

AKUSTICKÁ EMISE A STADIA VYSOKOCYKLOVÉ ÚNAVY

M. Černý, P. Mazal, J. Filípek, L. Zyková

Došlo: 10. prosince 2004

Abstract

ČERNÝ, M., MAZAL, P., FILÍPEK, J., ZYKOVÁ, L.: *Acoustic emission and stage of high-cycle fatigue*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2005, LIII, No. 2, pp. 45-62

From the material echo point of view, talking about high-cycle fatigue, when nondestructive tests of acoustic emissions has been made. Five stages of steel fatigue have been approved and divided agreeably with the shape of individual records. These records have been measured in tests and verified using the visual metallography of material surface. The aim of presented work is to choose from samples with highest levels of emissions of tension waves and its impulses during push-pull loading and than to compare them with random chosen sample from cast iron.

Acquired figures of compared materials were not identical, not because of the difference of phase layout and other mechanical features, but there were acquired similar curves for exact levels of fatigue characteristic for tested materials.

As the result we can take the confirmation of echo application in material, in accordance with known material wear from the force/frequency dependance.

high-cycle fatigue, acoustic emission, S-N curves, stages of fatigue

Únavové vlastnosti materiálů zůstávají stále v centru zájmu pozornosti mnoha odborných pracovišť. V současné době vědečtí pracovníci zkoumají průběh poškození materiálu mimo jiné i metodou akustické emise (AE). Pojem akustická emise se objevil v 50. letech dvacátého století, kdy byla studována plastická deformace (pohyb dislokací), resp. další procesy vyvolávající elastické napěťové vlny v materiálu. Avšak samotný jev vzniku akustických projevů v namáhaném tělese je znám již několik staletí. Vlny šířící se tělesem např. z místa vzniku poškození, mohou napomáhat při objasňování procesů, které uvnitř materiálu probíhají. Plně porozumět informacím získaným z AE není zatím možné, neboť dosud nejsou zcela jednoznačně definovány požadavky na postupy provádění a standardní hodnocení AE.

Za únavu materiálu jsou označovány pochody, které probíhají v materiálech vystavených působení cyk-

licky proměnných napětí (resp. deformací). Jedním z hlavních parametrů je čas a frekvence zatěžování, tedy počet zatěžovacích cyklů. Cyklicky se měnící napětí je důsledek změny vnějšího zatížení. Únava materiálu tak může být po určitém počtu zatěžovacích cyklů příčinou porušení konstrukcí i v případě, že maximální hladina napětí je nižší než mez kluzu. Proces poškozování probíhá bez makroskopické plastické deformace i u materiálů, které jsou výrazně tvárné a postupující poškození prakticky nelze indikovat.

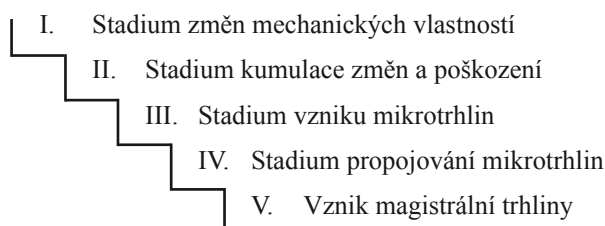
Únavová degradace má nevratný kumulativní charakter. Probíhá nukleací poruch a jejich šířením. Rostoucí trhliny zmenšují nosný průřez, nominální napětí vzrůstá až na kritickou hodnotu, při které nastane náhlý kvazikřehký lom. Základní únavovou charakteristikou je tzv. S-N (Wöhlerova) křivka, která udává závislost amplitudy napětí σ_a na logaritmu počtu cyklů do lomu N, přičemž amplituda napětí je konstantní.

Nejvyšší amplituda napětí, při které nedochází k lomu ani po vysokém počtu cyklů, se nazývá mez únavy σ_c . Pro stanovení S-N křivky se zpravidla používají hladké vzorky zatěžované při homogenní napjatosti v tahu – tlaku (někdy i při střídavém krutu nebo ohybu). Její průběh je poněkud odlišný pro oceli a slitiny neželezných kovů. U ocelí (resp. jiných intersticiálních slitin) na sestupnou větev křivky navazuje větev vodorovná, která zpravidla při počtu cyklů $N = 10^6$ až 10^7 přesně definuje mez únavy σ_c . Sestupné části křivky lze přiřadit tzv. časovanou mez únavy σ_N .

Časovaná mez únavy i při symetrickém cyklu může

překročit mez kluzu. Ve vzorku probíhají makroskopické tvárné deformace. Je účelné rozlišovat únavu nízkocyklovou, kdy je počet cyklů do lomu N menší než $10^2 - 10^4$, a únavu vysokocyklovou, kdy N je větší. Charakter cyklu je určen poměrem horního σ_h a dolního σ_n napětí, ze kterých při daném způsobu zatěžování (tah – tlak, ohyb, krut) lze stanovit další charakteristické veličiny, a to střední napětí σ_m , amplitudu napětí σ_a apod.

Charakter dějů v cyklicky zatěžovaném materiálu se mění v průběhu zatěžování a často se odlišují následující stadia únavového procesu:



I. stadium – změny mechanických vlastností

Únavové skluzové čáry na povrchu vzorku jsou strukturní změny, které tvoří nukleační zárodky únavového lomu. Na reliéfu skluzových čar vznikají submikroskopické poruchy soudržnosti. Současně s těmito pochody nastává střídavá mikroplastická deformace v celém objemu vzorku. Změny mechanických vlastností se projeví např. změnou plochy hysterezní smyčky nebo změnou tahového diagramu cyklicky deformovaných vzorků. Uvedené chování se vztahuje k amplitudám napětí způsobujícím porušení po více než 10^5 cyklů střídavého zatěžování.

Při cyklickém namáhání vzorku lze sledovat zpevnování daného materiálu cyklickou deformací. Zpevnění má ve srovnání se zpevněním probíhajícím při statickém zatížení dvě zvláštnosti:

- cyklicky zpevněný materiál má stejnou mez průtažnosti v tahu i tlaku,
- zpevnění je více ovlivněno snížením teploty.

Změna je přisuzována vlivu vakancí, které mají důležitou roli při cyklickém zatěžování. Důkaz lze získat při zatěžování vzorků za teplot, kdy jsou vakance nepohyblivé. Kromě zpevnění vyvolaného shlukem dislokací způsobuje cyklická deformace i zvětšení třecího napětí v mřížce. To se projeví růstem skluzového napětí v pružné plastické oblasti při statickém namáhání cyklicky deformovaného vzorku. Zpevnění je způsobeno interakcí pohybující se dislokace s malými dislokačními smyčkami ve skluzové rovině. Během cyklického zatěžování při normálních teplotách

vznikly bodové poruchy, jejichž shlukování a interakce s dislokacemi probíhá již v průběhu zatěžování. Největší část zpevnění nastává už během prvních cyklů deformace. Obecně skluz v matici končí zhruba po 15 % celkového počtu cyklů. Ke konci stadia změn mechanických vlastností se začíná skluz lokalizovat do výše uvedených skluzových čar. Změny mechanických vlastností jsou ovlivněny atomy uhlíku a dusíku přítomnými v intersticiálních polohách. S počtem cyklů roste četnost i výraznost skluzových pásů, které se jeví jako sled výstupků a brázd (Píšek, Jeníček, Ryš; 1968).

Pozn.:

Cyklické zpevnění se vyskytuje zejména u materiálů vyžíhaných, u kterých je hustota dislokací malá.

Cyklické změkčení se projevuje se u materiálů zpevněných různými proměnami (zpevnění deformační, substituční, intersticiální, precipitační apod.).

II. stadium – nukleace únavových trhlin

Procesy druhého stadia probíhají v objemech povrchové vrstvy. V místech intenzivní lokalizované plastické deformace dochází k nukleaci mikroskopických poruch soudržnosti. Koncentrace plastické deformace souvisí s koncentrací napětí, které nastává v místech vrubů. Zvýšená úroveň napětí na povrchu ve srovnání s celým zbývajícím objemem je hlavní příčinou, proč u homogenních materiálů dochází k nukleaci únavových trhlin v povrchových vrstvách. Mikroskopicky je nukleace lokalizována do míst povrchu s výraznou koncentrací cyklické plastické deformace. Jsou to

hranice zrn, rozhraní mezi vměstky a matricí se skluzovými únavovými pásy apod. Dislokační struktura těsně pod povrchem se výrazně odlišuje od struktury svého okolí (Klesnil, Lukáš, 1975; Suresh, 1998; Wu a kol., 1999).

III. stadium – vznik mikrotrhlin

Nukleační stadium končí vytvořením povrchových mikrotrhlin, které leží podél aktivních skluzových rovin. Výjimku tvoří interkrystalické trhliny. Při vysokém počtu skluzových systémů u kovů působí jako aktivní roviny, jejichž orientace je blízká sklonu 45° vzhledem ke směru působícího vnějšího napětí.

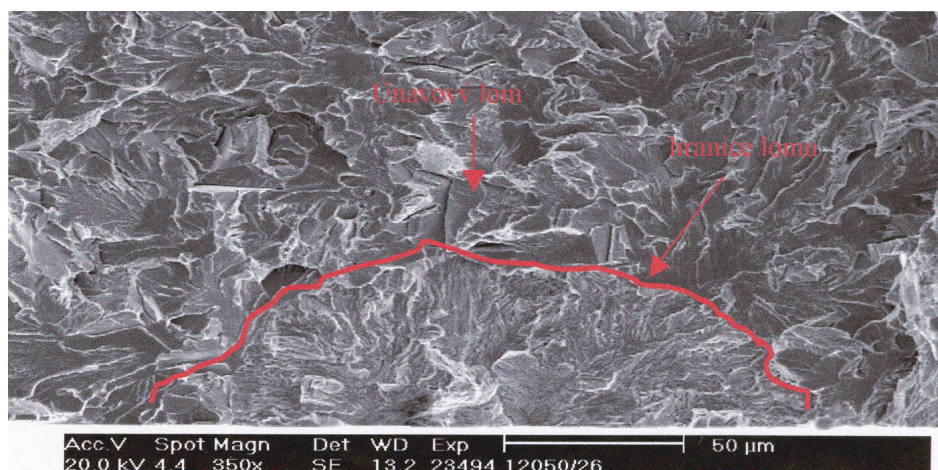
IV. stadium – šíření a propojování mikrotrhlin

V průběhu dalšího cyklického zatěžování se trhliny propojují a rostou do hloubky, většina z nich se zastavuje a jen malá část trhlin proniká do hloubky větší než desítky μm . S rostoucí hloubkou se trhliny vychy-

lují z aktivních skluzových rovin a stáčí se do směru kolmého k hlavnímu napětí. Způsob šíření je podobně jako v předcházejícím stadiu transkrystalický. Jen za zvýšených teplot se trhlina šíří interkrystalicky.

V. stadium – vznik magistralní trhliny

Přechod z krystalografického do nekrystalografického šíření trhlin obvykle nastává při délce trhliny několik desetin μm . Rychlost šíření je stále malá. Při nekrystalografickém šíření se zpravidla zvětšuje už jen jediná trhlina (tzv. magistralní) a přechod končí náhlým lomem zbývající části nosného průřezu (Obr. 1). V řadě případů je podstatná část lomové plochy pokryta jemnými žlábkami, které jsou přibližně kolmé na směr šíření trhliny. Předpokládá se, že žlábek odpovídá jednomu až několika zatěžovým cyklům, neboť existují cykly, při kterých trhlina nepostupuje (Klesnil, Lukáš, 1975).



1: Příklad vzhledu únavového lomu oceli 12 050 (vzorek dolomen v dusíku)

AKUSTICKÁ EMISE (AE) – metoda nedestruktivního zkoušení materiálu

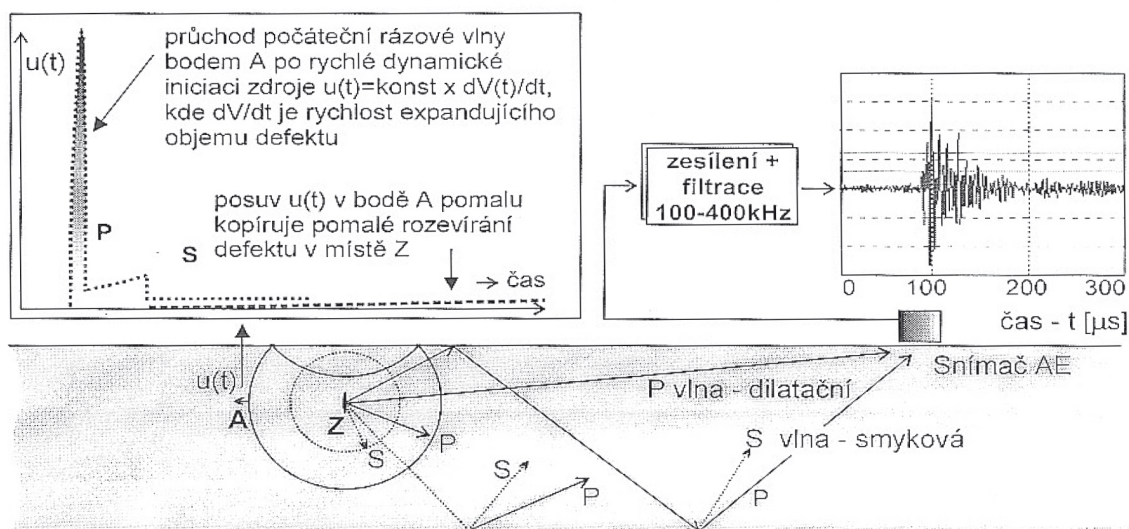
Akustická emise patří k pasivním inkohherentním metodám, která využívá postupných vlnových pulsů.

Výhody metody AE:

- vysoká citlivost metody,
- detekce vad v celém objemu sledovaného tělesa i na větší vzdálenosti,
- možnost připojení k vnějším signálům,
- možnost měření zkoušeného vzorku za provozu,

- výsledek měření je předáván formou protokolu dle požadavků daného oboru.

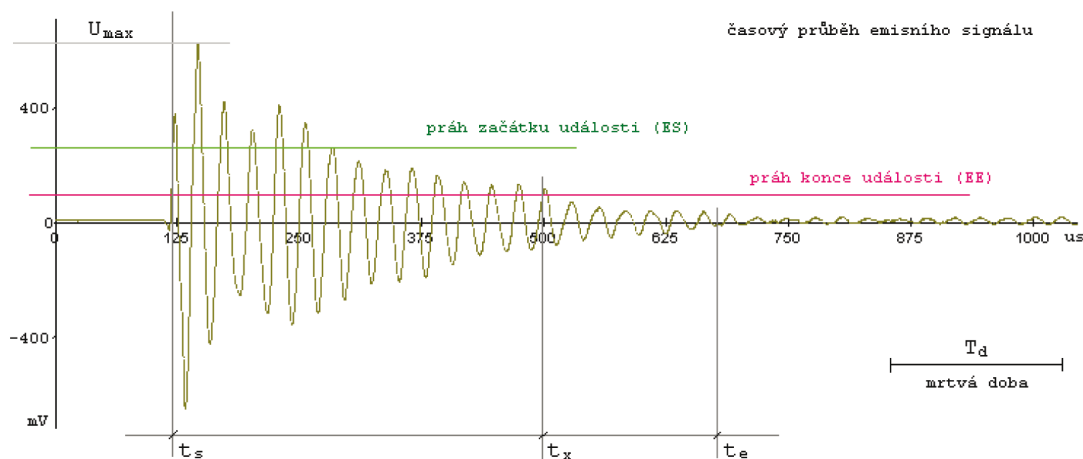
Pojem akustická emise označuje jev, při němž sledujeme akustické signály, vysílané namáhaným tělesem, a zároveň diagnostickou metodu založenou na tomto jevu. Signály akustické emise, doprovázející dynamické procesy v materiálu, se projevují jako postupné elastické vlnění, přičemž zdrojem těchto vlnových signálů jsou náhlá uvolnění energie v materiálu. Tento proces provází i deformační, lomové procesy (Obr. 2) (ČSN EN 1330-9, 2000).



2: Schéma šíření signálu AE

Aktivní trhliny jsou velmi významnými zdroji emisních událostí, nikoliv však jedinými. Při pohybu dislokací podél krystalické mřížky materiálu provázejících plastickou deformaci vzniká rovněž akustická emise. Zdrojem této nepatrné energie je přesun dislokace a její interakce s jinou dislokací nebo shlukem vakancí. Při současném pohybu velkého počtu dislokací vzniká téměř spojitý akustický signál, který již lze zaznamenat při vyšší citlivosti snímáčiho zařízení. Signály AE se vyhodnocují např. podle počtu a podle velikosti amplitudy. Nejjednodušší je počítat počty překmitů přes tzv. prahovou úroveň ES (Obr. 3). Tato úroveň je nastavitelná, čímž lze řídit minimální hladinu, při jejímž překročení, tzn. překmitu, dojde k vytvarování jednoho impulsu, který čítač za-

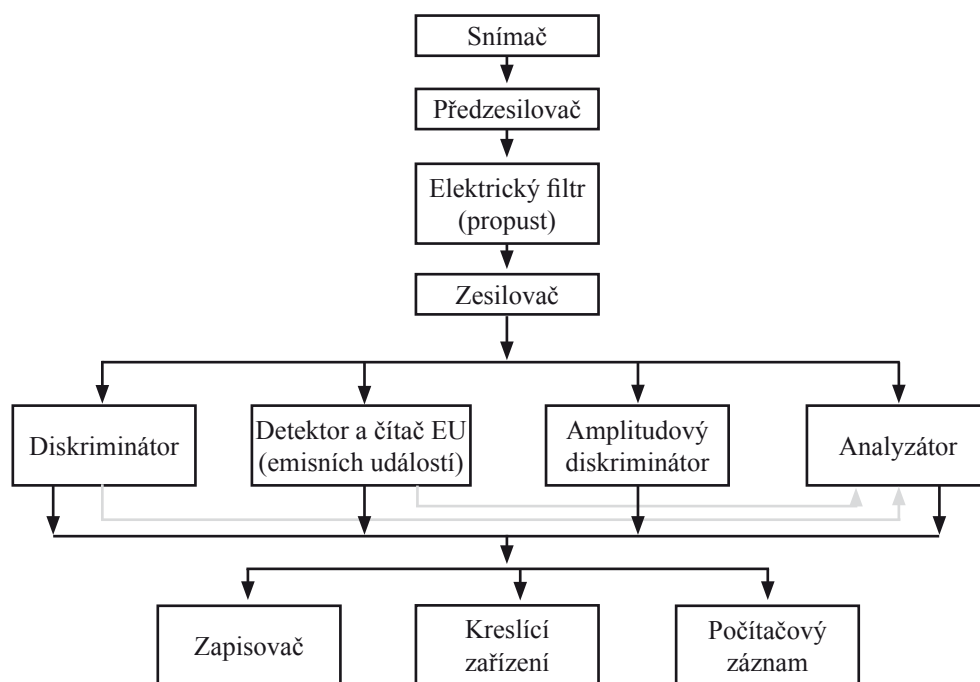
počítá. Jedna emisní událost může vytvořit několik překmitů, jejichž počet závisí na nastavení prahové úrovně. Chceme-li započítat emisní události, je nutné vysokofrekvenční impuls emisních událostí usměrnit a odfiltrovat za mez započtení všech překmitů kromě prvního. Usměrněním (detekcí) vznikne obalová křivka emisní události. Časová konstanta filtrace je nastavitelná a volí se podle předpokládaného frekvenčního pásma, počtu kmitů a zejména pak podle opakovací frekvence jednotlivých akustických událostí. Počty překmitů nebo událostí, jakož i jejich četnosti jsou tzv. kumulativní parametry. Frekvenční i amplitudové pásmo akustické emise je rozsáhlé, od jednotek Hz po vysoké ultrazvukové frekvence v MHz (ČSN EN 13554, 2002).



3: Časový průběh emisního signálu (ZD Rpety-Dakel, 2001)

Tvar pulsu a pokles amplitudy záleží na geometrii a rozměrech vzorku a na jeho materiálových vlastnostech. Vzorky s převládajícím podélným rozměrem mají slabou odezvu. Geometrická a materiálová kombinace silně ovlivňují energetickou bilanci. Pro detekci signálů lze využít piezooptické, elektron-fotonové či kvantové interakce. Inkohrentní zvuk bývá buzen dynamickými procesy, např. plastickou deformací. Typy generace a detekce vlny se mohou realizovat bezkontaktním způsobem stojatých či postupných vln (Chimenty, 1997).

Pro určení příčiny vzniku emisní události je nutno provést frekvenční analýzu spektra snímaného signálu AE. Snímače akustické emise „sondy“ jsou uzpůsobeny pro příjem povrchových vln, které převádějí na elektrické signály. Tyto signály jsou zesíleny, filtrovány a uloženy. Měřicí proces systému akustické emise začíná okamžikem, kdy hodnota zesíleného a filtrovaného analogového signálu přesáhne nastavenou prahovou úroveň (Obr. 4) (Chimenty, 1997).



4: Příklad systému pro snímání a zpracování signálu AE

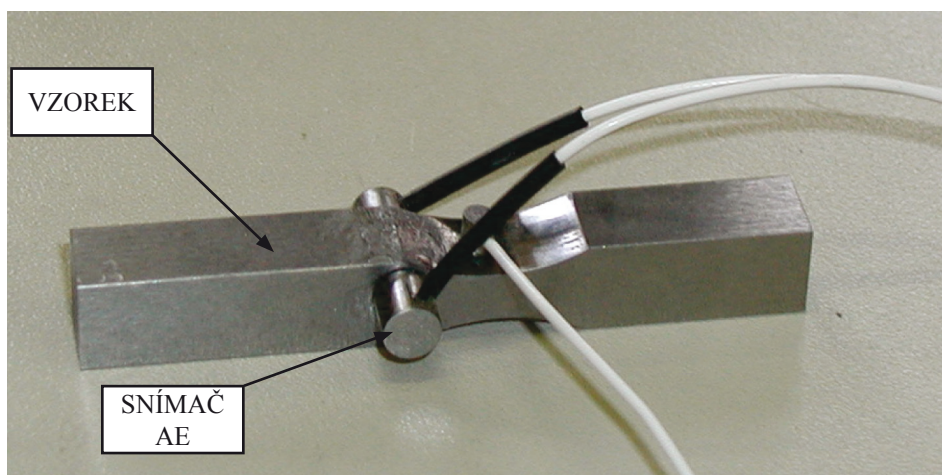
Úkolem práce bylo zhodnocení možností nově používané měřicí techniky v oblasti modelování procesu vysokocyklové únavy a včasného podchycení rozvoje únavové degradace materiálu v napětově-deformačních podmínkách technické praxe.

MATERIÁL A METODIKA

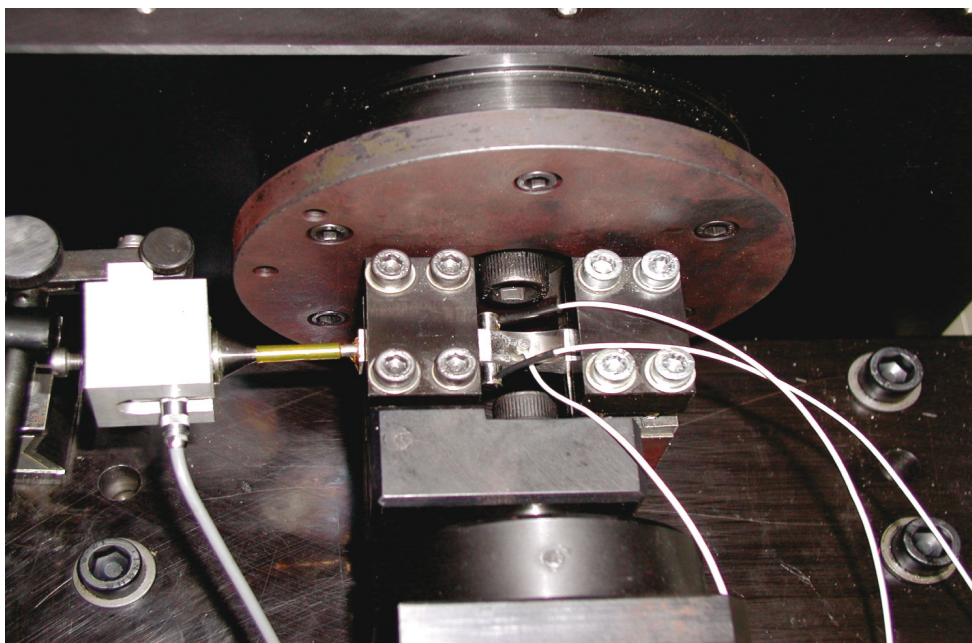
Pro experimenty se použila ocel 12 050 (ČSN 41 2050, EN 86 – 70), která je typickým představite-

lem skupiny ocelí tř. 12. Tuto třídu tvoří konstrukční oceli, u kterých je odstupňován obsah uhlíku podle požadovaných mechanických vlastností od 0,10 % C do 0,90 % C.

Měření bylo provedeno na elektrozonančním pulzátoru Rumul Cracktronic, který je využíván pro základní únavové zkoušky materiálů. V průběhu měření lze určit počet cyklů do lomu a mez únavy (Obr. 5 a 6).



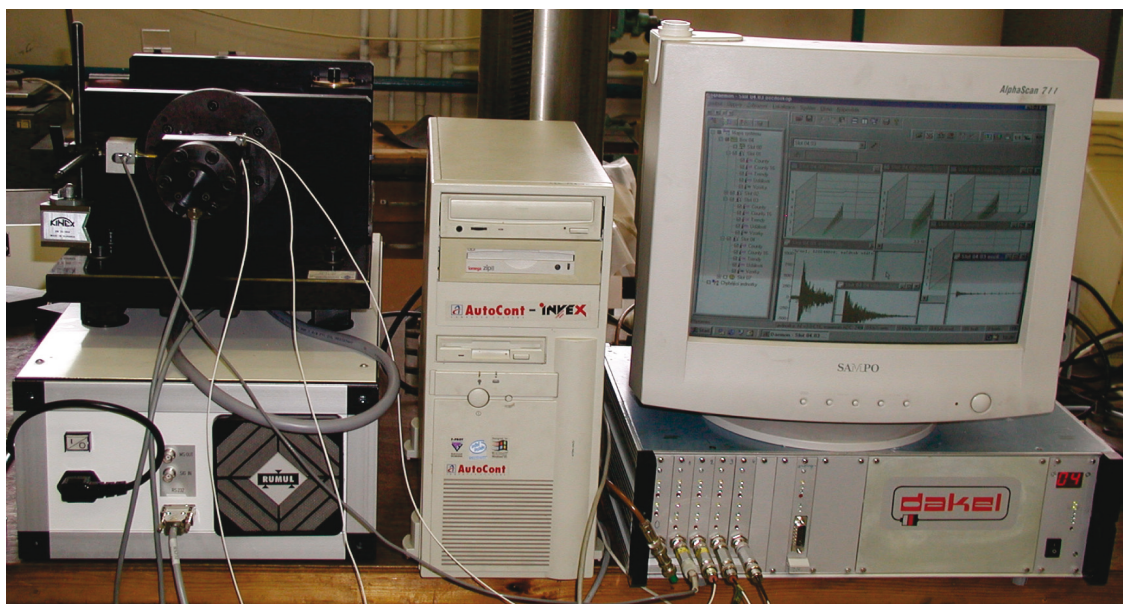
5: Vzorek se snímači AE připraven na zkoušku



6: Vzorek umístěný v pulsátoru Cracktronic

Nastavení zesílení, časového intervalu, vzorkovací rychlosti a dalších hodnot pro realizaci experimentu

se provedlo přímo v PC – software Daemon - fy Dakel (Obr. 7).



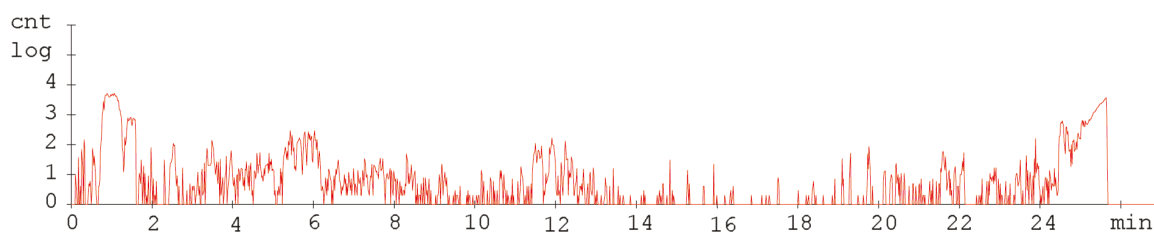
7: Měření události AE – měřicí sestava (vlevo pulzátor, vpravo analyzátor AE)

VÝSLEDKY

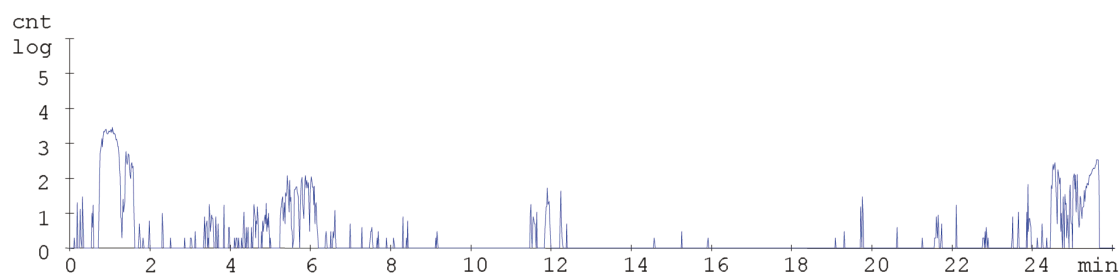
Pro měření bylo zvoleno snímání signálu AE ve všech 16 použitelných prahových úrovních tak, aby bylo možno odlišit změny v intenzitě signálu v různých stádiích poškození materiálu. Úroveň zesílení signálu byla nastavena s ohledem na maximální po-

tlačení šumové aktivity pozadí. V následujících grafech bude svislá osa s označením cnt log označovat logaritmickou stupnici počtu překmitů a vodorovná osa označená min nebo sec čas v minutách nebo sekundách. Následně jsou uvedeny nejaktivnější hladiny (Obr. 8):

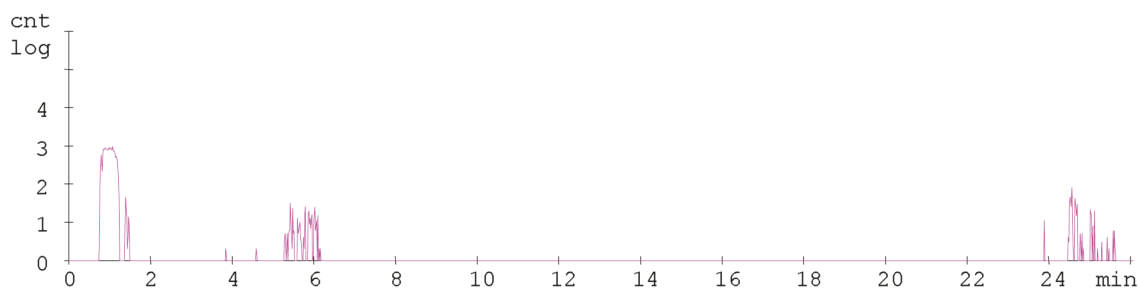
hladina číslo 2



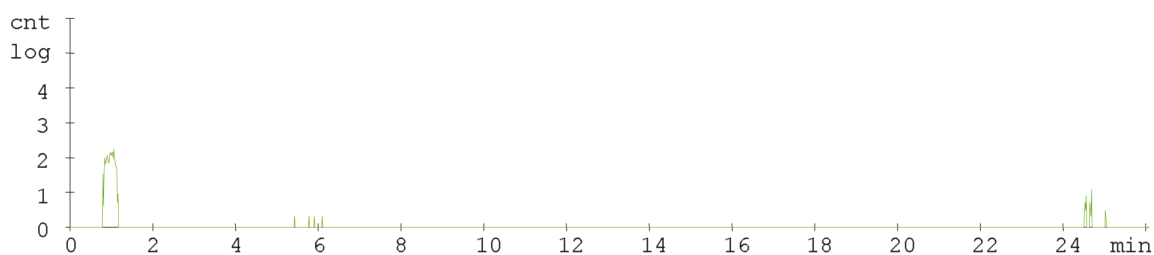
hladina číslo 3



hladina číslo 6



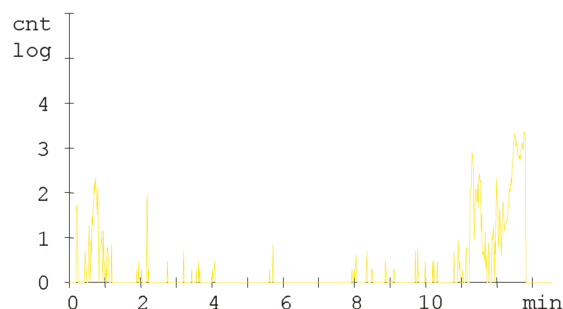
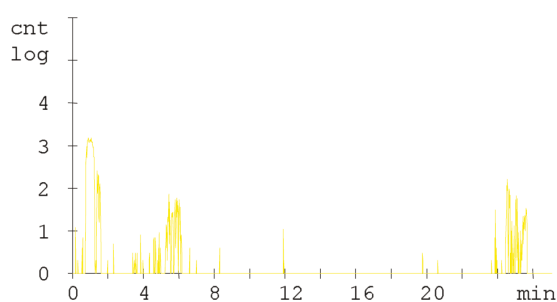
hladina číslo 8



8: Příklady záznamů vybraných hladin AE signálu v průběhu únavového procesu (cca 150 000 cyklů do lomu)

Hladina č. 2 zaznamenala první překročení prahu napětí. Je to nejcitlivější práh snímaného vzorku – zaznamenává nejvíce událostí v materiálu. Nejvyšší úroveň napětí (hladina 2 a 3) lokalizuje nejzásadnější změny probíhající v materiálu od prvního namáhání. Grafické průběhy lze verifikovat porovnáním s vý-

sledky statických zkoušek. Pro srovnání jsou uvedené dva vzorky měřené při stejném zatížení snímači shodného zesílení ve stejné hladině (Obr. 9). Je zřejmé, že charakter záznamů je identický v rámci statistického rozptylu výsledků měřených mechanických vlastností.

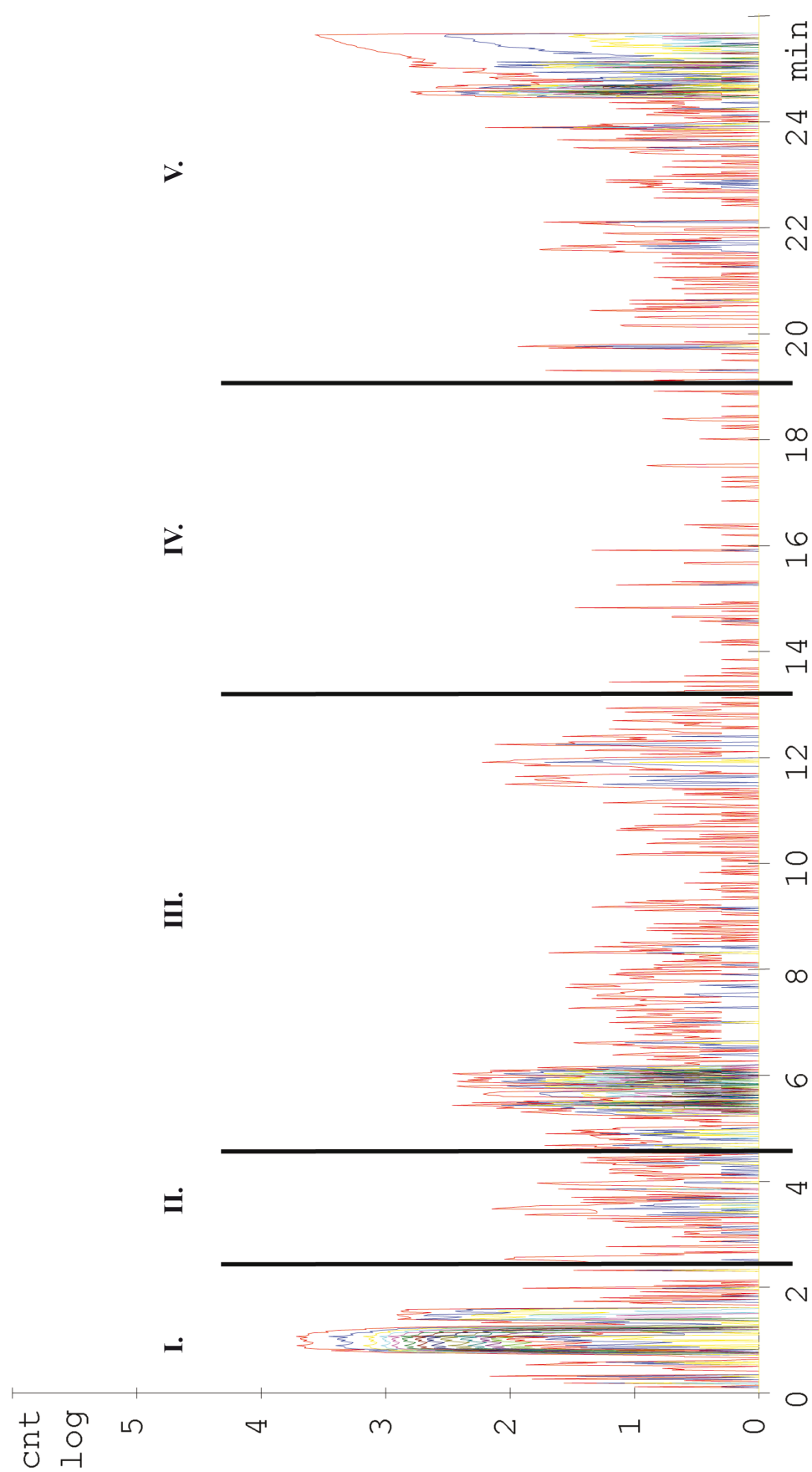


9: Srovnání záznamů ze dvou různých vzorků

Posouzení únavového poškození oceli

Celkový vzhled záznamů akustické aktivity (do nukleace únavové trhliny) s ohledem na identitu

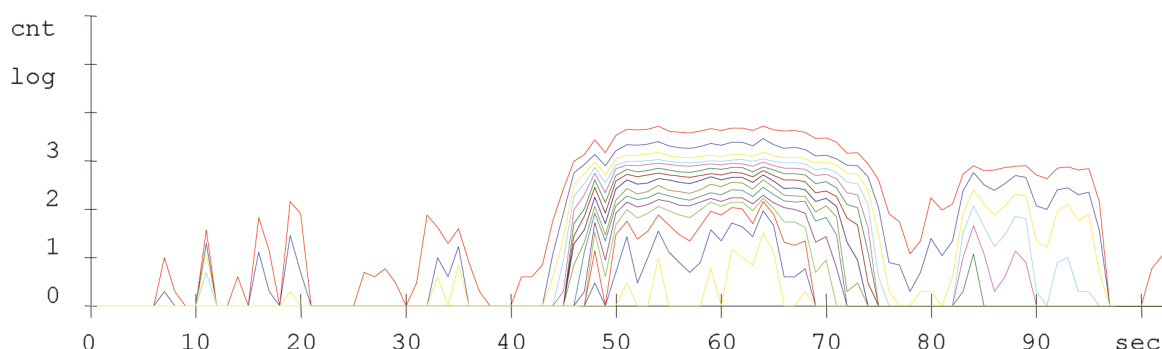
v tvaru záznamu u všech zkoušek lze rozdělit na následující stadia (Obr. 10).



10: Odhad trvání jednotlivých stadií únavového porušení s ohledem na signál AE

I. stadium – Stadium změkčení

Doba trvání: cca od 0 do 2 min



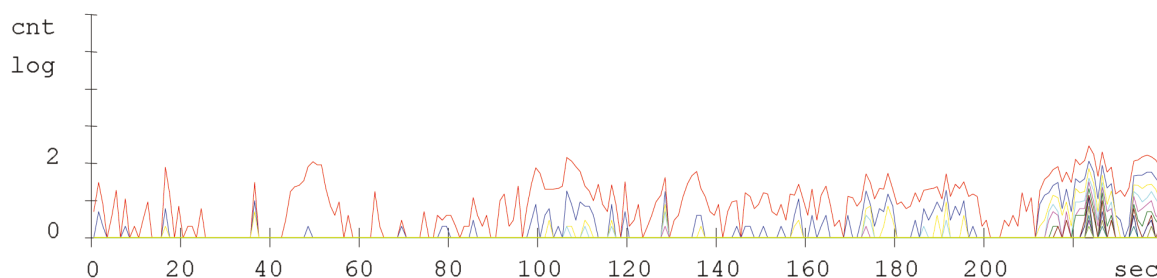
11: Detail záznamu aktivních hladin AE v prvním stadiu únavového procesu

Únavové poškození ve stadiu předcházejícím vlastní nukleaci mikrotrhlin je dáno primárně ostrostí a četností povrchových vrubů vzniklých skluzem (intruze, extruze) a v menší míře stavem dislokační struktury

v jejich okolí. Vznik jemných skluzových čar během prvního stadia únavového procesu (v našem případě se jedná o změkčení) je projevem rozvoje buněčné dislokační struktury.

II. stadium – Stadium kumulace změn a poškození

Doba trvání: cca od 2 do 4 min



12: Záznam aktivních hladin AE ve druhém stadiu únavového procesu

Toto stadium je zřetelně klidnější než předchozí. Zaznamenané aktivity jsou závěrečné kumulace změn v materiálu. Vznik pásové dislokační struktury, dislokace na povrchu, inkluze a precipitáty na povrchu zvýší efekt koncentrátorů napětí a tím i vzhled záznamu událostí v AE. Nukleace probíhá na volném povrchu cyklicky v místě koncentrace plastické deformace. I v podmínkách jednoosé napjatosti je zpravidla nutno připustit jistou excentricitu zátěžné síly, která

vede ke vzniku malého ohybového momentu a tím ke zvýšení skutečného napětí působícího v povrchové vrstvě. Hladina napětí na povrchu je citlivá na povrchovou topografii. Povrch není ideálně rovný. I nejmenější broušení vede k povrchovým nerovnostem, které působí jako lokální koncentrátoři napětí. V průběhu plastické deformace vycházejí dislokace na volný povrch a vytvářejí tak povrchový reliéf. V místě původně ideálně rovného povrchu se tedy vytvoří ne-

rovnosti, které opět působí jako velmi lokalizované koncentrátoři napětí (působí taktéž i vměstky, precipitáty apod.). Délku nukleačního období nelze stanovit zcela přesně. Je otázkou, do jaké hloubky a délky mikrotrhlin je možno hovořit o nukleaci, a od kterých hodnot již o šíření mikrotrhlin – jedná se o spojitý proces. Z tohoto důvodu jsme odkázáni jen na konvenci volby délky trhliny, kterou budeme považovat za konec nukleačního období.

III. stadium – Vznik mikrotrhlin

Doba trvání: cca od 4 do 13 min (Obr. 10).

Pozorováním optickým mikroskopem je možné zjistit nukleační místo, a to v oblasti únavového skluzového pásma, kde s přibývajícím počtem cyklů roste intenzita a četnost skluzových pásů. Jejich tvorba začíná zpravidla až ke konci druhého stadia únavového procesu. Na povrchu lze pozorovat první mikrotrhliny délky řádu μm .

IV. stadium – Propojování mikrotrhlin

Doba trvání: od 13 do 19 min (Obr. 10).

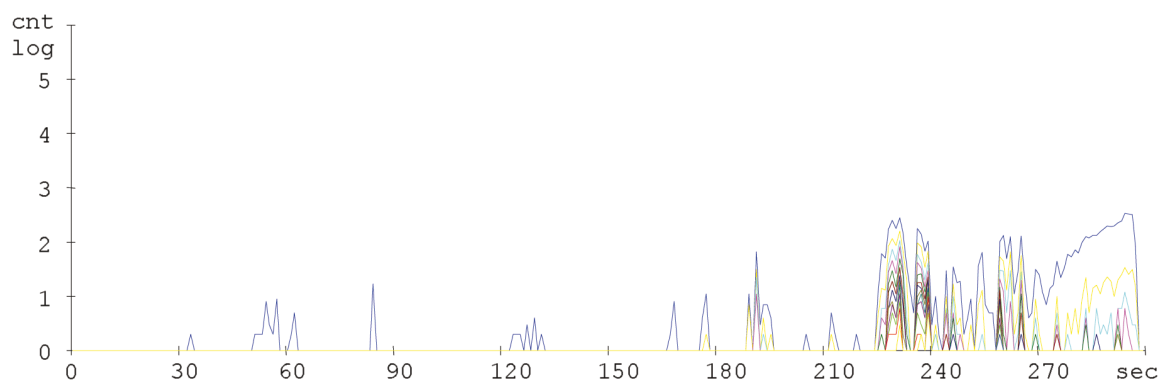
Spojování mikrotrhlin je provázáno téměř nulovou

akustickou aktivitou. Mikrotrhliny leží podél aktivních skluzových rovin. V průběhu dalšího cyklického zatěžování se trhliny propojují, rostou dále do hloubky, a to podél rovin (sklon 45°). Vzájemné propojování je energeticky nenáročné, tj. s minimální emisí vln. Většina se však zastaví a jen několik proniká do hloubky větší než $10 \mu\text{m}$. S narůstající délkou se trhliny vychylují z aktivních skluzových rovin a stáčí se do směru kolmého k vektoru hlavního napětí. Lze identifikovat plastickou zónu vznikající účinkem vysoké koncentrace napětí. Je to přechod z krystalografického šíření trhliny (I. etapa).

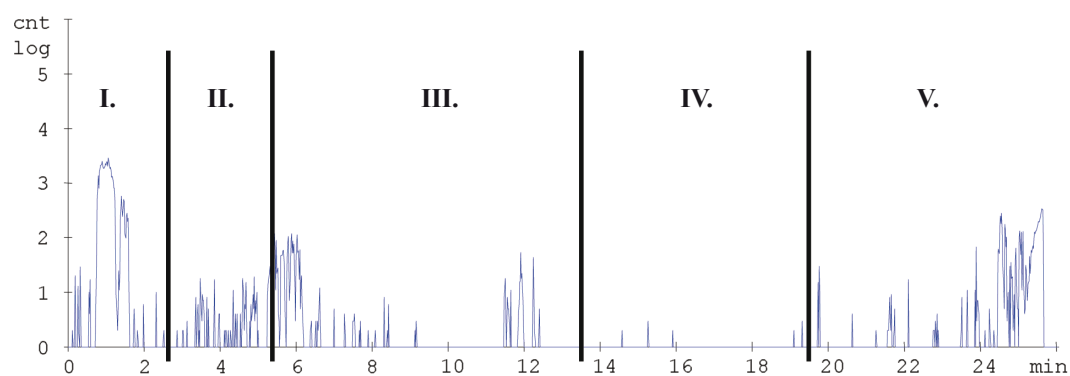
V. stadium – Magistrální trhlina

Doba trvání: cca od 19 min až lom vzorku.

Z krystalografického šíření přecházíme do nekystalografického šíření trhlin (II. stadium). Následně se šíří jen jedna trhlina označovaná jako magistrální (hlavní a největší). Na Obr. 13 přibližně od 230 sekund je patrné rozšiřování magistrální trhliny vedoucí k úplnému dolomení vzorku. Potřebný počet cyklů je o poznání menší než v části IV. a rychlost šíření trhliny je podstatně větší.



13: Záznam počtu překmitů AE v období vzniku a šíření magistrální trhliny

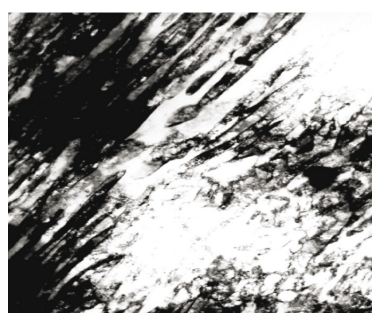


I. stadium



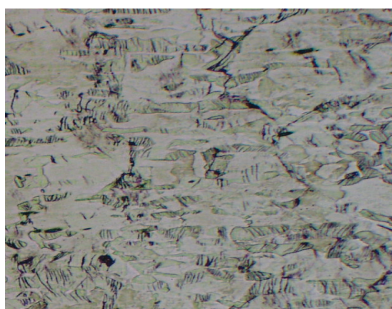
dislokační struktura buněčného charakteru

II. stadium



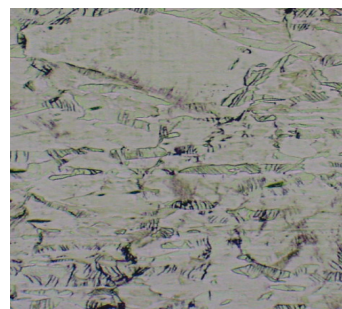
dislokační struktura pásového charakteru před vznikem mikrotrhlin

III. stadium



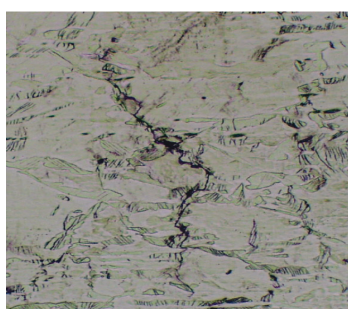
vznik jednotlivých mikrotrhlin

IV. stadium



spojování jednotlivých mikrotrhlin

V. stadium



magistrální trhlina

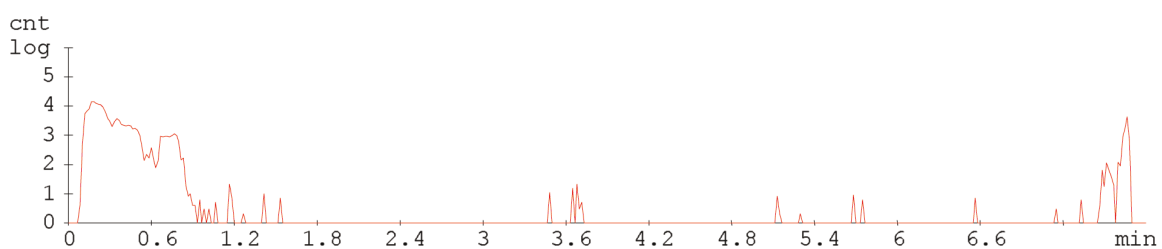
14: Záznam změn v jednotlivých stadiích únavového procesu

Vysokocyklová únava litiny

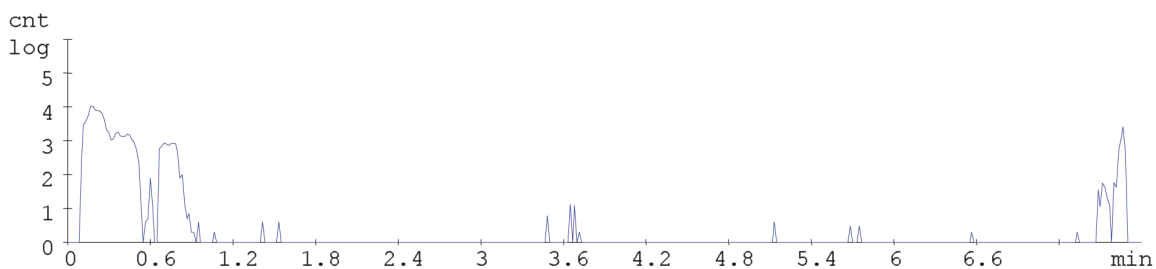
Pro ověření výsledků měření na oceli 12 050 a s ohledem na objektivnost získaných informací bylo provedeno i měření na litině. Byl vybrán v praxi často používaný materiál, jehož vlastnosti jsou dobře zná-

my z dalších experimentů – tvárná litina dle ČSN 42 2305. Vzorky byly zatěžovány shodným způsobem. Příklad získaných záznamů AE aktivity ve vybraných hladinách je na Obr. 15.

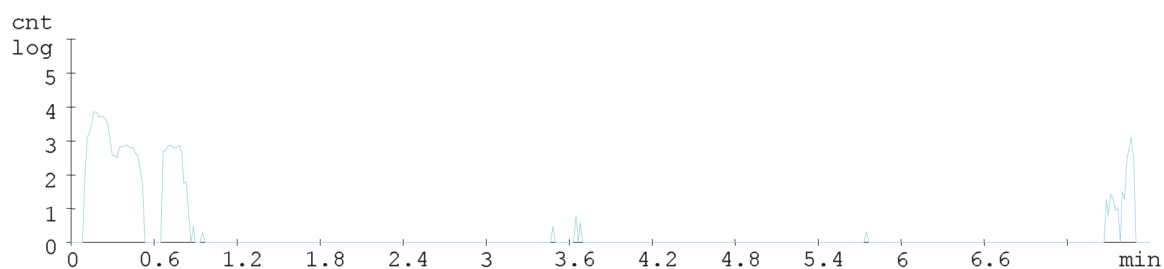
hladina 2



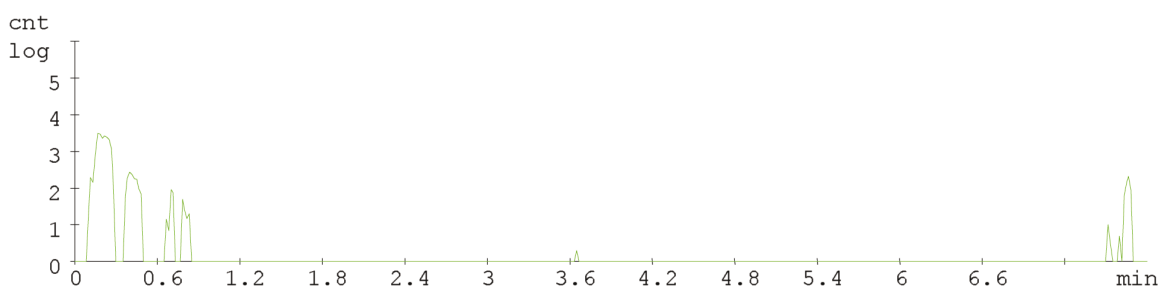
hladina 3



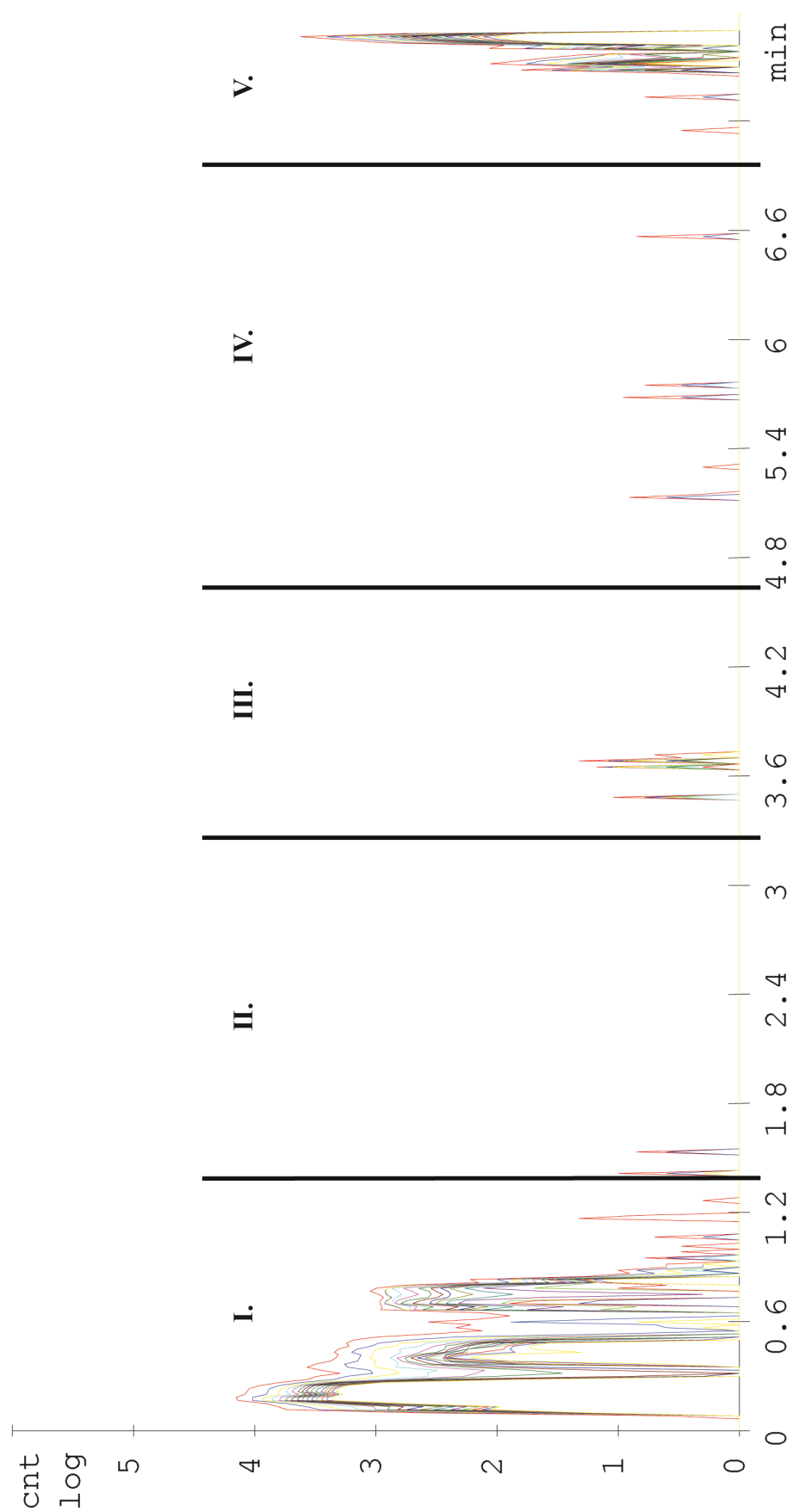
hladina 6



hladina 8



15: Záznam vybraných hladin signálu AE u vzorku z tvárné litiny (rozložený po hladinách)



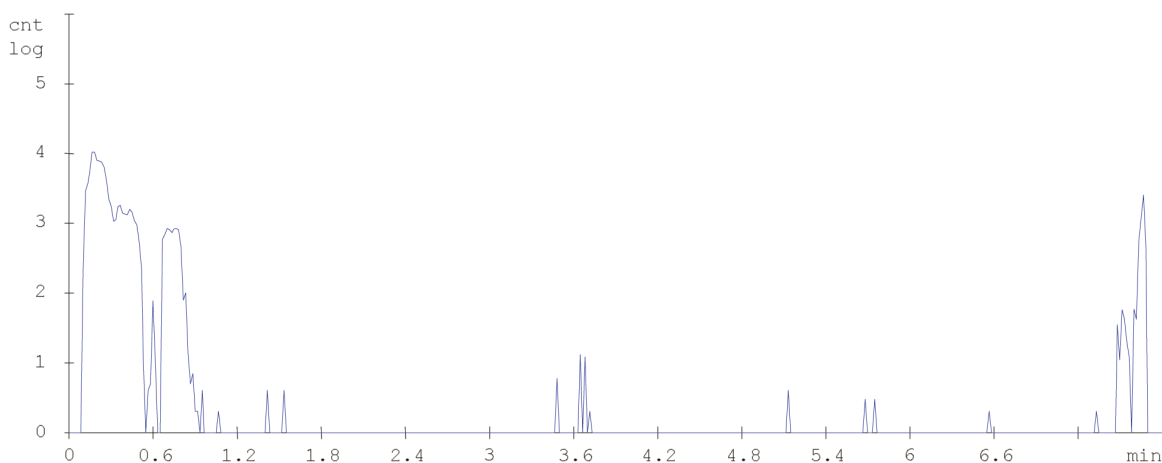
16: Sumární záznam všech hladin signálu AE pro tvárnou litinu

Rozklad záznamu pro jednotlivé hladiny názorně ilustruje možnost rozdělení kumulace poškození i základní stadia únavového poškození do jednotlivých stadií. Délka i tvar průběhů záznamů logaritmus po-

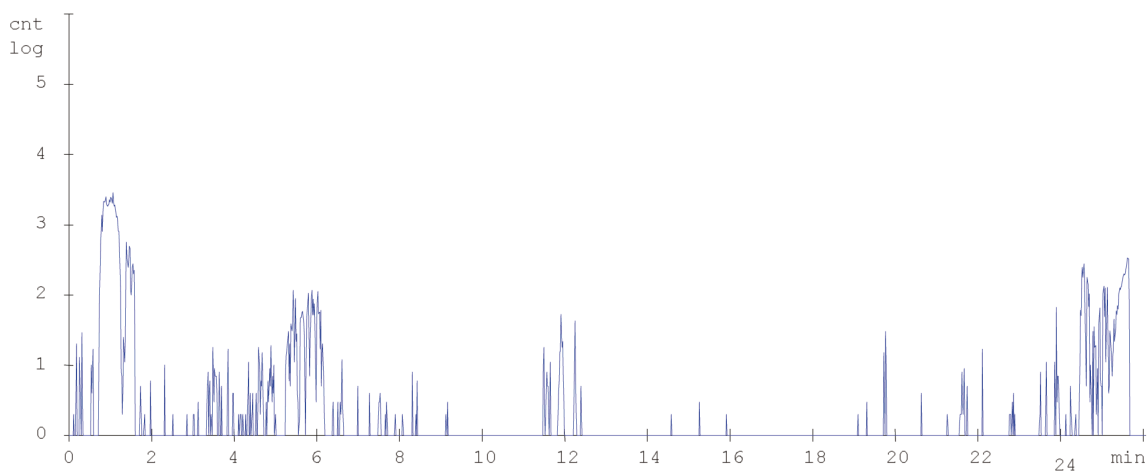
čtu překmitů vs. t jsou modifikovány mechanismem poškození únavových procesu u litiny, který je ovlivněn velikostí zrna a tvarem grafitických částic.

Srovnání materiálů ve stejné hladině

LITINA 42 2305



OCEL 12 050

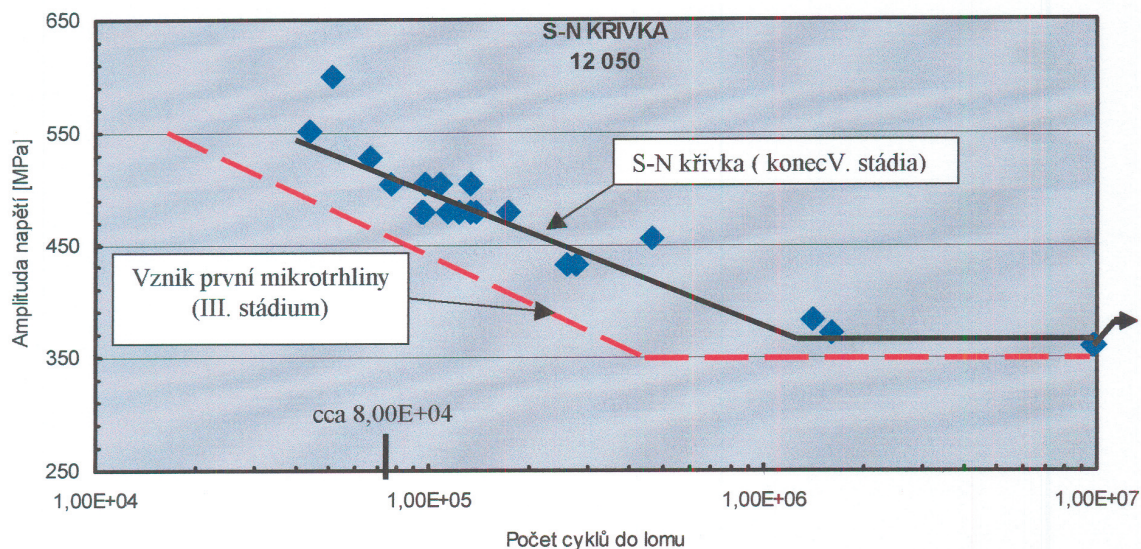


17: Srovnání hladiny č. 2 signálu AE v průběhu únavového poškození tvárné litiny a oceli

DISKUSE

Získané výsledky souhlasí (z hlediska vysokocyklové únavy) s hodnotami pro ocel 12 050 obecně uvedenými v materiálových listech. To dokumentuje soulad výsledných hodnot napětí a počtu cyklů s obecně platnou S–N křivkou. Přínos experimentu

lze spatřovat nejen v ověření hodnot σ_c , respektive N_p , ale i v možnosti přiřadit hodnoty napětí k počtu cyklů pro okamžik vzniku primárního poškození mezi hodnoty makroskopického projevu poškozovaného materiálu (Obr. 18).



18: S-N křivka s vyznačeným posunutím počátku degradace materiálu

Pozn.:

Otázkou zůstává, zda první mikroskopické poškození (např. cca 80 000 cyklů při 460 MPa) je z hlediska požadované odolnosti materiálu proti vysokocyklové únavě nutné brát v úvahu při posuzování celkové degradace materiálu – **přísnost kritéria**.

Srovnání výsledků, pozorování dislokační struktury, mikrotrhlin, malých trhlin i vznikající trhliny spolu s fraktografickým hodnocením a záznamem

akustického signálu v průběhu zkoušky umožňuje správné stanovení jednotlivých stádií rozvoje porušení materiálu vysokocyklové únavy. Přínosem je ověření základního tvaru křivky – logaritmus počtu překmitů – čas ve vztahu k mechanismu poškození z hlediska aplikace mikrostrukturně odlišného materiálu – litiny. Provedené zkoušky u litiny potvrdily platnost základního rozčlenění rozvoje porušení do jednotlivých stádií.

SOUHRN

Předkládaná práce shrnuje poznatky z oblasti postulování meze únavy a vlivu změny amplitudy napětí (tedy i deformace) na vlastnosti konstrukčních materiálů vystavených cyklickému namáhání. Zabývá se morfologií tvorby únavových lomů a jednotlivých únavových stádií pro lepší orientaci v popisu aplikace AE při jejich detekování. V oblasti experimentálních výsledků je uvedena problematika doplněna metodikou měření AE při vysokocyklové únavě na pulzačních strojích. Popisuje základní vyhodnocení získaných záznamů při ověřené aplikaci snímacích sond. Práce zcela přiřazuje akustickou aktivitu k jednotlivým stádiím únavového porušení konstrukčního materiálu (oceli i litiny). Výsledky umožňují zpřesnění kritérií pro výběr materiálu u významně mechanicky namáhaných součástí tak, aby nedošlo k rozvoji ani primárnímu porušení, které by mohlo být důvodem snížení životnosti. Toto posunutí S – N křivky je mimo aplikaci AE nerealizovatelné. Práci lze považovat metodickou a původní pro její detailní popis mechanismu poškození konstrukčních materiálů vysokocyklovou únavou z hlediska aplikace AE.

vysokocyklová únava, akustická emise, S-N křivky, stadia únavy

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

LITERATURA

- PÍŠEK, F., JENÍČEK, L., RYŠ, P.: Nauka o materiálu 1/2. Academia Praha 1968.
- KLESNIL, M., LUKÁŠ, P.: Únava materiálů při mechanickém namáhání. Academia Praha, 1975.
- SURESH, S.: Fatigue of Materials. Cambridge University Press, 1998.
- WU, X., R., WANG, Z., G. EDS.: Fatigue 99. Proceedings of the 7th Int. Fatigue Congress. Emas, Higher Education Press, Beijing 1999.
- ČSN EN 1330-9 Nedestruktivní zkoušení - Terminologie, 2000.
- ČSN EN 13554 Nedestruktivní zkoušení - akustické emise – všeobecné zásady, 2002.
- CHIMENTI, D. E.: Guided Waves in plates and their use in materials characterisation. Appl. mech. rev., s. 50, 1997.
- KŮS, M., PETŘÍK, M.: Plošná lokalizace zdroje akustické emise na základě statistických metod, NDT WELDING BULLETIN, 2003/3.
- KOULA, V. A KOL.: Problematika detekce akustické emise a stimulačních parametrů, NDT WELDING BULLETIN, 2000/4.
- ZD RPETY-DAKEL, Středisko technické diagnostiky, Praha: Piezoelektrický program, 2003.
- ZD RPETY-DAKEL, Středisko technické diagnostiky, Praha: Manuál k řídicímu a vyhodnocovacímu software DAEMon a DAEShow, 2001.

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., Ing. Lucie Zyková, Ústav konstruování, Vysoké učení technické Brno, Technická 2, 616 00 Brno, Česká republika

