

## VLIV KOROZE NA ÚNAVOVOU PEVNOST SVAROVÉHO SPOJE

M. Černý, J. Filípek, Z. Šoch

Došlo: 22. března 2007

### Abstract

ČERNÝ, M., FILÍPEK, J., ŠOCH, Z.: *Influence of corrosion on the fatigue strength of the weld joint.* Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 5, pp. 215–222

The fatigue fractures represent the most frequent failure cause of the machines and machinery in general. Under cycling loading, the fracture is mainly propagating from the surface of the part – the place with highest value of stress concentration. Fatigue strength is decreased by presence of the cracks, inclusions and rugged surface. The paper is focused on monitoring of the crack propagation in weld and heat-affected zone during the fatigue test. Comparison of corrosion-free test samples and samples treated in the salt cabinet is presented.

corrosion, fatigue fracture, cyclic loading, weld joint

Havarijní poruchy strojů a zařízení bývají nejčastěji vyvolány lomy a deformacemi strojních součástí. Lom je porušení homogenity materiálu v celém průřezu působením vnějších, popř. vnitřních sil. Podle mechanismu vzniku se dělí na statické (*křehké, houževnaté*) a únavové.

Únavové lomy vznikají v důsledku cyklického namáhání při napětí nižším, než je mez kluzu materiálu. Na počátku je řídicím faktorem možnost volného pohybu dislokací a jejich interakce s dalšími strukturálními poruchami a nehomogenitami, růst jejich hustoty apod. Po období změn substrukтуры dochází ke kumulaci poškození ve vhodných lokalitách a k postupnému vzniku mikrotrhlin, které se mohou vzájemně propojovat. Při pokračujícím zatěžování vzniká magistralní trhlina, vedoucí ke konečné destrukci dílce.

Únavový lom se šíří od místa s největší koncentrací tahového napětí. V případě namáhání plochým ohybem se jedná o oblast s maximálním ohybovým momentem v místě nejvzdálenějším od neutrální osy (Obr. 1 – body x, y). V těchto bodech střídavě dochází k maximálnímu tahovému a tlakovému napětí. Proto se při cyklickém namáhání objeví zárodky únavového lomu ve dvou protilehlých místech (Obr. 1). Lomová plocha je zpravidla kolmá k ose součásti. Z obrázku

je zřejmá oblast šíření únavové trhliny i pásmo doložení (Pošta a kol., 2002).

U svarových spojů se mohou vyskytnout vady, které sníží únavovou pevnost materiálu. Nejznámějšími defekty jsou segregáční trhliny, trhliny za horka ve svarovém kovu, zkřehnutí svarového kovu spoje vlivem enormního obsahu vodíku, opožděné trhliny vznikající hodiny, dny i měsíce po svaření a nevyhovující vlastnosti teplem ovlivněné oblasti svaru.

Protože k nukleaci únavových trhlin dochází přednostně na povrchu součástí, má stav povrchu významný vliv na únavové vlastnosti. Vliv stavu povrchu těles na jejich mez únavy se vyjadřuje součinitelem stavu povrchu  $K_p$ , který je definován:

$$K_p = \frac{\sigma_{Cp}}{\sigma_C},$$

kde:

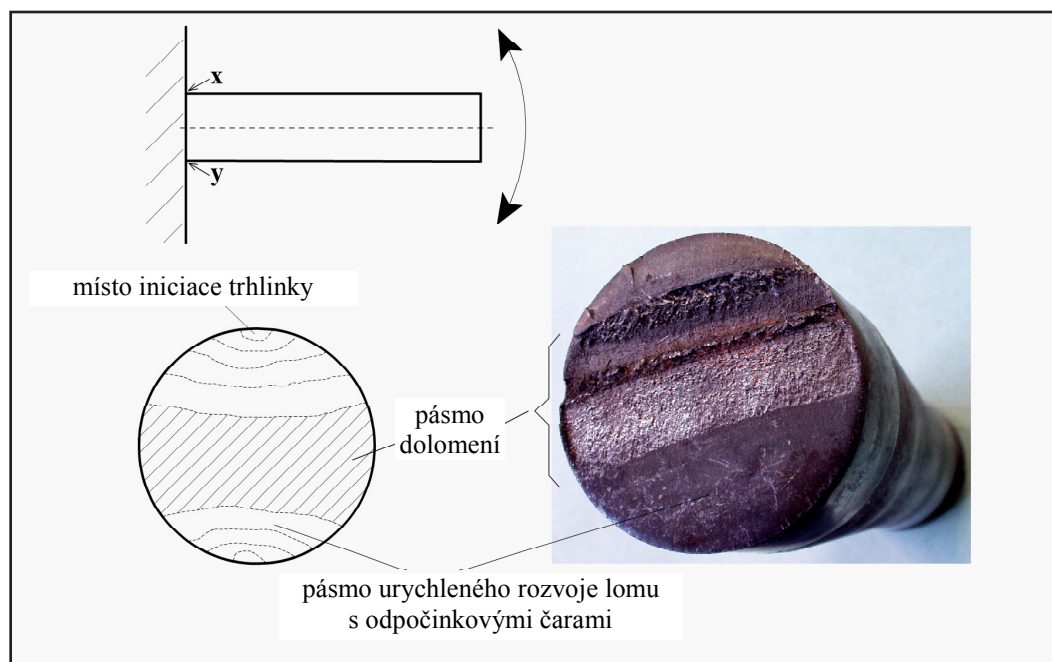
$\sigma_{Cp}$  – mez únavy tělesa s danou drsností povrchu [MPa]

$\sigma_C$  – mez únavy tělesa s leštěným povrchem o drsnosti  $R_a = 0,025 \mu\text{m}$  [MPa].

Součinitel stavu povrchu je obecně funkcí meze pevnosti materiálu  $R_m$  a s rostoucí hodnotou meze

pevnosti klesá. Materiály o vyšší pevnosti jsou tedy citlivější na strukturu povrchu než materiály o nižší

pevnosti. Případné zkorodování povrchu vzorku vede při cyklickém namáhání k snížení hodnoty  $K_p$ .



1: Cyklické namáhání plochým ohybem

## MATERIÁL A METODY

Únavová pevnost svarových spojů byla zjišťována u zkorodovaných i nezkorodovaných zkušebních ocelových vzorků na elektrozvukovém pulzátoru.

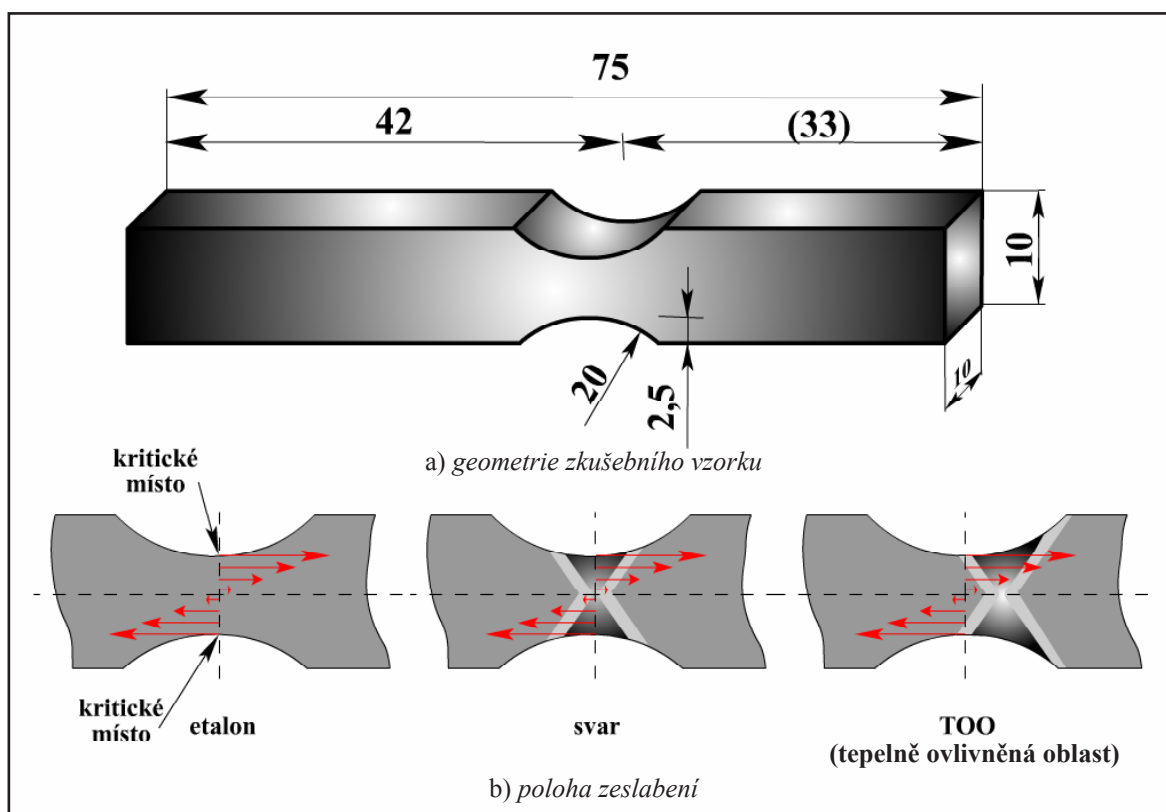
### Zkušební vzorky

Zkušební vzorky pro únavové zkoušky byly vyrobeny z oceli 11 523 (EN 10025 – S 355 J2G3). Jedná se o uhlíkovou konstrukční ocel se zaručenou tavnou svařitelností do tloušťky 25 mm, vhodnou pro svařované stavební i strojní konstrukce namáhané staticky i dynamicky. Jako polotovár byl použit tlustý ocelový plech se zvýšenou přesností tloušťky 10 mm válcovaný za tepla dle rozměrové normy ČSN 42 5310. Z tohoto plechu byly kotoučovou pilou odděleny pásy. Z nařezaných pásů tlustého plechu se zhotovily sady zkušebních vzorků (Obr. 2):

- etalony (frézování zeslabovacích poloměrů, řezání na rámové pile)
- svařené vzorky (úprava pásů frézováním pro X svar s úhlem rozevření 55 °, stehování, ruční obloukové svařování obalovanou bazickou elektrodou E 52.33, vyfrézování zeslabovacího poloměru, řezání na rámové pile). Dle polohy zeslabení byly vyrobeny dvě skupiny svařených vzorků:

- svařené vzorky s největším zeslabením průřezu v ose svaru
- svařené vzorky s největším zeslabením průřezu v tepelně ovlivněné oblasti (mělký vrub posunut o 3,8 mm).

Etalony i svařené vzorky byly na závěr broušeny válcovým a tvarovým kotoučem na rovinné brusce na drsnost  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ .



2: Zkušební vzorek pro únavové zkoušky

### Expozice vzorků v korozním prostředí

Vyrobené zkušební vzorky byly rozděleny na dva soubory. Jeden soubor etalonů i svařených vzorků byl po odmaštění podroben korozní degradaci v solné mlze neutrálního roztoku chloridu sodného v kondenzační komoře (Obr. 3). Parametry zkoušky byly zvoleny dle ČSN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách – zkoušky solnou mlhou:

- teplota **35 °C**
- relativní vlhkost **100 %**

- koncentrace solného roztoku **50 g/l**
- dávkování rozprašovaného solného roztoku **0,5 l/h**
- doba expozice **28 dní** (672 h), po 14 dnech se vzorky otočily, aby korozní působení kondenzační komory bylo stejnoměrné.

Korozní poškození zkušebních vzorků po skončené expozici dokumentuje obr. 4. Po vyjmutí vzorků z kondenzační komory následovalo osušení, oplach a odstranění korozních zplodin na metalografické brusce „za sucha“.



3: Kondenzační komora pro korozní zkoušky solnou mlhou



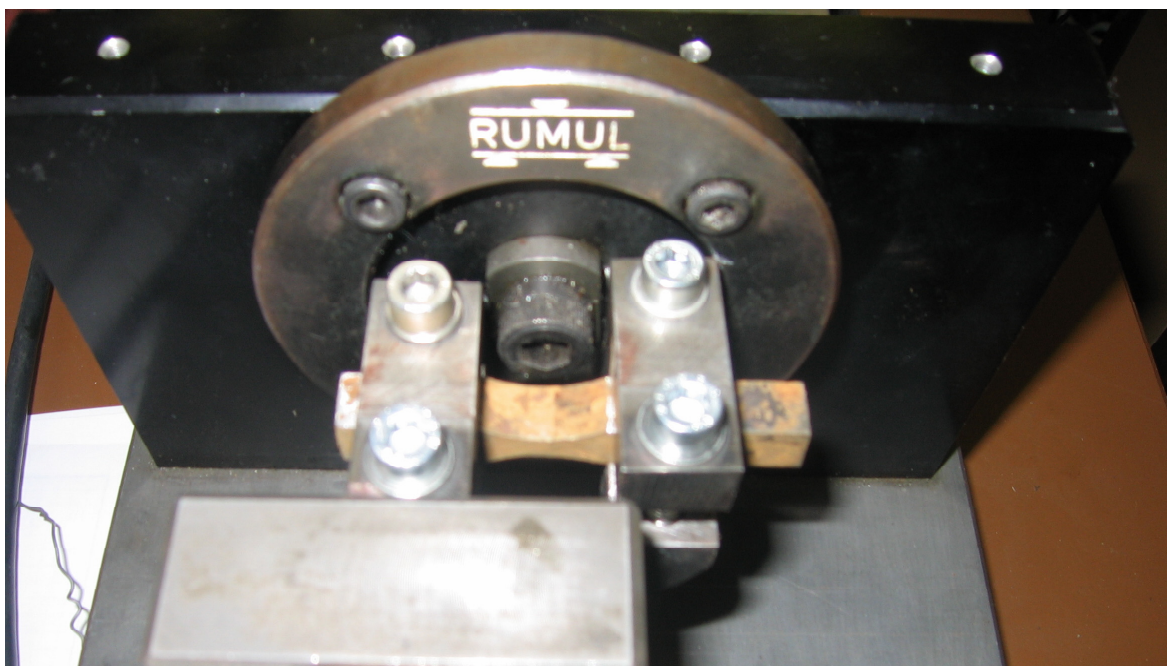
4: Korozní poškození ocelových vzorků solnou mlhou po 28 dnech expozice

### Únavové zkoušky

Zkoušky únavové pevnosti proběhly na zkušebním stroji RUMUL Cracktronic (Obr. 5) a lze je charakterizovat následovně:

- druh zatěžování – čtyřbodový plochý ohyb (*nekonstantní rozložení napětí v průřezu tyče*)
- způsob zatěžování – konstantní amplitudou napětí, harmonický sinusový průběh, střídavý cyklus (*střední napětí  $\sigma_m = 0$ , koef. nesouměrnosti cyklu  $R = \sigma_{min}/\sigma_{max} = -1$* )
- velikost zatěžování – oblast vysokocyklové únavy, ve zkušební tyči vznikají jen elastické deformace
- způsob vyvolání zatížení – elektromagnetický rezonanční systém
- frekvence zatěžování – vysokofrekvenční pulzátor s frekvencí v rozmezí 130–145 Hz
- tvar vzorků – laboratorní vzorek tvaru hranolu  $10 \times 10 \times 75$  mm se dvěma protilehlými mělkými vruby (Obr. 2).



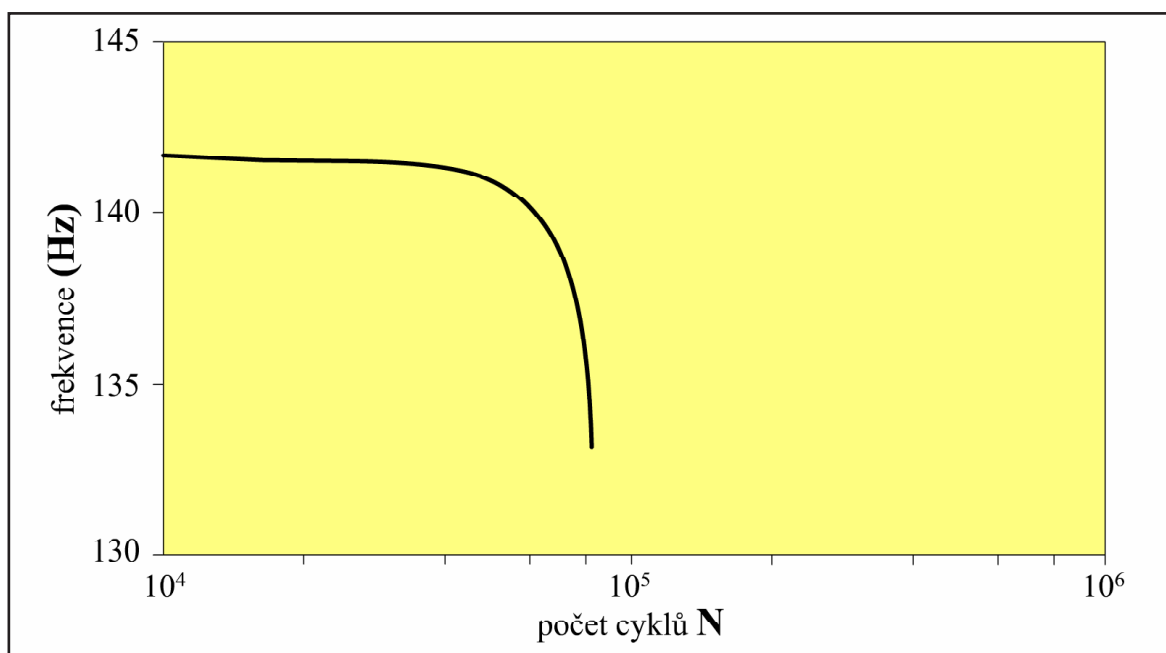


5: Uchycení zkušební vzorku ve vysokofrekvenčním pulzátoru

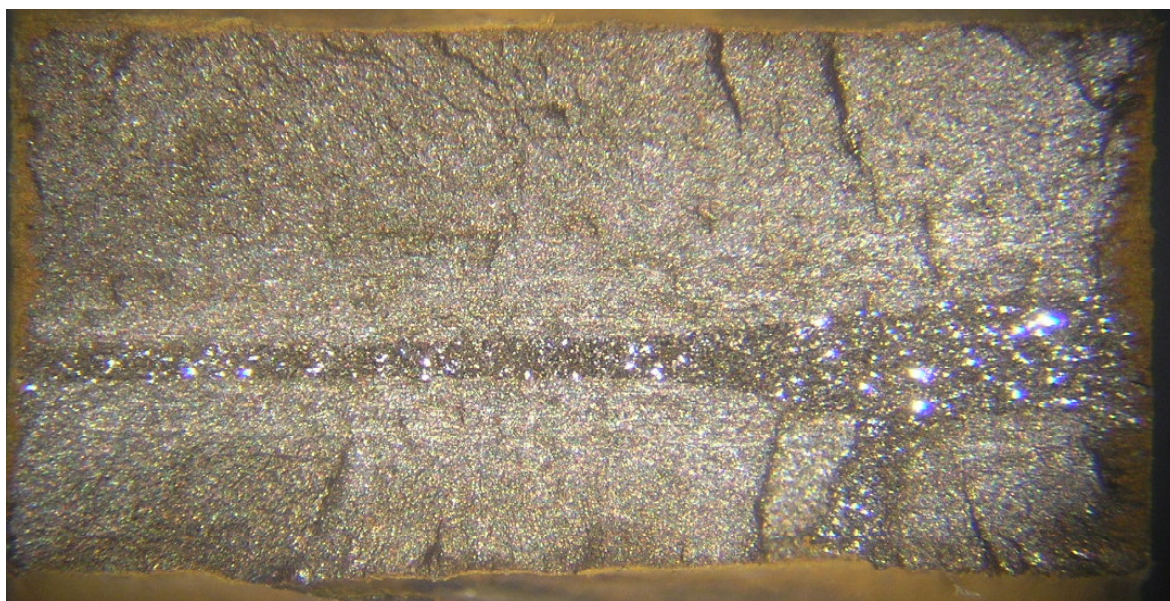
#### VÝSLEDKY A DISKUSE

Zkušební vzorek je součástí rezonančního obvodu vysokofrekvenčního pulzátoru udržovaného v kmitání elektromagnetickým systémem. V důsledku šíření magistralní trhliny ve zkušebním vzorku v průběhu cyklování dochází ke změně jeho tuhosti a tím

i k poklesu frekvence zatěžování (Obr. 6). Při dosažení prahové frekvence se zkouška ukončí a zaznamená se počet cyklů. Pokud se zkušební vzorek následně ochladí v tekutém dusíku a přerazí, je možné rozlišit pásmo šíření únavové trhliny a pásmo dolomení (Obr. 7).



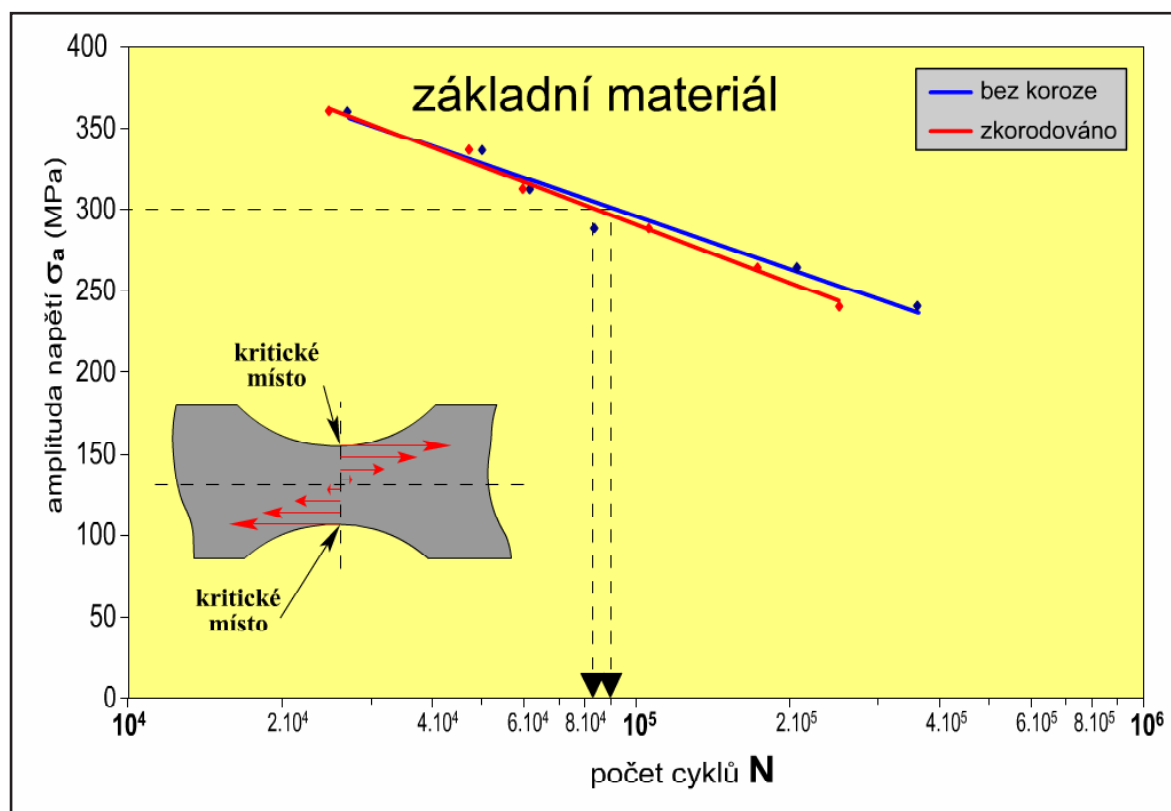
6: Frekvenční křivka



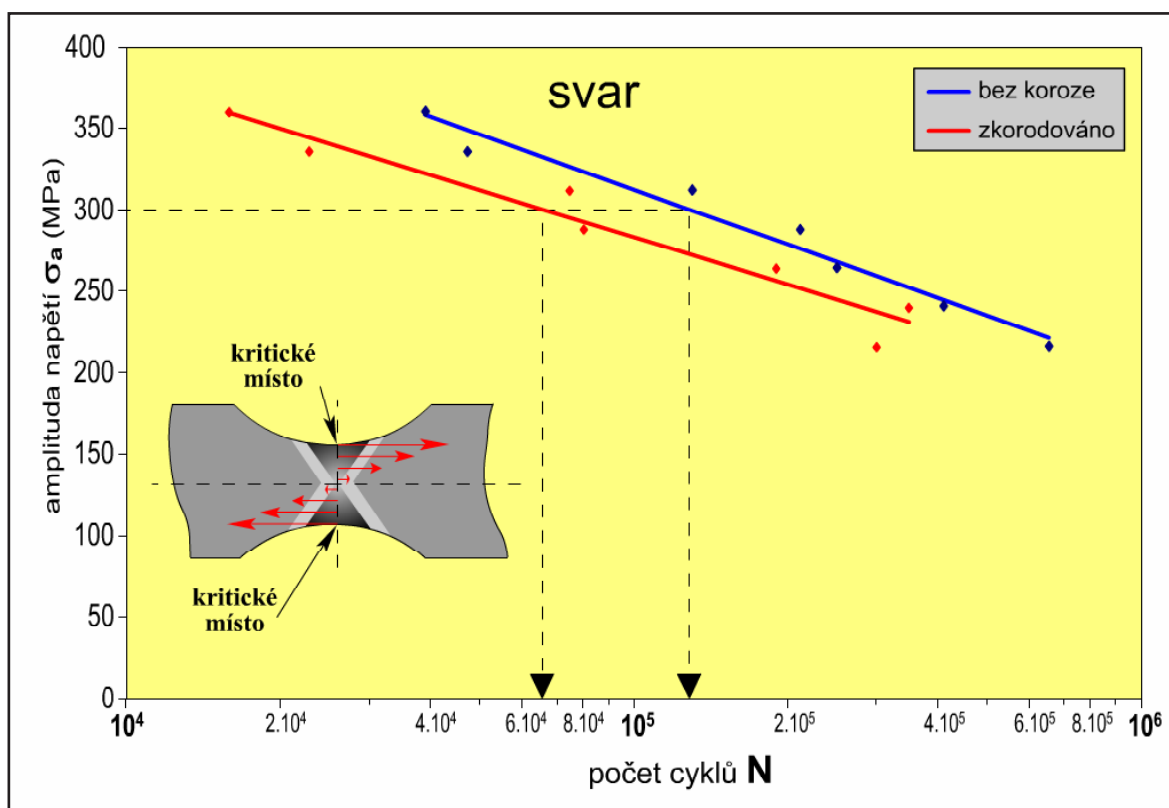
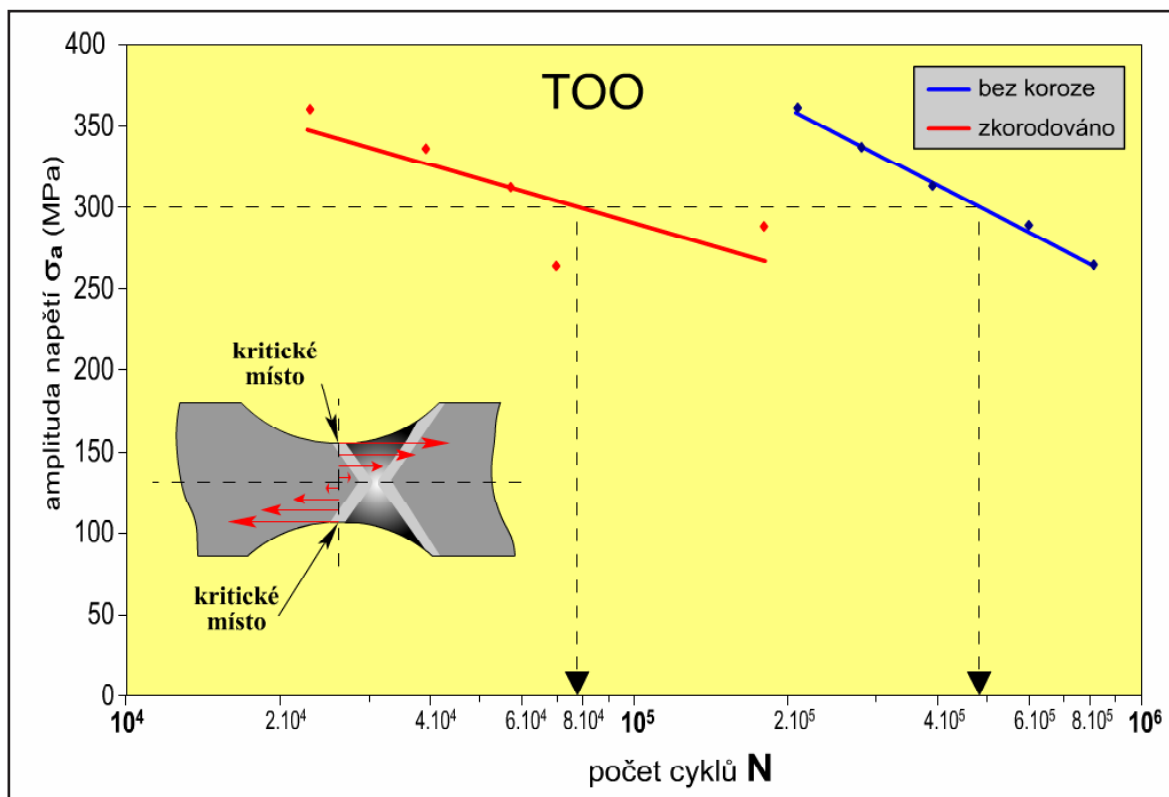
7: Lomová plocha zkušební vzorku po cyklickém namáhání a následném přeražení

Obr. 8, 9 a 10 zachycují vliv zkorodování vzorků na časovanou únavovou pevnost základního materiálu, svaru a tepelně ovlivněné oblasti v semilogaritmickém systému  $N - \sigma_a$ . Aby byla zachycena oblast vysokocyklové únavy, bylo nejvyšší cyklické namáhání

( $\sigma_a = 360$  MPa) zvoleno pod hodnotou meze kluzu  $R_e$ . S klesající amplitudou napětí  $\sigma_a$  se počet zátěžných cyklů  $N$  zvyšuje. U nezkorodovaných vzorků byla časovaná únavová pevnost svaru a tepelně ovlivněné oblasti (TOO) vyšší než u základního materiálu.



8: S – N křivka v oblasti časované pevnosti základního materiálu oceli 11 523

9:  $S - N$  křivka v oblasti časované pevnosti svaru10:  $S - N$  křivka v oblasti časované pevnosti tepelně ovlivněné oblasti

Korozní degradace zkušebních vzorků nepříznivě ovlivnila chování materiálu při cyklickém zatěžování. Při zvolené amplitudě napětí ( $\sigma_a$ ) se snížil počet cyklů  $N$ , který vedl k porušení vzorku. U základního materiálu byl tento pokles minimální (Obr. 7), ale u svaru a tepelně ovlivněné oblasti výrazný (Obr. 8, 9). K existenci defektů vzniklých v průběhu svařování materiálů jako významné materiálové diskontinuitě přistoupil současně proces postupného rozrušování a znehodnocování materiálů následkem elektrochemické koroze.

Únavové zkoušky jsou zatíženy poměrně značným rozptylem naměřených počtů cyklů do porušení na jednotlivých napětových hladinách. Pro přesné statistické vyhodnocení únavových zkoušek v kombinaci s odstupňovanou dobou expozice v korozních komorách (*konfidenční interval, levostranná toleranční mez apod.*) by bylo potřeba použít velký počet zkušebních vzorků, což by byla pracovní náplň na několik let.

## SOUHRN

Únavové lomy jsou nejčastější příčinou havarijních poruch strojů a zařízení. Při cyklickém zatížení se lom šíří přednostně od povrchu součásti z míst s nejvyšší koncentrací tahového napětí. Přítomnost trhlinek, vměstků i drsný povrch součásti snižují mez únavy. Článek monitoruje šíření trhlinek ve svaru a tepelně ovlivněném pásmu při únavových zkouškách plochým ohybem. Porovnává zkušební vzorky nezkorodované se vzorky, které byly vystaveny koroznímu působení solné mlhy. Synergie korozního působení a defektů ve svarech má negativní vliv na odolnost spoje proti proměnlivě působícímu mechanickému namáhání. V oblasti svaru i tepelně ovlivněného pásma vlivem koroze došlo při zvolené napětové hladině k výraznému poklesu počtu cyklů  $N$ , které vedlo k poškození zkušebního vzorku.

koroze, únavový lom, cyklické zatěžování, svarové spojení

Práce vznikla za podpory VZ MSM 621648905.

## LITERATURA

- ČERNÝ, M., FILÍPEK, J.: Synergie korozního působení a defektů ve svarech. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, 2004, LII, 2: 105–114, ISSN 1211-8516.
- KLESNIL, M., LUKÁŠ, P.: *Únava materiálů při mechanickém namáhání*. Praha: Academia, 1975. 222 s.
- FIALA, J., MENTL, V., ŠUTTA, P.: *Struktura a vlastnosti materiálů*. 1. vyd. Praha: Academia, 2003, 561 s. ISBN 80-200-1223-0.

- VĚCHET, S., KRÁL, P.: *Únava materiálu*. NoMI-6, elektronický text, <http://jaja.kn.vutbr.cz/~janirek2/dok/materialy/>.
- MAZAL, P. a kol.: Ústav konstruování, výzkumná skupina-únavové vlastnosti, internetová prezentace, [http://uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/prezentace/Prezentace\\_Unava.pdf](http://uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/prezentace/Prezentace_Unava.pdf).
- POŠTA, J., VESELÝ, P., DVOŘÁK, M.: *Degradace strojních součástí*. 1. vyd. Praha: ČZU, 2002, 67 s., ISBN 80-213-0967-9.

## Adresa

Doc. Ing. Michal Černý, CSc., Doc. Ing. Josef Filípek, CSc., Ing. Zbyněk Šoch, Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: [michalc@mendelu.cz](mailto:michalc@mendelu.cz)