvah, provedených v předcházejících kapitolách. Zařízení musí být schopno měření registrace a zpracování

některých, nebo všech nezávislých parametrů akustické emise, musí být odolné proti poruchám a vlivům okolního prostředí a musí dovolovat efektivní diskriminaci signálů přicházejících ke snímačům z měřeného objektu. Počet měřených míst takového zařízení závisí na použití a pohybuje se od dvou pro měření na vzorcích v laboratorních do 32 i více pro rozsáhlé objekty jako primární okruh jaderné elektrárny včetně tlakové nádoby a parogenerátorů. Na Obr. 11 je uvedeno minimální tříkanálové zařízení, umožňující plošnou lokalizaci emisního zdroje v ohrazeném prostoru.

Popis zařízení

Snímač je obvykle vytvořen piezoelektrickým měničem ve vhodném zapouzdření, elektrickém zapojení a technologickém provedení. Od těchto tří faktorů závisí odolnost snímače k vnějším vlivům a také jeho cena. Vyrábějí se pro pracovní frekvence od 100 do 1 500 kHz a teploty od 70 do 400°C.

Předzesilovač a hlavní zesilovač zesilují emisní signál. Celkové zesílení se pohybuje od 40 do 100 až 130 dB a je regulovatelné ve stupních po 1 dB. Vlastní šum celého zesilovacího traktu se pohybuje od 0,2 do 2 - 10 nVHz^{1/2}. Šířka frekvenčního pásma je přibližně 1,5^{1/2} - 2 MHz s dolní hranicí u 50 - 100 kHz. Předzesilovač je umístěn bezprostředně u snímače a kromě zesílení plní funkci impedančního přizpůsobení na vedení k zesilovači.

Filtr realizuje frekvenční diskriminaci signálů a je tvořen pásmovou propustí. Frekvenční pásmo je vybíráno podle použitých snímačů a podle předpokládaného způsobu vyhodnocení.

Diskriminátor realizuje amplitudovou diskriminaci signálů a měl by dovolovat efektivní diskriminaci signálů od pevné nebo nastavitelné hladiny výstupního napětí.

Procesor tvoří ústřední člen celého zařízení, pracuje v reálném čase a plní následující funkce:

- normalizace signálu, měření parametrů N , n , a a jejich převod na tvar vhodný k dalšímu zpracování
- měření času T , indikace příchodové sekvence signálu do třech snímačů s_1 , s_2 a s_3 a časové intervaly mezi příchody do jednotlivých snímačů $\Delta t_1 = t_2 - t_1$ a $\Delta t_2 = t_3 - t_1$.
- realizuje zaprojektované diskriminační funkce
- generuje rozhodovací funkce a řídicí signály
- připravuje nepřímý parametr k dalšímu předání

Měřené a zpracované parametry se z procesoru předávají předávacím blokem do jedné nebo několika vyhodnocovacích jednotek.

Počítač je nejuniversálnější vyhodnocovací jednotka a předávají se do něho všechny parametry. Počítač se svými periferními jednotkami pracuje v reálném čase a plní dvě funkce:

- a) zpracovává do koncentrovaných údajů informaci o akustické emisi a prostřednictvím periferních jednotek ji předkládá operátoru.
- b) ukládá všechny naměřené údaje do vnější paměti ke zpracování of line.

Jako vhodné počítače pro tento účel může být použito počítačů s operační pamětí 8 - 16 k, s diskovou, páskovou, kazetovou nebo děrnopáskovou vnější pamětí a s grafickým nebo alfanumerickým výstupním zařízením (tiskárna, obrazovka, x, y zapisovač ap.).

Integrační přírůstková jednotka vytváří z parametrů N , n , a sumy ΣN , Σn , Σa nebo dílčí sumy $\Delta \Sigma N$, $\Delta \Sigma n$, $\Delta \Sigma a$ za dobu Δt , a to v lineárním nebo logaritmickém měřítku. Výstup je veden obvykle na y souřadnici zapisovače. Souřadnice x je tvořena buď časem T nebo nepřímým parametrem p .

Samostatná lokalizační jednotka se používá pouze u systémů s malým počtem vstupních kanálů. Pro větší počet kanálů se pro lokalizaci používá výhradně počítače. Výstup z jednotky je veden na obrazovku a zobrazení je realizováno obvykle v souřadnicích Δt_1 , Δt_2 . Pro lineární geometrii časové souřadnice souhlasí s geometrickými, pro rovinnou geometrii je souvislost mezi zobrazením a originálem složitější.

Amplitudový analyzátor je určen k analýze amplitud signálu v reálném čase. Pro účely akustické emise je obvykle amplitudový analyzátor vybaven sice malým počtem kanálů (5-10), ale pracuje s velkým dynamickým rozsahem (60-90 dB). Je řízen nezávisle nebo z řídicího bloku procesoru. Amplitudová spektra jsou zobrazována na obrazovce nebo registrována dvousouřadnicovým zapisovačem. Je-li systém vybaven počítačem, jsou amplitudová spektra přenášena do počítače k dalšímu hodnocení nebo n pro výstupní zařízení počítače.

etní zařízení. Některá měřicí zařízení určená pro výzkum vlastností akustické emise jsou vybavována náročnou záznamovou technikou, schopnou záznamu ze všech kanálů, nebo jiným analytickým zařízením, pracujícím v reálném čase (spektrální, korelační analyzátor ap.).

5. EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

Většina výzkumných prací z akustické emise byla a je spojována s určováním souvislostí a vztahů mezi akustickou emisí a typem a velikostí poruch materiálu, nebo změn jeho základních vlastností. V této oblasti byl nahromaden obšírný materiál, který dosud nebyl roztržiděn, ani zhodnocen. V tomto referátu uvedeme pouze velmi stručně některé typické a dílčí výsledky, které mají vztah k řešení pevnostních problémů.

Souvislosti mezi plastickou deformací a akustickou emisí byly studovány celou řadou autorů. Bylo navrženo několik hypotéz vzniku a průběhu akustické emise při plastické deformaci, které byly všestranně experimentálně zkoumány, ale doposud nebyly určeny vztahy, které by vyhovovaly všem aspektům tohoto jevu. Stručný rozbor i kritika těchto prací je uvedena v [16]. Výsledky, které vyplývají ze všech experimentálních prací a byly doloženy také na našem závodě, jsou následující:

- a) emisní aktivita začíná již v elastické oblasti
- b) aktivita prochází maximem v oblasti meze elasticity
- c) při dalším růstu plastické deformace aktivita klesá.

Z uvedených výsledků plyne jednoduchý, ale důležitý závěr. Pokud se nám podaří detekovat akustickou emisí při plastické deformaci, můžeme říci, že maximum aktivity připadá na oblast meze elasticity, dosažené v lokalitě s maximální koncentrací napětí.

Při studiu mechanismů porušení byl nejdříve navržen poloempirický vztah mezi počtem impulsů akustické emise n a faktorem intenzity napětí K

$$n = c \cdot K^m$$

kde c a m jsou pro daný materiál a určitou strukturu konstantní. Tento vztah byl ověřován u různých materiálů s rozličnými strukturami a ukázalo se, že exponent m leží v intervalu od 1,8 - 9.

Velká pozornost byla věnována závislostem mezi akustickou emisí a rozevřením trhliny. Na obr. 6 jsou uvedeny typické výsledky z jedné experimentální práce [17]. Tyto výsledky vyjadřují stejnou mocninovou závislost mezi počtem impulsů n a rozevřením trhliny.

$$n = A \cdot \delta^k$$

kde A a k jsou pro daný materiál a strukturu konstanty. Pro uvedené materiály a zpracování se exponent k měnil od 0,4 - 2,4.

Důležitou otázkou při zjišťování faktoru kritické intenzity napětí je otázka počátku šíření trhliny. Napětí, při kterém začíná trhlina růst, je možné snadno určit pomocí akustické emise. Výsledky dvou takových měření jsou na obr. 10, ze kterých je také patrný vliv prostorové diskriminace signálů na použitelnost výsledků. Jedno měření bylo prováděno se zařízením bez prostorové diskriminace a druhé měření s koincidenční diskriminací. Výsledný záznam druhého měření zobrazuje počet emisních událostí pouze z úzké oblasti vzniku a šíření trhliny. Výsledek byl prověřován simulací emisních událostí. Z tohoto pohledu je patrné, že záznam prvního měření odpovídá emisní aktivitě celého zařízení včetně pohybového a úchytného zařízení a z hlediska zjištění počátku šíření trhliny je tento záznam bezcenný.

Závislost rychlosti šíření trhliny na amplitudě emisních událostí při únavových zkouškách byla doložena v práci [18]. Závislost je zobrazena na obr. 7 a vykazuje lineární průběh sumy amplitud na rychlosti růstu trhliny, vztažené na 1 únavový cyklus.

Velký počet experimentálních prací je věnován studiu akustické emise při destrukci vnitřním přetlakem. Na obr. 9 je zobrazena typická závislost počtu emisních událostí a jejich amplitudy na tlaku v experimentální tlakové nádobce při její destrukční zkoušce v o.p. Škoda. Typičnost průběhu je ve zvyšování emisní aktivity počínaje určitou hladinou zatížení až do konečné destrukce. Obdobné průběhy byly získány jinými experimentátory na tlakových nádobách různých rozměrů.

Poslední zajímavý výsledek, který demonstruje souvislost akustické emise se změnou struktury materiálu vlivem radiačního křehnutí, je závislost uvedená japonskými autory v [19]. Závislost je na obrázku 10 a demonstruje detekovatelnou změnu amplitudového spektra při tahových zkouškách vyžíhaného a ozářeného monokrystalu mědi.

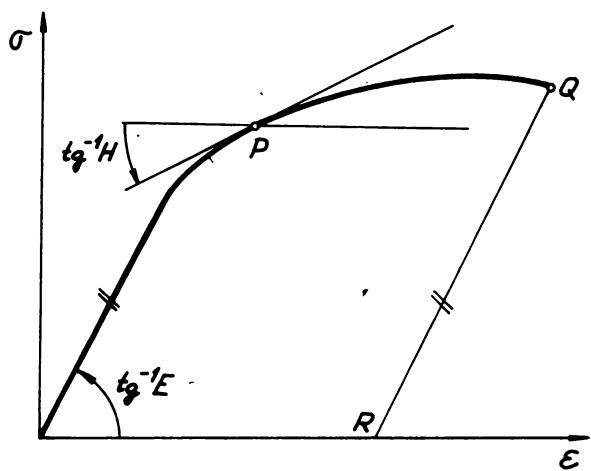
LITERATURA

- [1] Purelli A. J.: Applied Stress Analysis, Prentice-Hall, Inc, N. Y. 1967
- [2] Gillis P. P.: Some Fundamental Aspects of the Theory of Acoustic Emission; Materials Science and Engineering, 14 (1974) 103-108
- [3] Gillis P. P.: Acoustic Emission, ASTM Spec. Tech. Publ. 505, 1972, p. 20
- [4] Fisher R. M. and Lally J. S., Can J. Phys., 45 (1967) 1147
- [5] Tetelman A. S., Mc Evily A. J., Jr: Fracture of Structural Materials, New York, John Wiley and Sons, 1964
- [6] Smith E., Barnby J. T., Metals Science Journ. 1, 1967, 56
- [7] Smith E., Yield and Fracture, Conf. Proceed., Oxford: Institute of Physics and Physical Society, 1966
- [8] Almond E. A., Timbers D. H., Embury J. D., Fracture Proceed. Second Inter. Conf. Fract., Brighton. London, Chapman and Hall, 1969
- [9] Hahn, G.T., Averbach B.L., Owen W.S. and Cohen M., Fracture, Proceed. Inter. Conf. Atom. Mechan. Fract., New York: Technology press and Wiley and Sons, 1959
- [10] Hahn G. T., Owen W. S., Averbach B. L., Cohen M., Welding Journal, 1959, s. 367
- [11] Mc Makon C. J., Cohen M., Acta Met. 13, 1965, s. 591
- [12] Tetelman A. S., Chow R., Acoustic Emission Testing and Microcracking Process. Acoustic Emission, STP 505, ASTM, Philadelphia, 1972
- [13] Hartman W. F., Keledy F. C., Design Philosophy for Laorge Seall, AE Instrumentation Systems, Firearm literature Trodyne corp.
- [14] Mirabile M., Nondestructive Testing, April 1975, str. 77

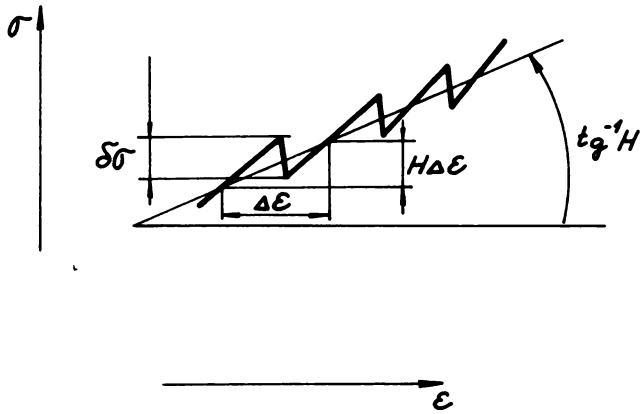
- [15] Nakamura Y., Spatial Filtration in AE Detection
Firemní literatura Trodyne Corp.
- [16] Chretien N., Miannay D., Emission Acoustique
Seminář o šíření vibrací 1 - 2.2.1973 Grenoble
- [17] Ingham T., Stott A. L., Cowan A., Acoustic Emission
Characteristics from Steels Part 2: Acoustic Measurement
from Fracture Toughness Tests.
Int. J. Pres. Ves. Piping (3) 1975
- [18] Harthower C. E., Renter W. G., Morais C. F., Crimmins
P. P. Use of Acoustic Emission for the Detection
of Weld and Stress Corrosion Cracking, ASTM spec. Tech.
Publ. 505
- [19] Nakasa H., Application of Acoustic Emission Techniques
to Material Diagnostics
Symposium on Nuclear Power Plants Control and Instru-
mentation, Praha 22-26. ledna 1973.

SEZNAM_OBRÁZKŮ

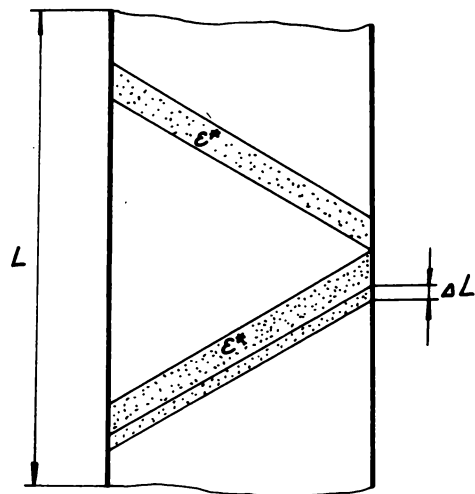
- Obr. 1 Křivka napětí - deformace
- Obr. 2 Zvětšená část křivky napětí - deformace
- Obr. 3 Rozšíření deformačního pásu
- Obr. 4 Šíření plastické deformace přes hranici zrna
- Obr. 5 Šíření lomu
- Obr. 6 Závislost akustické emise na rozevření trhliny
Převzato z [17]
- Obr. 7 Závislost sumy amplitud akustické emise na rychlosti
růstu trhliny. Převzato z [18]
- Obr. 8 Vliv stavu materiálu na amplitudové spektrum
Převzato z [19]
- Obr. 9 Průběh četnosti emisních událostí, amplitudy a tla-
ku při zkoušce tlakové nádoby
- Obr. 10 Závislost počtu emisních událostí na zatížení
při zkouškách velkorozměrového vzorku s vrubem
- Obr. 11 Principiální schéma měření akustické emise



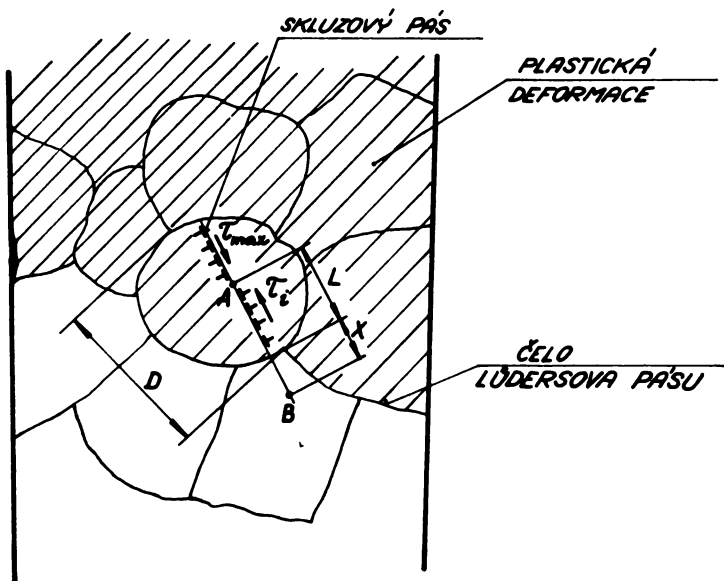
Обр. 1.



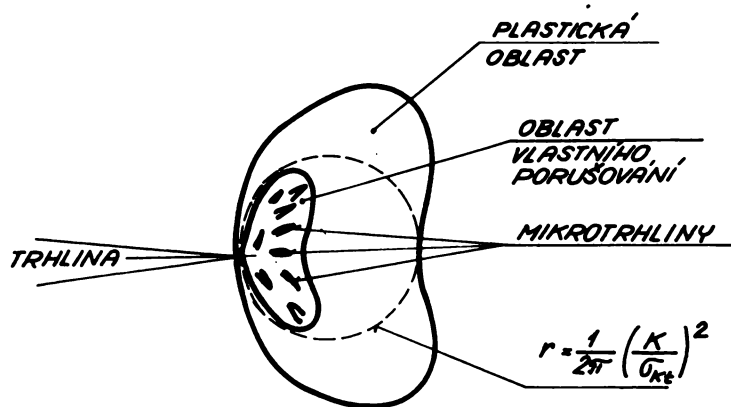
См. . .



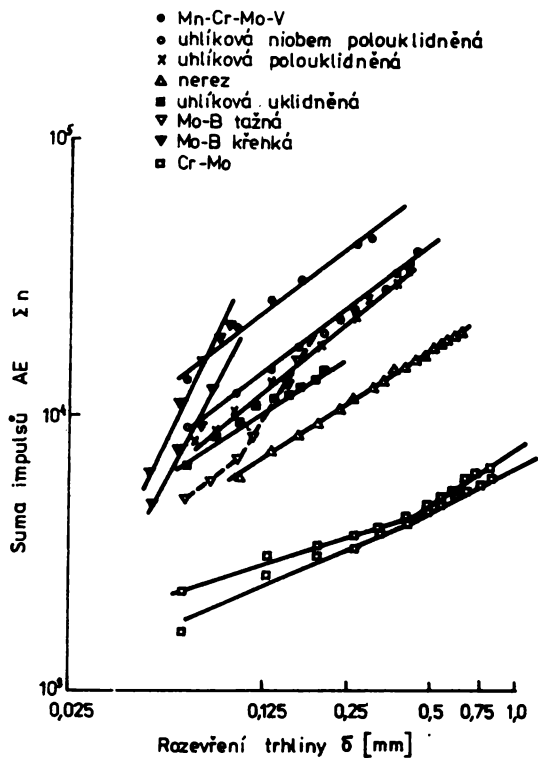
01. 3

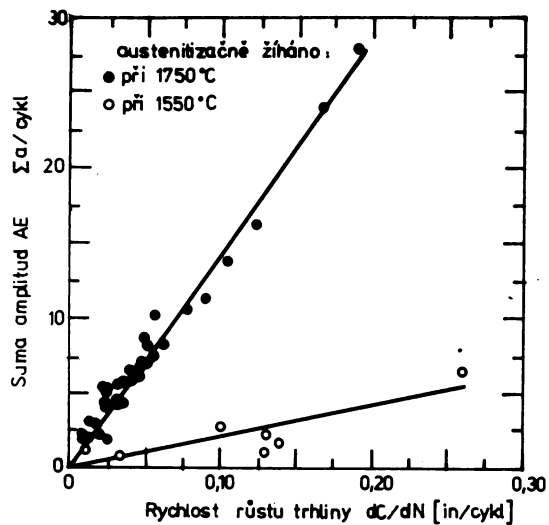


Obč. 1.

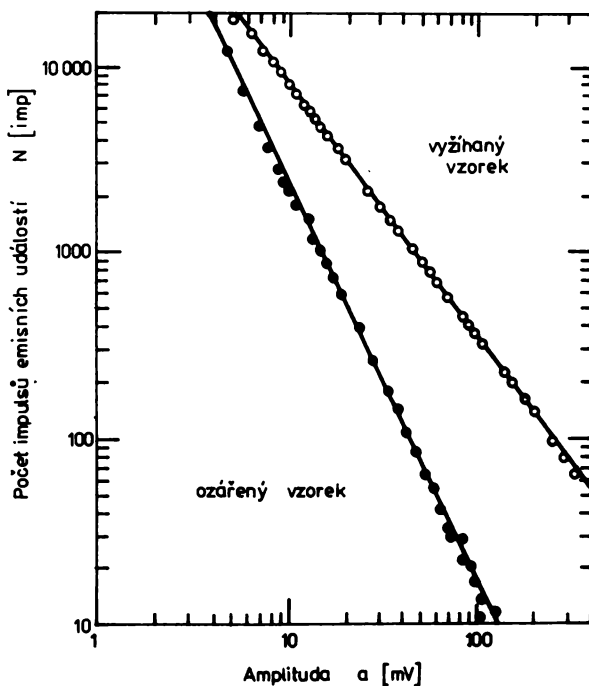


0.5

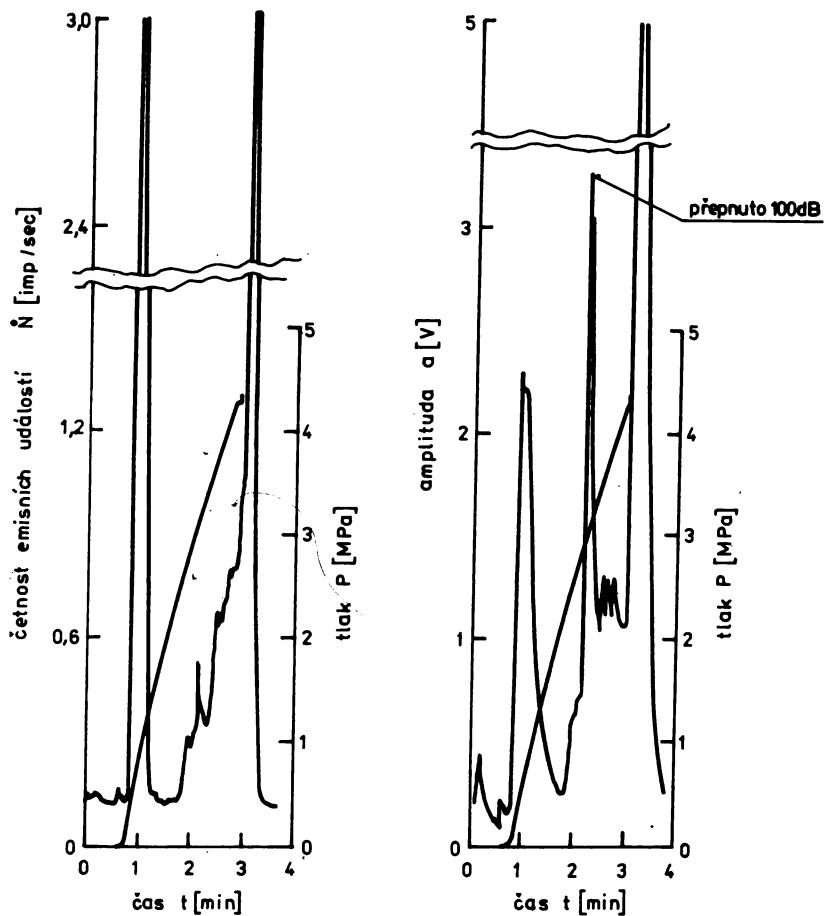




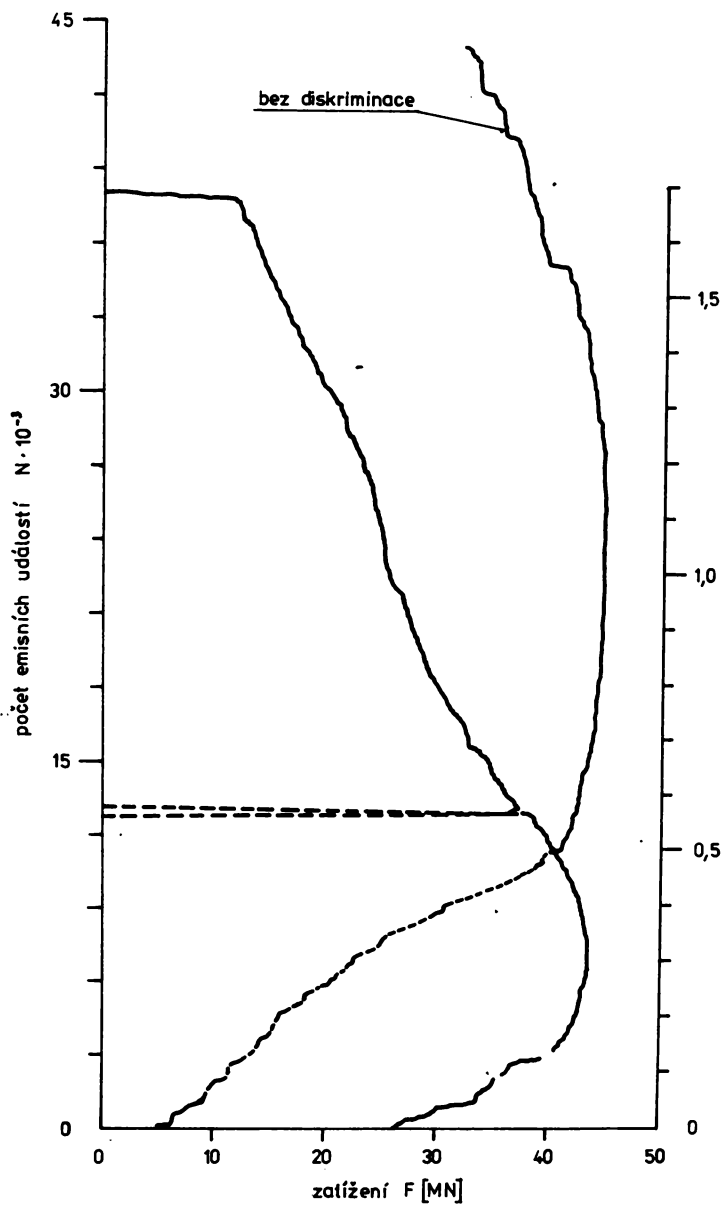
Obr. 7



Obr. 8.



Obz. 9



Obr. 10.

