

LABORATORNÍ HODNOCENÍ STAVU POTRUBÍ VODÍKOVÉHO CHLAZENÍ ETE PO 20 LETECH PROVOZU

THE EVALUATION OF ETE HYDROGEN COOLING PIPE CONDITION AFTER 20 YEARS OF OPERATION

Miroslav Krpec, Dana Tonarová, Zbyněk Veselka, Zuzana Vávrovcová a Petr Brabec
ÚJV Řež, a. s.

Abstrakt

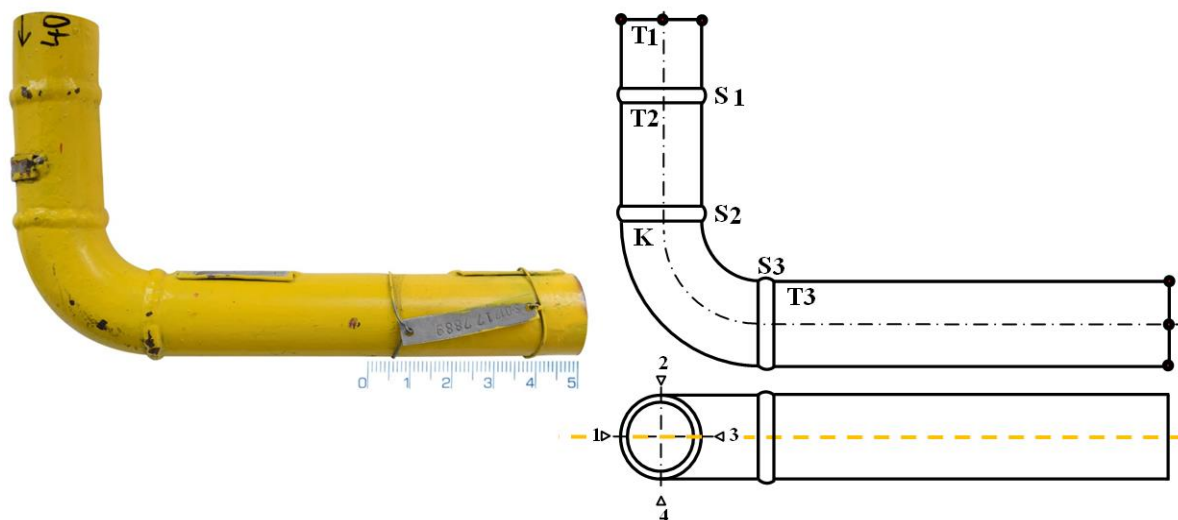
Hodnotící zpráva shrnuje výsledky nedestruktivního a destruktivního hodnocení potrubní trasy vodíkového chlazení JE Temelín po 20 letech provozu. Nepoškozená část vyříznutého potrubí byla do ÚJV Řež, a. s. dodána na základě předchozí zjištěné netěsnosti v rozvodném systému u obdobného typu potrubí. Cílem provedených prací bylo posoudit stav základního materiálu potrubí a svarových spojů a ověřit vliv dlouhodobého provozu na materiál.

Abstract

The evaluation report summarizes the results of the non-destructive and destructive evaluation of the Temelín NPP hydrogen cooling pipeline route after 20 years of operation. Based on a previously detected leak, the undamaged part of the cut-out pipeline was delivered to ÚJV Řež, a. s. The aim of the work was to assess the condition of the base material of pipes and welded joints and to verify the impact of long-term operation on the material.

Úvod

Pro zjištění stavu potrubí po 20 letech provozu byla do ÚJV Řež, a. s., v rámci výměny armatury 1WL11S001, dodána během května 2020 část vyříznuté potrubní trasy 1WL11Z001 (obr. 1) přívodu vodíku do strojovny. Výsledky hodnocení jsou shrnuty v rámci technické zprávy [1].



Obr. 1: Část vyříznutého potrubí 1WL11Z001: dodaná část (vlevo) a schéma jednotlivých částí a svarů (vpravo)

Materiál a použitá metodika

Potrubí z nízkolegované oceli (skupina 1 dle ČSN CR ISO 15608, viz tab. 1) o rozměrech $\text{Ø } 44,5 \times 2,6 \text{ mm}$ bylo provozováno cca 20 let a sloužilo pro přívod vodíku do strojovny HVB 1. V potrubí byly následující provozní podmínky: tlak 1 MPa, projektová teplota 70 °C a pracovní teplota $20\text{-}30 \text{ °C}$. Dodané potrubí se skládá z několika částí (obr. 1). Na přímou část potrubí délky cca 215 mm (T3) je obvodovým tupým svarem přivařeno 45° koleno (K), ke kterému je

obvodovým tupým svarem přivařena trubková přímá část délky cca 55 mm (T2) a přímá část délky cca 35 mm (T1).

Tab. 1: Vlastnosti skupiny materiálu 1 dle normy ČSN CR ISO 15608

Oceli s minimální mezí kluzu $ReH \leq 460 \text{ N/mm}^2$ a obsahem prvků v hm. %					
C $\leq 0,25$	Si $\leq 0,60$	Mn $\leq 1,8$	Mo $\leq 0,70$	S $\leq 0,045$	P $\leq 0,045$
Cu $\leq 0,40$	Ni $\leq 0,5$	Cr $\leq 0,3$	Nb $\leq 0,06$	V $\leq 0,1$	Ti $\leq 0,05$

Pro posouzení stavu základního materiálu potrubí a svarových spojů a ověření vlivu dlouhodobého provozu na materiál bylo provedeno nedestruktivní a destruktivní hodnocení v akreditovaných laboratořích zhotovitele.

Nedestruktivní hodnocení

Nedestruktivní hodnocení bylo zaměřeno na vizuální, kapilární kontrolu vnějšího a vnitřního povrchu, rozměrovou kontrolu a stanovení chemického složení částí komponenty.

- *Vizuální a kapilární kontrola vnitřního a vnějšího povrchu potrubí* byla provedena dle ČSN EN ISO 17637 s vyhodnocením dle ČSN EN ISO 5817, stupně jakosti B. Kapilární zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 3452-1 s vyhodnocením dle ČSN EN ISO 23 277, stupně přípustnosti 2X.
- *Rozměrová kontrola* (měření vnějšího průměru a tloušťky stěny) byla provedena na všech částech potrubí, kromě kolene, kde byla změřena pouze tloušťka stěny. Vnější průměr i tloušťka stěny byly v řezu měřeny obvodově ve čtyřech místech vždy po 90°.
- *Stanovení chemického složení základních materiálů* metodou optické emisní spektrometrie, prostřednictvím stacionárního analyzátoru Q4 Tasman (výrobce Bruker).

Destruktivní hodnocení

Destruktivní hodnocení sestávalo z metalografických analýz a z mechanických zkoušek.

- *Hodnocení makro a mikrostruktury* v podélných řezech bylo realizováno pomocí světelného mikroskopu Nikon Eclipse MA200 s využitím obrazové analýzy v programu NIS – Elements AR 5.11.
- *Stanovení tvrdosti ZM a mikrotvrdosti SK* pomocí tvrdoměru FALCON 608FA v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1. Podmínky zatěžování pro tvrdost HV_{10} byly 10 kg po dobu 10 s, resp. 100 g po dobu 10 s pro mikrotvrdost $MHV_{0,1}$.
- *SEM + EDS/WDS hodnocení vad a mikroanalýza svarových spojů* byla pořízena v sekundárních (SE) a zpětně odražených elektronech (BSE) na rastrovacím elektronovém mikroskopu VEGA TS 5130 XM (od firmy Tescan). Semikvantitativní analýzy byly provedeny na analyzátoru INCA Energy 350 (od firmy Oxford Instruments, připojeném na SEM s řídicím softwarem AZtec verze 3.1. Chemické čištění korozních produktů bylo provedeno dle normy ČSN ISO 8407.
- *Mechanické vlastnosti* trubek byly stanoveny při 24 °C v souladu s příslušnou technickou normou ČSN EN ISO 6892-1. Zkouška byla prováděná na zkušebním stroji Zwick-Roell 250kN vždy na 3 ks ZT vyrobených v podélném směru trubky (L).

Výsledky

Nedestruktivní hodnocení

Z výsledků měření vnějšího průměru a tloušťky stěny bylo zjištěno, že požadavek na tloušťku stěny 2,6 mm splňují všechny části výřezu potrubní trasy 1WL11Z001.

Prvotní vizuální kontrola zjistila na vnějším povrchu v ohybu, resp. oblasti kolene K přítomnost mikrotrhlin, které vznikly pravděpodobně v důsledku výrobnímu procesu. Vnitřní povrch byl na všech částech, kromě trubky T1, pokryt černými oxidickými úsadami. Povrch trubky T1 byl kovově lesklý. V oblasti svarových spojů, které byly detailně hodnoceny, lze za vyhovující

hodnotit svar S2. U svaru S1 se na vnitřním povrchu vyskytovaly nevyhovující 3 kořenové housenky. Dále byly na svaru S1 dle ČSN EN ISO 5817, stupně jakosti B identifikovány další nepřípustné vady (neprůvar), u svaru S3 nepřípustná vada pór. Na všech svarech se mimo výše zmíněného vyskytovala v kořenové oblasti tenká svrchní pórovitá vrstva, svědčící o nepřítomnosti ochranného plynu při svařování.

Kapilární hodnocení potvrdilo na vnějším a indikovalo na vnitřním povrchu ohybu K výskyt mikrotrhlin. V příčném řezu svaru S3 byla naměřena okrouhlá indikace (pór) o průměru cca 2,5 mm. Další indikace v oblasti svaru S3 byla vyhodnocena jako indikace falešná, neboť vizuální kontrola prokázala v tomto místě zbytek neodstraněné podkladové barvy.

Destruktivní hodnocení

Metalografické hodnocení bylo provedeno na několika podélných řezech, kde bylo přes svařové spoje také provedeno měření mikrotvrdosti. Metalografické hodnocení potvrdilo u svařového spoje S1 přítomnost třech kořenových housenek s rozdílnými mikrostrukturami (martenzit, bainit, ferit + perlit). Dle dostupné literatury se martenzitická, a posléze bainitická mikrostruktura jeví jako nejméně odolná vůči vodíkové křehkosti, a proto by se mělo po svařování zařadit TZ (žihání), aby vznikla popuštěná martenzitická, případně popuštěná bainitická mikrostruktura. Na přechody mezi uhlíkovými a korozivzdornými oceli, tzv. HSS spoji je doporučeno používat svařovací dráty o vyšším obsahu Cr a Ni, než bylo zjištěno u studovaného heterogenního svaru S1. Metalografií byla dále potvrzena přítomnost porézní povrchové vrstvy (pravděpodobně struska) na vnitřním povrchu všech SK. Její tloušťka se pohybovala od 50 do 150 μm . Korozní vrstva do tloušťky 20 μm byla identifikována na vnitřním povrchu trubky T2 a dále se vyskytovala na vnějším povrchu pod ochranným nátěrem i po jeho odstranění v oblasti SK i ZM do tloušťky 50 μm , lokálně i 200 μm . Vady (dutiny) ve SK byly vyplněny struskou. Hodnocením příčného řezu kolene K byly na vnitřním povrchu potvrzeny interkrystalické mikrotrhliny do hloubky 50 μm , na vnějším povrchu transkrystalické trhliny do hloubky 80 μm . Šířka trhlin byla na vnějším povrchu cca 75 μm , na vnitřním cca 35 μm .

Mikroanalýzou svařových spojů bylo zjištěno, že u všech SK, resp. jejich částí (koruna, výplň, kořen), byl použit stejný svařovací drát, jehož chemické složení odpovídá svařovacímu drátu pro nelegované oceli. Povrchové porézní vrstvy s vysokým obsahem Si a Mn, které byly vizuálně na vnitřním povrchu patrné, odpovídají chemickému složení strusky. Zbylé vrstvy (vnitřní povrch trubky T2 a T3, vnější povrch všech svařových spojů) lze považovat za vrstvy korozní.

Stanovení mechanických vlastností bylo provedeno na miniaturizovaných ZT. Z každé části potrubní trasy, kromě kolene, byly vyrobeny tři ploché ZT. Z grafického znázornění tahové křivky je patrné, že materiál trubky T1 odpovídá korozivzdorné oceli, zbylé trubky T2 a T3 ocelím uhlíkovým s výraznou mezí kluzu. Naměřené hodnoty splňují požadavky na $\text{ReH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$, které jsou uvedeny v ČSN CR ISO 15608 pro materiálovou skupinu 1.

Stanovením chemického složení jednotlivých částí metodou OES bylo potvrzeno použití rozdílných tříd ocelí. Trubka T1 odpovídá chemickému složení materiálu GOST 08CH18N10T. Zbylé části (T2, K, T3) odpovídají chemickému složení uhlíkové oceli. Vady zjištěné na analyzovaných komponentách byly klasifikovány jako výrobní. Na žádné z komponent nebylo nalezeno poškození, které by svědčilo o iniciování nebo šíření vad podporovaných prostředím. Proto lze konstatovat, že vliv provozního média na degradaci materiálu potrubí je nevýznamný. Výsledky hodnocení je přesto nutné vztahovat pouze k hodnocené části trasy 1WL11Z001 a nelze je obecně využít k problematice degradace materiálu vlivem vodíku.

Závěr

Na základě nedestruktivního a destruktivního hodnocení stavu potrubí lze konstatovat následující:

- Všechny části potrubí splňují požadavek na minimální tloušťku stěny.
- Metodami vizuální a kapilární kontroly byla zjištěna přítomnost mikrotrhlin na vnějším i vnitřním povrchu kolene nepřesahující hloubku 0,1 mm, které pravděpodobně vznikly během výrobního procesu.
- Dle ČSN EN ISO 5817, stupně jakosti B lze svarové spoje S1 a S3 označit za nevyhovující.
- Na všech svarech se vyskytovala v kořenové oblasti povrchová pórovitá vrstva (struska), svědčící o nepřítomnosti ochranného plynu při svařování.
- Metalografickým hodnocením byla kromě strusky na vnitřním povrchu zjištěna i korozní vrstva na vnějším povrchu.
- Chemické složení všech svarových spojů odpovídá svařovacímu drátu pro nelegované oceli.
- U HSS se doporučuje používat svařovací dráty o vyšším obsahu Cr a Ni, než bylo zjištěno u heterogenního svaru S1.
- Chemické složení trubky T1 odpovídá materiálu GOST 08CH18N10T, zbylé části (T2, K, T3) odpovídají chemickému složení uhlíkové oceli.
- Naměřené hodnoty ReH všech částí z uhlíkové oceli splňují požadavky na $ReH \leq 460 \text{ N/mm}^2$, které jsou uvedeny v ČSN CR ISO 15608 pro materiálovou skupinu 1.

Literatura

- [1] Krpec, M., Tonarová, D. (2020): *Hodnocení potrubní trasy IWL11Z001 v systému vodíkového hospodářství ETE*. Odborná zpráva, ÚJV Řež, a. s., Husinec – Řež.