

# CHARAKTERIZACE HETEROGENNÍCH SVAROVÝCH SPOJŮ

## CHARACTERIZATION OF DISSIMILAR METAL WELDS

Jaroslav Čech <sup>a)</sup>, Petr Haušild <sup>a)</sup>, Jan Siegl <sup>a)</sup>, Lubomír Junek <sup>b)</sup>, Miroslava Ernestová <sup>c)</sup> a Jaroslav Bystrianský <sup>d)</sup>

<sup>a)</sup> ČVUT v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra materiálů, Trojanova 13, 120 00 Praha

<sup>b)</sup> Ústav aplikované mechaniky Brno, s.r.o., Resslerova 972/3, Veverří, 602 00 Brno

<sup>c)</sup> ÚJV Řež, a.s., Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec

<sup>d)</sup> Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, Technická 5, 166 28 Praha

### Abstrakt

V příspěvku je studován heterogenní svarový spoj potrubí z uhlíkové a austenitické ocele. Ve svařeném potrubí byly na rozhraní základní materiál – svarový kov nalezeny trhliny, které vznikly a šířily se mechanismem korozního praskání. Trhlina se šířila podél linie ztavení v oblasti promísení obou kovů. V této oblasti byly identifikovány změny v chemickém složení a základné struktury s výrazně vyšší tvrdostí oproti svařovaným kovům.

### Abstract

Heterogeneous dissimilar metal welds of carbon and austenitic stainless steel used in the piping systems were studied in this paper. The cracks were found in the welded pipeline at the interface between the base carbon steel and austenitic filler material. The stress corrosion cracking was identified as the cracking mechanism. The crack propagated along the fusion line in the mixing zone (area with higher diffusion) of both metals. In this area, changes in chemical composition and quenching structures with significantly higher hardness compared to the base metals were identified.

### Úvod

Heterogenní svarové spoje uhlíkových a austenitických ocelí patří mezi kritická místa potrubí vystavená agresivnímu korozivnímu prostředí, kde může docházet ke vzniku a rozvoji trhlin [1, 2]. Rozdílné mechanické, fyzikální (teplotní roztažnost) a elektro-chemické vlastnosti mohou vést k problémům jak již během svařování, tak během provozu zařízení. Na rozhraní může docházet ke vzniku a rozvoji trhlin, které, v limitním případě, mohou vést až k vynucené odstávce zařízení a jeho opravě. V příspěvku jsou popsány mikrostrukturní a mechanické vlastnosti heterogenních svarových spojů a mechanismus vzniku a šíření trhlin podél rozhraní uhlíková ocel – svarový kov.

### Materiál a metody

Ke svaření uhlíkové oceli 12022.1 a austenitické oceli 08Ch18N10T byly použity svarové kovy Sv-10Ch16Ni25AM6 a Sv-07Ch25N13. Použití svarového kovu Sv-07Ch25N13 s vyšším obsahem chromu by mělo vést ke zvýšení množství žádoucího  $\delta$ -feritu.

Mikrostruktura na rozhraní uhlíková ocel – svarový kov byla zdokumentována pomocí světelného (Neophot 32) a řádkovacího elektronového mikroskopu (JSM 5510LV) s energiově disperzním analyzátozem rentgenového záření IXRF 500 pro určení chemického složení. Zvýšená pozornost byla věnována změnám tvrdosti v blízkosti přechodu uhlíková ocel – svarový kov. Měření tvrdosti bylo provedeno technikou instrumentované indentace dle normy ČSN EN ISO 14577 (Instrumentovaná vnikací zkouška stanovení tvrdosti a materiálových parametrů) [3] na přístroji Anton Paar CSM NHT vybaveným Berkovičovým indentorem. Výsledky ve formě zatěžovacích křivek síla-hloubka vtisku byly zpracovány metodou Oliver-Pharr [4] k získání tvrdosti  $HV_{IT}$ . Velikost maximálního zatížení  $P_{max} = 5$  mN byla zvolena na základě před-

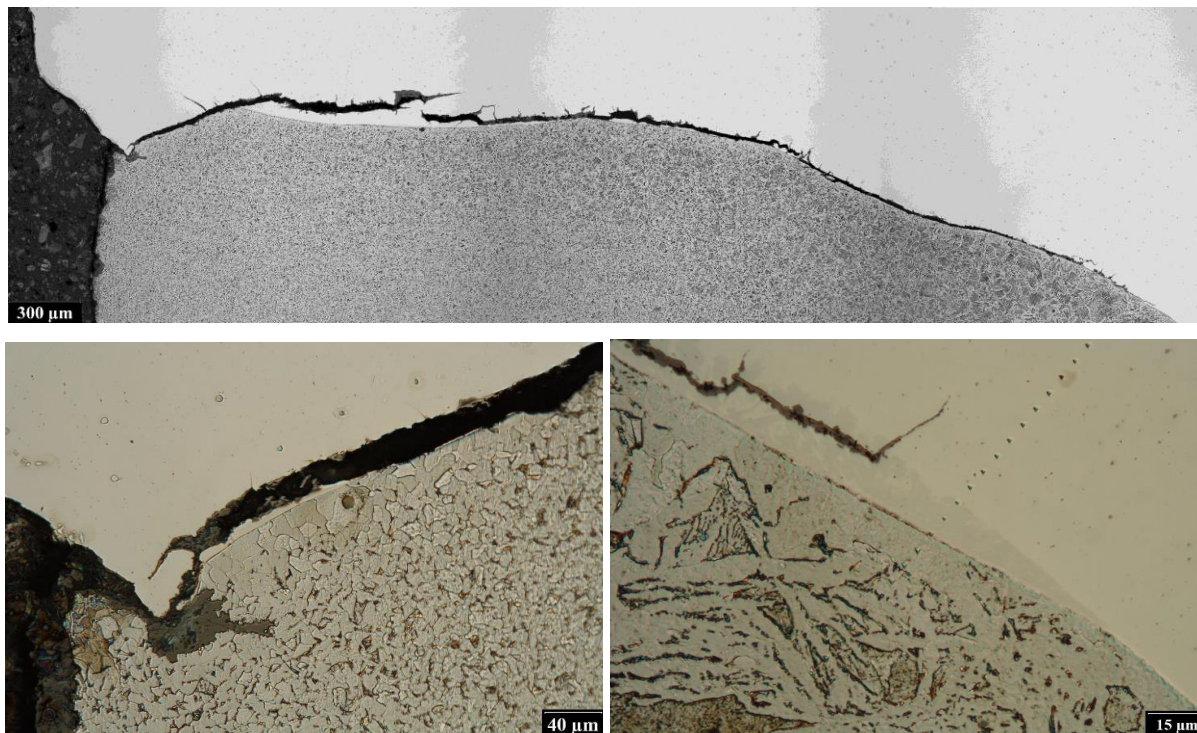
chozích experimentů, aby byla dosažena optimální přesnost a prostorové rozlišení měřeného profilu. Vzdálenost mezi okraji jednotlivých vtisků byla zvolena 5  $\mu\text{m}$  tj. více než dvacetinásobek maximální hloubky vtisku, aby nedošlo k ovlivnění jednotlivých měření.

### Mikrostruktura a měření tvrdosti

Tepelně ovlivněná zóna v základní uhlíkové oceli dosahovala do vzdálenosti cca 1-2 mm od rozhraní se svarovým kovem. Mikrostruktura a trhliny v oblasti přechodu uhlíková ocel – svarový kov je na obr. 1. Mikrostruktura uhlíkové oceli se měnila z ferito-perlitické v blízkosti prvního průchodu (první housenka v kořeni svaru) na strukturu Widmanstattenova feritu postupně s rostoucí vzdáleností od kořene svaru ve směru k vnější straně trubky. Mikrostruktura se lišila i podél rozhraní základní materiál – svarový kov podle toho, jak intenzivně probíhala tepelná výměna mezi základním materiálem a roztaveným svarovým kovem při tvorbě svarového spoje (velikost zrna základního materiálu klesala směrem od rozhraní mezi základním materiálem a svarovým kovem a zároveň rostla podél rozhraní od vnitřní stěny trubky směrem k vnějšímu povrchu).

Při tvorbě svarového spoje docházelo k promíšení základního materiálu a materiálu svarového kovu. To se projevovalo v nehomogenitě mikrostruktury i chemického složení podél rozhraní i ve vlastní linii ztavení (profil chemického složení hlavních legujících prvků přes rozhraní je na obr. 2). Docházelo ke vzniku zákalných struktur (resp. shluků vyloučených karbidů) podél rozhraní mezi svarovým kovem a základním materiálem 12022.1.

Použití svarového materiálu Sv-07Ch25N13 vedlo k výskytu mezidendritických fází (podle složení přídatného materiálu pravděpodobně hlavně delta feritu), které byly pozorovány v oblastech průchodu 2. a 3. housenky.



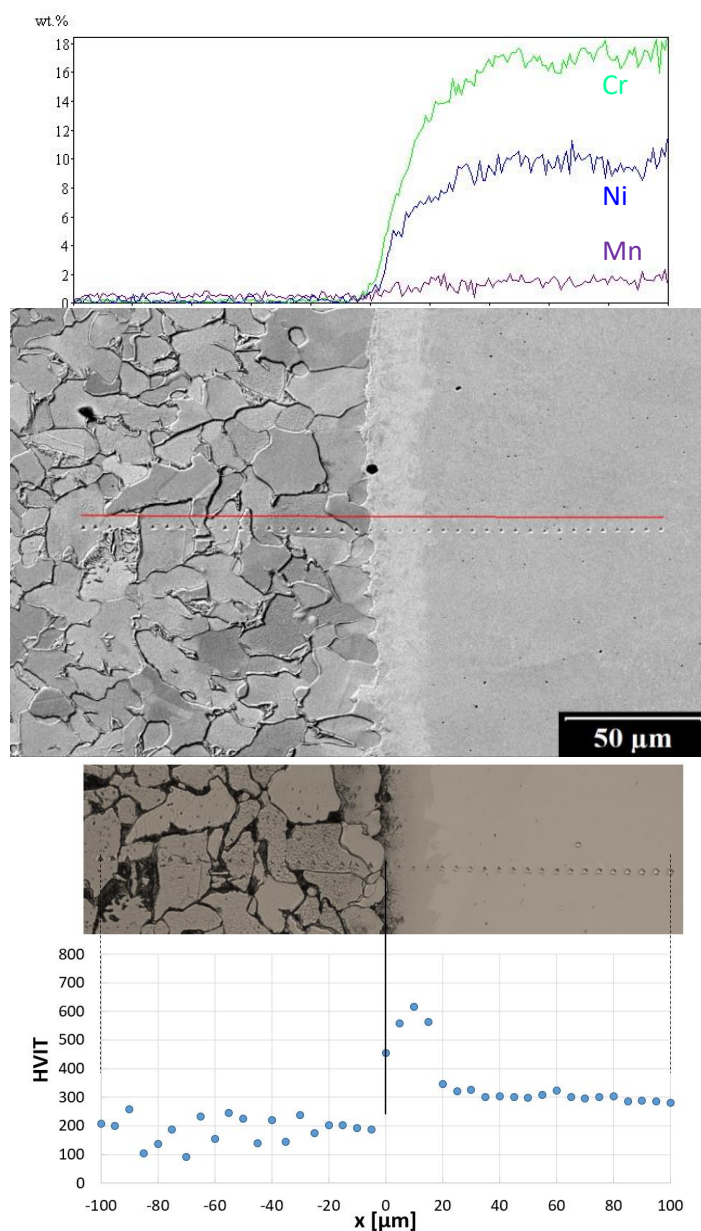
Obr. 1: Mikrostruktura v blízkosti přechodu uhlíková ocel – svarový kov

Příklad profilu tvrdosti přes rozhraní uhlíková ocel – svarový kov je na obr. 2 a obr. 3. Mikrotvrdość uhlíkové oceli se pohybovala okolo hodnoty 200  $\text{HV}_{\text{IT}}$ . Tvrdość svarového kovu byla přibližně 300  $\text{HV}_{\text{IT}}$  pro oba přídatné materiály. V oblasti přechodu základní kov – uhlíková

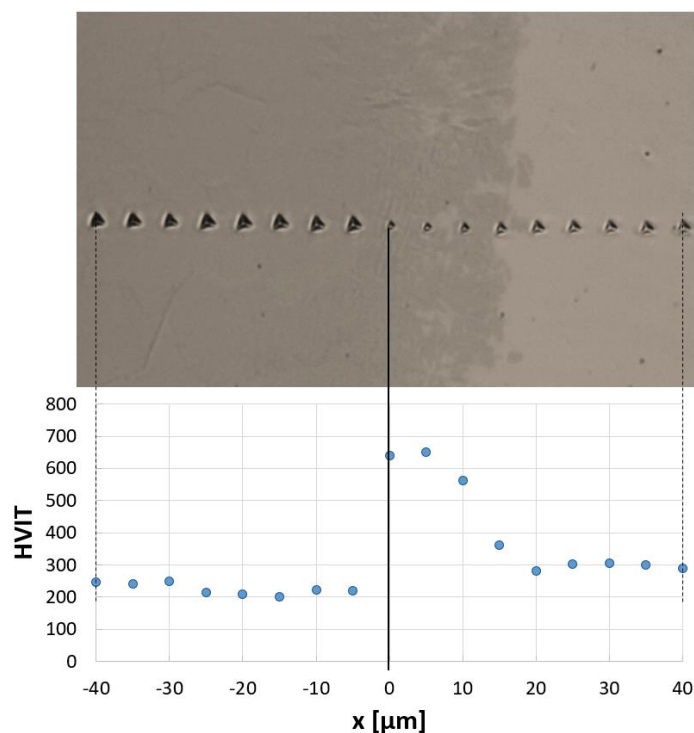
ocel, v oblasti vzniku zákalných struktur podél linie ztavení, došlo k výraznému zvýšení tvrdosti až na dvojnásobek hodnoty svařovaných materiálů (obr. 2 a obr. 3).

### Vznik a šíření trhlin

V místě vzniku trhliny byl identifikován korozní důlek, který působil jako koncentrátor napětí a vedl k iniciaci trhliny. Trhlina se šířila podél rozhraní základní materiál – svařový kov převážně mechanismem interkrystalické dekoheze. Bylo prokázáno, že k iniciaci a šíření trhlin došlo mechanismem korozního praskání resp. koroze pod napětím. Na lomových plochách nebyly nalezeny žádné znaky (striace, postupové čáry atd.), které by prokazovaly podíl únavových mechanismů na rozvoji trhliny v heterogenních svarech. Mezi trhlinou a základním materiálem byly místy patrné zbytky svařového kovu se zvýšenou tvrdostí, tj. trhlina se šířila podél linie ztavení po okraji shluků vyloučených karbidů resp. zákalných struktur (obr. 1).



Obr. 2: Profil chemického složení a tvrdosti na rozhraní uhlíková ocel 12022.1 – svařový kov Sv-07Ch25N13



Obr. 3: Profil tvrdosti na rozhraní uhlíková ocel 12022.1 – svarový kov Sv-10Ch16Ni25AM6

## Závěr

Z provedených analýz vyplývá, že ke vzniku a šíření trhlin podél rozhraní uhlíková ocel – svarový kov dochází mechanismem korozního praskání. Trhliny se šíří podél linie ztavení v místě výskytu zákalných struktur (resp. shluků vyloučených karbidů) s výrazně vyšší tvrdostí. Volba svarového kovu neměla na mikrostrukturu a šíření trhliny výrazný vliv. Pro zamezení vzniku a šíření trhlin se jako nejvhodnější varianta jeví zamezení styku korozního prostředí s rozhraním uhlíková ocel – svarový kov, které je možné provést například galvanickým poniklováním ohrožené oblasti.

## Poděkování

Práce byla podpořena v rámci projektu TK01030108 (TA ČR).

## Literatura

- [1] Haušild, P., Siegl, J. (2018): *Analýza příčin porušení HSS na výřezu potrubí superhavarijního napájení PG 23 EDU*. Výzkumná zpráva, V-KMAT-1034/18, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze, Praha.
- [2] Haušild, P., Siegl, J. (2018): *Analýza HSS s galvanicky nanesenou vrstvou niklu*. Výzkumná zpráva, V-KMAT-1048/18, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze, Praha.
- [3] ISO (2002): *ISO 14577: Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and material parameters*.
- [4] Oliver, W.C., Pharr, G.M. (1992): *An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments*. Journal of Materials Research, Vol. 7, No. 6, pp. 1564-1583. ISSN 0884-2914