

Vývoj korozních vad pro výrobu realistických zkušebních těles

Development of corrosion flaws for the production of realistic test specimens

Hodač J., Fulín Z., Mareš P., Veselá J., Chocholatý O.

Centrum výzkumu Řež

E-mail: jiri.hodac@cvrez.cz

Pro potřebu výroby realistických zkušebních těles s realistickými vadami je nezbytné vyvinout nejvhodnější postup tvorby realistických iniciačních korozních vad. Pro porovnání byly zvoleny oceli hojně používané v energetickém průmyslu, jako jsou uhlíkové a korozivzdorné oceli a jejich heterogenní svařence. V experimentu srovnáváme rozsah korozního poškození v prostředí solné (NaCl) mlhy a solného roztoku. Polovina vzorků byla zároveň vystavena mechanickému namáhání. Korozní procesy vytvořily realistické vady typu plošné, důlkové a galvanická koroze. Nejvýznamnější korozní poškození bylo zaznamenáno na vzorcích s heterogenními svařky. Nejhlubší průniky koroze byly zaznamenány na svařovaných vzorcích. Korozní poškození ocelí bylo též ovlivněno rychlostí proudění korozního prostředí a vznikající korozně-erozivní poškození materiálu. Vytvořené korozní vady jsou vhodné pro výrobu zkušebních těles a mohou být využity jako přirozené iniciátory únavových trhlin.

ÚVOD

Korozní vady jsou stále jednou z nejčastějších příčin náhlého selhání konstrukcí či ztráty těsnosti v potrubních systémech. Působením koroze může dojít ke vzniku mnoha závažných bezpečnostních rizik, které se projevují sníženou pevností dílů nejenom díky úbytku materiálu, ale i narušením vazeb v materiálu [1]. U ocelových konstrukcí a zejména svařenců se nedá korozním jevům zcela zabránit. Ve spojích hrozí vznik galvanických článků v důsledku chemické rozdílnosti mezi díly či mezi základním a svarovým kovem apod. Tyto galvanické články urychlují průběh koroze. Korozní napadení též bývá intenzivnější v místech s koncentrací mechanického namáhání, v místech s porušeným povrchem, nebo ve šterbinách. Korozivní procesy ve vodných prostředích mohou urychlovat rozpuštěné chemické látky a zvýšené množství kyslíku. [2, 3, 4].

Korozní vady se již v průběhu jejich rozvoje snažíme sledovat pomocí technik nedestruktivního zkoušení. Naším cílem je vytvoření realistických zkušebních těles pro kvalifikaci nedestruktivního zkušebního systému inspekce (inspekční postup, měřicí zařízení a personál).

To produce realistic test specimens with realistic flaws, it is necessary to develop appropriate procedure for corrosion flaw production. Tested specimens are made from steels commonly used in power plants, such as carbon steels, stainless steels and their dissimilar weldments. In this study, corrosion damage from NaCl water solution and NaCl water mist are compared. Specimens were tested with and without mechanical bending stress. The corrosion processes produced plane, pitting and galvanic corrosion. On dissimilar weldments galvanic corrosion was observed and resulted to the deepest corrosion damage. Deepest corrosion flaws were formed on welded samples. The corrosion rate was also affected by the solution flow in a contact with the specimens, which results in a corrosion-erosive wear. Produced flaws are suitable as natural crack initiators or as realistic corrosion flaws in test specimens.

V praxi se často setkáváme s vadami, kde je prvotním iniciátorem poškození lokální korozní vada, ze které se rozvíjí únavová trhлина. Proto se v tomto primárním výzkumu snažíme pochopit, jakými postupy můžeme dosáhnout intenzivních degradačních procesů a vytvoření obdobných realistických korozních poškození. Ty je možné posléze využít jako přirozené iniciační místo únavového praskání zkušebního tělesa. Provedené experimenty též použijeme pro ověření schopnosti ultrazvuku zachytit již samotnou korozní vadu bez přítomnosti únavové trhliny.

EXPERIMENT

Celkem bylo testováno 24 vzorků z ocelí, v šesti sadách po 4 kusech od každého materiálu. Každý vzorek byl vystaven odlišné kombinaci korozní a mechanické zátěže, viz Tab. 1. Získali jsme tak spektrum kombinovaných zátěží vzorků a hledali jsme nejintenzivnější korozní napadení. Samotné vzorky i korozní prostředí bylo navrženo tak, aby mohla nastat galvanická koroze, lokální koncentrování chloridů korozního roztoku, nebo korozní praskání pod napětím [4, 5].

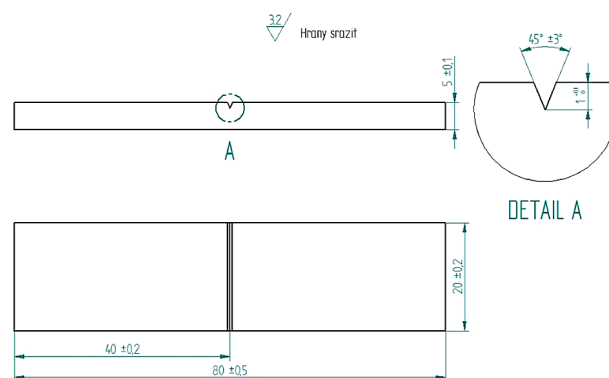
Parametry testu

Pro korozní test byly zvoleny uhlíkové oceli S235 (označeny S1-S4), 20Mn5 (označeny K1-K4) a korozivzdorné oceli X2CrNi18 9 (označeny L1-L4) a X6CrNiTi1810 (označeny O1-O4). Pro heterogenní svařence byly použity kombinace ocelí X2CrNi18 9 s S235 (označeny LS1-LS4) a ocelí X6CrNiTi1810 s 20Mn5 (označeny OK1-OK4). Viz Tab. 1. Naším cílem bylo testování ocelí, které se hojně využívají v energetickém průmyslu se zaměřením na v praxi problematické heterogenní svary [6].

Všechny vzorky byly vyrobeny dle výkresu Obr. 1 níže a opatřeny vrubem. U svařovaných vzorků se svar nachází uprostřed vzorku a vrub prochází středem svařového kořene s tolerancí polohy ± 1 mm.

Typickým místem výskytu korozních vad v energetickém průmyslu jsou potrubní systémy. Z pohledu prostředí se setkáváme nejčastěji s korozí v parách a v kapalinách. Takováto prostředí lze nalézt např. u trubek

parogenerátorů, kde ve štěrbinách a v úsadách může docházet ke koncentrování chloridů, nečistot apod [6]. Proto byl experiment rozdělen do dvou korozních prostředí s vodným roztokem NaCl. Vodný roztok (vzorky jsou zcela ponořeny v proudícím roztoku) a vodní mlha (vzorky jsou mlhou zcela obklopeny).



Obr. 1. Rozměrový výkres zkušebních těles
Fig. 1. Dimensional drawing of the test specimens

Tab. 1. Označení vzorků a odpovídající materiál a korozní prostředí / Specimens marking and corresponding material and the corrosive environment

Materiál	Označení vzorku	Vzorek v přípravku	Korozní prostředí
20Mn5	K1	NE	roztok
20Mn5	K2	ANO	roztok
20Mn5	K3	NE	mlha
20Mn5	K4	ANO	mlha
S235	S1	NE	roztok
S235	S2	ANO	roztok
S235	S3	NE	mlha
S235	S4	ANO	mlha
X2CrNi18 9	L1	NE	roztok
X2CrNi18 9	L2	ANO	roztok
X2CrNi18 9	L3	NE	mlha
X2CrNi18 9	L4	ANO	mlha
X6CrNiTi1810	O1	NE	roztok
X6CrNiTi1810	O2	ANO	roztok
X6CrNiTi1810	O3	NE	mlha
X6CrNiTi1810	O4	ANO	mlha
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK1	NE	roztok
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK2	ANO	roztok
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK3	NE	mlha
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK4	ANO	mlha
X2CrNi18 9 + S235	LS1	NE	roztok
X2CrNi18 9 + S235	LS2	ANO	roztok
X2CrNi18 9 + S235	LS3	NE	mlha
X2CrNi18 9 + S235	LS4	ANO	mlha

12 vzorků bylo vystaveno roztoku a 12 mlze. Zvýšení agresivity prostředí bylo dosaženo přidávkou 5% NaCl. Pro zkoušku vodní mlhou byl zvolen postup dle normy ČSN EN ISO 9227 – Zkouška neutrální solnou mlhou [7]. Identický roztok byl použit i pro zkoušky ve vodném roztoku.

V obou korozních prostředích byly vzorky dále rozděleny na vzorky mechanicky nezatížené (lichá čísla vzorků) a vzorky v přípravcích s předpětím (sudá čísla vzorků). Vzorky v přípravcích byly předepnuty dle ČSN ISO 7539-2 – Zkoušky koroze za napětí [8].

$$y = \frac{\sigma \cdot H^2}{6 \cdot E \cdot t}$$

Rov. 1. Vzorec pro výpočet průhybu vzorku v přípravku
Eq. 1. Formula to calculate the deflection of a sample in a fixture

Vysvětlení proměnných z Rov. 1: y je maximální průhyb vzorku v m, σ je maximální tahové napětí v Pa, E je modul pružnosti v Pa, t je tloušťka vzorku v m a H je vzdálenost mezi vnějšími podpěrami v m.

Vzorec Rov. 1 byl použit pro stanovení vhodného nastavení průhybu vzorků. Samotné nastavení průhybu vzorků bylo provedeno s přesností 0,01 mm. U svařenců byly do vzorce dosazeny hodnoty materiálu s nižší pevností.

Pro obě korozní komory byl použit společný roztok s obsahem 5 hm. % NaCl v destilované vodě (po dobu experimentu v rozmezí 6,5-7,2 pH). Doba testu byla 264 h a vzorky byly v poloze s “V” vrubem směrem vzhůru a sklonem cca 20° od svislice.



Obr. 2. Vzorek v přípravku byl vystaven 3 bodovému ohybovému namáhání

Fig. 2. A specimen in the jig subjected to the 3 point bending force

Byla použita uzavřená mlžná komora bez nucené cirkulace se vzdušnou atmosférou se spadem roztoku na sběrači 80 cm², 1,5 ml h⁻¹ a teplotou 35 ± 2 °C.

Komora s roztokem byla naplněna vodným roztokem (viz výše) s nucenou cirkulací a samovolným přísáváním okolního vzduchu v důsledku podtlaku v trysce. Průtok cirkulačního čerpadla byl 500 l h⁻¹ a teplota roztoku byla po dobu experimentu v rozmezí 26 ± 2 °C.

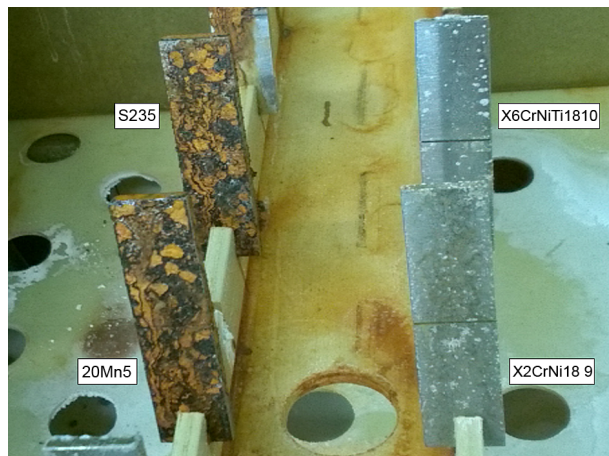
EXPERIMENT

Všechny vzorky byly podrobeny nedestruktivnímu ultrazvukovému měření za účelem ověření detekovatelnosti rozvoje korozního poškození a destruktivní metalografické analýze za účelem charakterizace typu a stupně poškození. Měření byla prováděna s důrazem na hodnocení oblastí okolo vrubů a okolo svarů. Na všech vzorcích bylo též provedeno vizuální hodnocení povrchu vzorků.

Vizuální hodnocení

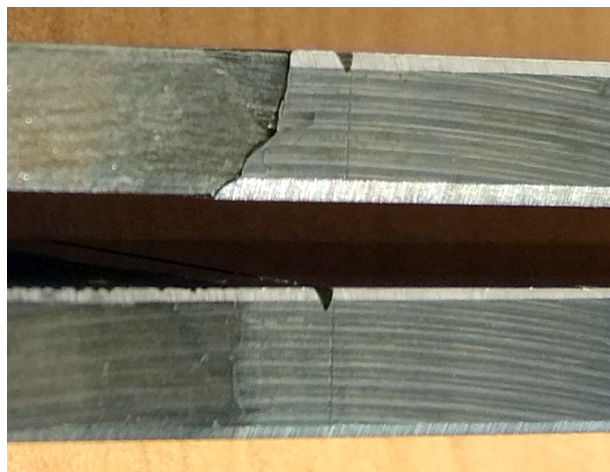
Vzorky byly po korozním testu očištěny mechanicky silonovým kartáčem a dočištěny louhováním ve vodném roztoku 18% HCl.

Vzorky z uhlíkových ocelí 20Mn5 (K3) a S235 (S3) byly rozsáhle korozně napadeny (viz Obr. 3). Po očištění tyto materiály vykazovaly převládající plošnou korozi. Nebezpečnější galvanické korozní napadení bylo zjištěno u vzorků s heterogenními svary. Na hranách svarů v tepelně ovlivněné oblasti došlo k intenzivní korozi uhlíkových ocelí. Heterogenní svar zde vytvořil galvanický článok a uhlíkové oceli se zde staly obětovanou anodou (tzv. galvanická koroze). To vedlo k jejich přednostnímu korodování, které je nejintenzivnější v místě styku se svarovým kovem. Tato koroze má za následek jak plošný úbytek uhlíkové oceli, tak hluboký průnik koroze podél svarového kovu ve tvaru klínu (viz Obr. 7 a 8).



Obr. 3. Vzorky v solné komoře s mlhou po prvních 65 h

Fig. 3. Specimens in the mist corrosion chamber after 65 h



Obr. 4. Vzorek OK1 (nahore) a OK2 (dole) – rozdílná intenzita korozního napadení podél svaru

Fig. 4. Specimen OK1 (on the top) and OK2 (on the bottom) – different intensity of a corrosion damage, on the weld edges

Vzorek OK1 byl silně korozně napaden na polovině z uhlíkové oceli (20Mn5), druhá polovina z nerezové oceli (X6CrNiTi1810) byla bez známek koroze (viz obr. 4). V místě styku svarového kovu a uhlíkové oceli vznikl klínový korozně vytvořený vrub podél svaru. Blíže viz kapitola Metalografické hodnocení. Vzorek OK2 byl uchycen v ocelovém přípravku pro vytvoření ohybového napětí. Viz Obr. 2. Přípravek nebyl od vzorku vodivě izolován. To mělo za důsledek výrazné omezení efektu galvanického článku. Obdobný efekt menšího korozního napadení vzorku byl pozorován i na ostatních vzorcích umístěných v přípravcích. U těchto vzorků jsme se tedy zaměřili na hodnocení důsledků působení korozního prostředí při mechanickém namáhání v oblasti vrubu. Vizuální hodnocení druhů korozního napadení na jednotlivých vzorcích jsou zapsány v tab. 2 níže. Intenzitu tohoto napadení lze odvodit z následujícího měření hloubky průniku koroze na metalografických řezech.

Měření úbytku tloušťky vzorků

Před korozním testem byla změřena tloušťka vzorků mikrometrem ve středu vzorku. Po očištění byly vzorky sušeny při 70 °C po dobu 1 h. Očištěné vzorky byly příčně rozříznuty a na světelném mikroskopu byla změřena zbývající tloušťka vzorku v místě nejhlubšího průniku koroze. Hodnoty měření z metalografických výbrusů jsou zaokrouhleny na dvě desetinná místa.

Měření úbytku tloušťky vzorků ukázalo tři výrazné odlišné reakce vzorků na korozní prostředí. Největší úbytek tloušťky vzorků byl pozorován na svařovaných vzorcích typu OK a LS. Nejvýraznější průnik koroze byl změřen na vzorcích OK1 a OK4. Obecně lze říci, že všechny svařence vykazovali zvýšenou hloubku průniku koroze lokalizovanou podél styku svarového kovu a uhlíkové oceli. Hloubka průniku koroze u svařenců byla ve všech případech větší než u vzorků z čistě uhlíkových ocelí bez svaru (vzorky K a S). Vzorky z uhlíkových ocelí

(vzorky K a S) vykazovali podobnou hloubku průniku koroze i podobný charakter korozního napadení. Vzorky z nerezových ocelí (vzorky L a O) ve většině případů nevykazovali žádné měřitelné korozní poškození.

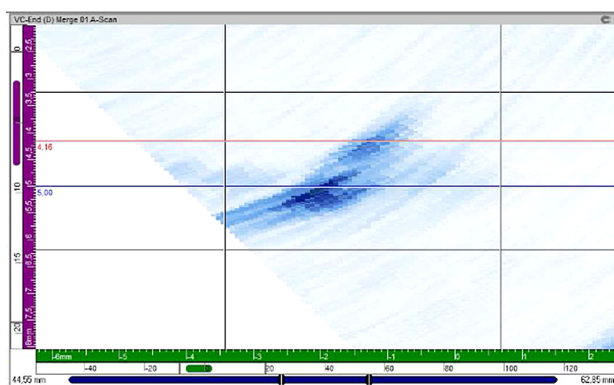
Měření ultrazvukem

Nedestruktivní měření materiálu v oblasti “V” vrubu bylo provedeno pomocí ultrazvukové techniky phased array [9]. Konkrétně byl použit přístroj Dynaray (Zetec). Pomocí tohoto měření bylo zjišťováno, zda se ze dna vrubu šíří měřitelné korozní trhliny.

Ultrazvuková měření byla zaměřena na zjištění maximální hloubky vrubu. Na exponovaných vzorcích tato metoda nenašla měřitelné odchylky v hloubce vrubu od výchozího stavu vzorku (viz Obr. 5 a 6). Menší změny byly zaznamenány v intenzitě echa, což je pravděpodobně dáno zvýšenou morfologií korodovaného povrchu.

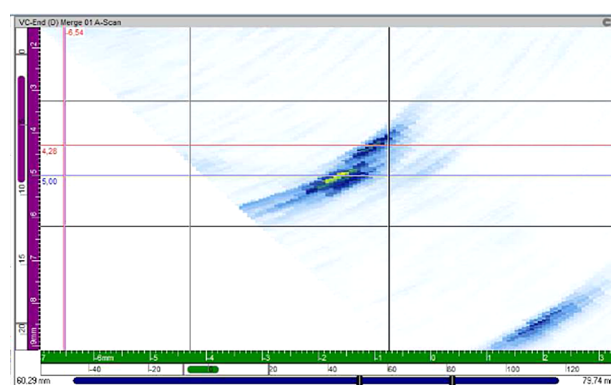
Tab. 1. Výsledky úbytku tloušťky vzorků a charakteristiky typu korozního napadení / *Corrosion depth and characterization of a corrosion damage type*

Materiál	Označení vzorku	Tloušťka vzorku před testem [mm]	Minimální tloušťka vzorku po testu [mm]	Úbytek tloušťky vzorku [mm]	Typ korozního napadení – vizuální hodnocení
20Mn5	K1	4,98	4,90	0,08	plošná
20Mn5	K2	4,94	4,89	0,05	plošná
20Mn5	K3	5,01	4,93	0,08	plošná – nerovnoměrná, důlková
20Mn5	K4	4,97	4,92	0,05	plošná – nerovnoměrná
S235	S1	5,00	4,92	0,08	plošná
S235	S2	5,00	4,96	0,04	plošná – nerovnoměrná
S235	S3	4,99	4,94	0,05	plošná – nerovnoměrná
S235	S4	4,97	4,91	0,06	není
X2CrNi18 9	L1	4,99	4,98	0,01	není
X2CrNi18 9	L2	4,99	4,99	0,00	není
X2CrNi18 9	L3	5,00	5,00	0,00	není
X2CrNi18 9	L4	5,01	5,01	0,00	není
X6CrNiTi1810	O1	4,88	4,87	0,01	není
X6CrNiTi1810	O2	4,93	4,93	0,00	není
X6CrNiTi1810	O3	5,04	5,04	0,00	není
X6CrNiTi1810	O4	4,99	4,98	0,01	není
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK1	4,89	4,45	0,44	plošná, galvanická, erozivní
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK2	4,93	4,84	0,09	minimální plošná
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK3	4,92	4,69	0,23	plošná – nerovnoměrná, galvanická
X6CrNiTi1810 + 20Mn5	OK4	4,95	4,50	0,45	plošná – nerovnoměrná, důlková, galvanická
X2CrNi18 9 + S235	LS1	4,96	4,66	0,30	plošná, důlková, galvanická, erozivní
X2CrNi18 9 + S235	LS2	4,99	4,85	0,14	minimální plošná, důlková
X2CrNi18 9 + S235	LS3	5,02	4,86	0,16	plošná – nerovnoměrná
X2CrNi18 9 + S235	LS4	4,96	4,76	0,20	plošná – nerovnoměrná



Obr. 5. A-scan z ultrazvukového měření na vzorku S4 – echo od vrubu před korozním testem

Fig. 5. Ultrasonic A-scan – echo from the specimen groove before corrosion test



Obr. 6. A-scan z ultrazvukového měření na vzorku S4 – echo od vrubu po korozním testu

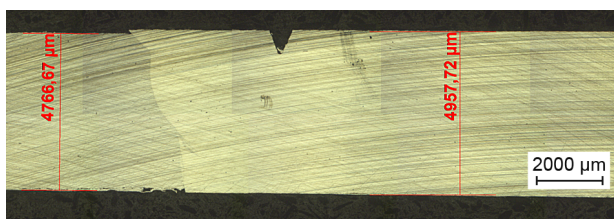
Fig. 6. Ultrasonic A-scan – echo from the specimen groove after corrosion test

Korozní poškození v místě “V” vrubu na mechanicky namáhaných vzorcích pravděpodobně nezpůsobilo rozvoj korozního praskání pod napětím detekovatelné ultrazvukovou metodou (viz Obr. 9). Na vzorku LS2 byla detekována jediná výrazná vada – lokální neprůvar svarového spoje. Tato vada však nesouvisí s korozními procesy a nebude dále hodnocena. Detailnější přehled ultrazvukových výsledků nabízí článek Nedestruktivní a destruktivní hodnocení korozního poškození a rozvoje trhlin vzorků heterogenních svarových spojů [10].

Metalografické hodnocení

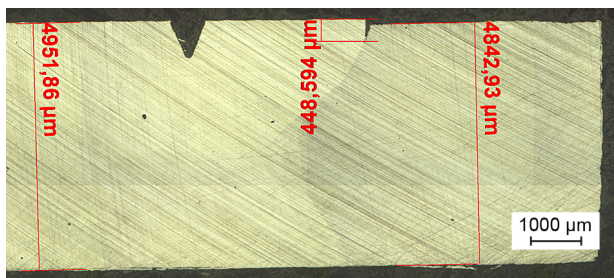
Pro metalografické hodnocení byl použit světelný mikroskop Axio Observer Z1 (Zeiss). Při hodnocení metalografických výbrusů byla detailněji hodnocena oblast “V” vrubu a okolí svaru. Vzorky byly podélně rozříznuty a vybroušeny bez následného leštění a leptání. Měřena byla tloušťka materiálu, hloubka maximálního průniku koroze a byl hodnocen stav vrubu a hranice svaru.

U žádného vzorku nebyla zjištěna šířící se trhlina z vrubu, což potvrdilo výsledky z předchozího ultrazvukového měření. Intenzita koroze ve vrubu se výrazněji nelišila od koroze volného povrchu vzorků. Což také koresponduje s výsledky z ultrazvukového měření.



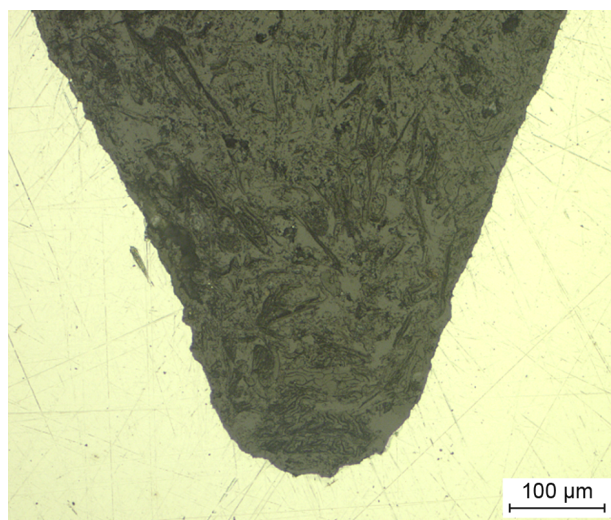
Obr. 7. Na řezu svařovaného vzorku LS1 je dobře patrný úbytek materiálu uhlíkové oceli vlevo

Fig. 7. Metallographic cross-section of LS1. Significant material's loss on left part of specimen made from carbon steel



Obr. 8. Podél svaru vzorku OK4 bylo detekována koroze klínovitého tvaru o hloubce 0,45 mm (schod vznikl výrazným úbytkem materiálu v pravé části vzorku z uhlíkové oceli oproti nerezové oceli vlevo)

Fig. 8. Specimen OK4 with 0,45 mm depth of wedge shaped corrosion along the weld pass (the step between the sides is made by different corrosion rate between stainless steel and carbon steel)



Obr. 9. Na “V” vrubu vzorku S4 (ohýbaný vzorek) vidíme známky převládající plošné koroze, bez trhlin či známek přednostního šíření koroze z vrcholu “V” vrubu

Fig. 9. Groove detail on the S4 (bended specimen). Mostly plane corrosion, without cracks or change of corrosion intensity in tip of “V” groove

Na styku uhlíkové oceli a svarového kovu vzniká galvanický článok a je zde patrný korozní úbytek uhlíkové oceli postupující z jedné strany v mlžném prostředí (viz Obr. 8) a z obou stran ve vodném roztoku (viz Obr. 7) v důsledku lokálně snížené korozní odolnosti. [5] Přechod mezi svarovým kovem a nerezovou ocelí je neznatelný, bez známek zvýšené koroze na rozhraní.

DISKUSE

Provedená měření jasně ukazují, že největší rozsah korozního napadení nastává u uhlíkových ocelí (vzorky S a K). Zatímco nehlubší průnik koroze do hloubky materiálu byl změřen podél heterogenních svarů (vzorky typu OK a LS). Nerezové oceli (vzorky O a L) velmi dobře odolávají aplikovanému koroznímu prostředí. Vzorky S a K vykazují snížení tloušťky vzorku a celkové korozní napadení. Jedná se ovšem o relativně dobře odhalitelnou a sledovatelnou plošnou korozi, která většinou nevytváří nebezpečné stavy vedoucí k náhlému selhání konstrukce. Korozní poškození je nejzávažnější na vzorcích OK1, OK3, OK4, LS1 a LS4, kde se vyskytuje lokálně zintenzivněná galvanická koroze pronikající do hloubky přes 0,2 mm podél heterogenního svaru. Což přibližně odpovídá 4% úbytku tloušťky vzorku. Korozní napadení pronikající do hloubky podél svaru je na povrchu méně nápadné než plošná koroze a představuje tak větší riziko jeho přehlédnutí. Výrazně zmenšuje účinný průřez vzorků a navíc působí v konstrukci jako vrub a koncentrátor napětí.

Na základě srovnání všech metalografických výbrusů v oblasti "V" vrubů, můžeme říci že, korozní napadení povrchu vrubů je srovnatelné s intenzitou korozního napadení volného povrchu. Profil "V" vrubu patrně není vhodný pro lokální koncentrování korozního prostředí. U vzorků v přípravcích pro vytvoření mechanického napětí se v místě dna vrubů neobjevily žádné výraznější vady jako důsledek koncentrace napětí a korozního prostředí.

Stejně můžeme hodnotit výsledky ultrazvukového měření, kde jsou hodnocena echa z oblasti vrubu před a po korozi srovnatelná. Měření vykazují minimální změny vyvolané korozi. Korozního praskání pod napětím nebylo detekováno.

ZÁVĚR

Z výše zmíněných výsledků vyplývá, že nejvhodnější kombinací parametrů pro záměrnou tvorbu korozních vad pro výrobu zkušebních těles je svařenec s heterogenním svarovým spojem v prostředí intenzivně proudícího vodného roztoku solí Cl^- (vhodné pro oboustranné korozní poškození). Pro jednostranné korozní poškození je pak vhodné mlžné prostředí.

Vytvořené korozní vady na svařovaných vzorcích (typ OK a LS) jsou vhodné jako přirozený iniciátor pro rozvoj únavových trhlin. Plošné korozní poškození vytvořené na vzorcích z uhlíkové oceli (typ S a K) odpovídá charakteristickým způsobu degradace u potrubních systémů – úbytků tloušťky stěny trubek. Oba výše zmíněné způsoby poškození se běžně vyskytují a kontrolují v energetickém průmyslu [6].

Na základě výše zmíněných dílčích výsledků jsme se rozhodli pro pokračování experimentu v současném nastavení a zopakování provedených měření po delším časovém úseku. Nová měření nám poskytnou více dat pro potvrzení prvotních závěrů.

Tento test prokázal, že obdobnými postupy můžeme vytvořit vhodné realistické iniciátory pro únavové praskání pod napětím. Případně lze přímo vytvářet zkušební tělesa s velice realistickými, čistě korozními vadami pro kvalifikace metod nedestruktivního zkoušení a školení obsluhy zařízení pro nedestruktivní zkoušení.

Poděkování

Prezentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0108.

REFERENCE

1. ASM International, Corrosion: Understanding the Basics, 2000. ASM International. https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06691g_chapter_1.pdf (accessed Aug 18, 2018).
2. Arlt, N., Burkert, A., Isecke, B. Korozivzdorné oceli ve styku s jinými kovovými materiály. *Euro Inox* [Online] 2011, svazek 10. http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_CZ.pdf (accessed Aug 18, 2018), ISBN 978-2-87997-324-1.
3. Novák, P. *Koroze kovů*. Konzervování a restaurování kovů 2011, kap. 3, 136–198.
4. Sigmund, J. Speciální případy korozního namáhání – chloridy. *Strojírenství* 2018, 12 (4), 64–65.
5. Belkessa, B., Miroud, D., Ouali, N., Cheniti, B. Microstructure and Mechanical Behavior in Dissimilar SAF 2205/API X52 Welded Pipes. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)* 2016, 29 (7), 674–682.
6. Norek, M. *Návrh a kvalifikace oprav svarových spojů na JE metodou WELD OVERLAY*. Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2.6.2017.
7. ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 23 p.
8. ČSN ISO 7539-2. *Zkoušky koroze za napětí Část 2: Příprava a používání ohýbaných vzorků*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 11 p.
9. Kolář, J. Aplikace pokročilých technik ultrazvukového zkoušení svarových spojů. *Konstrukce* 2014, 5, 64–68.
10. Veselá, J. *Nedestruktivní a destruktivní hodnocení korozního poškození a rozvoje trhlin vzorků heterogenních svarových spojů*, Sborník konference Defektoskopie 2018; Ed. Mazal P., 2018.