

JADERNÉ OPRAVÁRENSTVÍ V PRAXI: REKONSTRUKCE ROZVODU NAPÁJECÍ VODY PAROGENERÁTORŮ TYPU VVER 440/1000 NA JE DUKOVANY/TEMLÍN

NUCLEAR REPAIR ENGINEERING IN PRACTISE: RECONSTRUCTION OF FEED WATER PIPING OF STEAM GENERATORS OF WWER TYPE 440/1000 IN DUKOVANY AND TEMELIN NPP

Tomáš Soukup

ŠKODA JS a.s.

Abstrakt

Konstrukční řešení rozvodu napájecí vody (NV) parogenerátorů VVER 440/1000 v sobě obsahuje heterogenní svarové spoje mezi nelegovanou ušlechtilou ocelí a austenitickou korozivzdornou ocelí. Jejich omezená životnost způsobená zejména mechanismem korozního praskání pod napětím vedla k nutnosti přípravy a realizace oprav tohoto typu spoje. V případě JE Dukovany byla navržena projektová změna spočívající v náhradě svarového spoje přírubovým, v případě JE Temelín byl rozvod uveden do původního projektového stavu nahrazením svařených potrubních dílů. V obou případech byly použity při opravě unikátní technologie. V případě VVER 1000 svařování pulzním procesem TIG, u VVER 440 svařování metodou MAG, nové počítačové technologie simulací a 3D virtuální reality.

Abstract

Design of feed water piping of steam generators WWER 440/1000 consists of dissimilar metal welds (DMW) of unalloyed carbon steel and austenitic stainless steel. Limited lifetime of those welds caused by stress corrosion cracking leads to the necessity of weld joint repair. There was proposed the design modification in the Dukovany NPP to replace DMW by flange joint. In Temelin NPP the DMW joint was replaced by new inserted section of feed water piping including DMW joint. Unique technologies were used in both cases. In WWER 1000 use of orbital automatic pulsed TIG welding, in WWER 440 use of manual pulsed MAG welding, numerical simulations and 3D virtual reality were used in both cases.

Rozvod napájecí vody PG 440 JE Dukovany

Parogenerátor (PG) představuje tlakovou nádobu s výměníkem. Celý vnitřní prostor na sekundární straně je naplněn vodou, která se doplňuje pomocí potrubí z nelegované konstrukční uhlíkové oceli procházejícího stěnou PG. Dále uvnitř PG je toto potrubí rozbočeno. Před rozbočením se nachází heterogenní svarový spoj přechodu konstrukční ušlechtilé uhlíkové oceli na austenitickou korozivzdornou ocel, jak ukazuje obr. 1.

Původní konstrukční řešení bylo provedeno heterogenním svarovým spojením navrženým a provedeným dle předpisů OP 1513-72 svařovacím materiálem Sv-10Ch16N25AM6 metodou TIG/141 v kombinaci s obalenou elektrodou EA 395/9.

Provedení opravy výrobou nového přechodového svařovaného „mezikusu“ a jeho přivaření na původní místo metodou TIG/141 je časově náročné řešení, které není možné z důvodu vysoké radiační zátěže na místě. Vložení nového přechodového kusu by představovalo provedení dvou tupých svarů na trubce DN 250, jeden svar na materiálu austenitické korozivzdorné oceli a jeden svar na ušlechtilé nelegované oceli.

Bylo navrženo řešení, které eliminuje konstrukčně technologické nevýhody heterogenního svarového spoje a zejména jeho chování (degradaci) za provozu. Část potrubí s přechodovým

kusem obsahujícím heterogenní svarový spoj, se odstranila a nahradila přírubovým spojem, jak ukazuje obr. 2.

Volba metody svařování

Z důvodu minimalizovat čas svařování v nepříznivých radiačních podmínkách byla po hlubší rozvaze stavu moderních metod svařování zvolena technologie MAG/135 („metal active gas“) s použitím vhodných přídavných svařovacích materiálů. Tato metoda až dosud nebyla v podmínkách čs. projektu VVER na tlakových dílech použita. To představuje nutnost tzv. atestace jak vlastní technologie svařování, tak vhodných přídavných materiálů dle vypracovaného atestačního programu.

Tato metoda svařování realizovaná moderními svařovacími invertorovými zdroji umožňuje použití procesu přenosu kovu v pulzním režimu. Technologie pulzního procesu MAG dosahuje vysoké produktivity ve srovnání s metodou TIG. Dále se vyznačuje velmi nízkým rozstříkáním a malým propalem legur, vysokou ovladatelností v polohách.

Technologie je ve světě již delší dobu používána v běžném průmyslu tlakových nádob a potrubí dálkovodů, případně v kombinaci s trubičkovým plněným drátem. Byl tak velký předpoklad, že tato technologie splní požadavky na rekonstrukci uzlu NV PG EDU.

Atestace

Byl zpracován program atestace a provedena řada technologických zkoušek svařovacími materiály pro metodu MAG značek EMK 6 a Inertfil 316LSi a po zvládnutí svařovacích parametrů na nejmodernějším pulzním svařovacím zdroji, byly provedeny atestační zkoušky svařovacích materiálů a zkoušky postupu svařování.

Výsledky zkoušek při atestaci drátů byly porovnány s výsledky dosaženými při použití metody 141 těmi samými svařovacími materiály. Výsledky ukázaly že v případě metody 135 lze dosáhnout dokonce vyšších mechanických hodnot svarového kovu.

Požadovaný rozsah, metody a kritéria zkoušek atestace svařovacího drátu EMK 6 např. byly:

- Mechanické hodnoty musí být v souladu se specifikací.
- Zkouška tahem při 20 °C, 350 °C v souladu s ISO 5178 a EN ISO 6892-1, EN ISO 6892-2, analyzuje se R_m , $R_{p0,2}$, A_5 , Z .
- Zkouška rázem v ohybu v souladu s EN ISO 148-1 a EN ISO 9016, analyzuje se KV při +20 °C.
- Potvrzení kritické teploty křehkosti $T_k \leq 0$ °C ověřením na zkušebních vzorcích zkoušených dle metodiky EN ISO 9016 na základě vyhodnocení KV anebo KCV při -10 a +20 °C a podílu houževnatého lomu minimálně na třech zkušebních tyčích při každé zkušební teplotě dle metodiky v příloze č. 2 PNAEG-7-002-86.

Nedílnou a časově náročnou částí byl nezbytný výcvik svářečů. a následně zajištění jejich kvalifikací dle platných technických norem. Výcvik byl prováděn pod odborným vedením technologů ŠKODA JS a.s. v dílenských podmínkách, ale simulujícím stísněným prostorem uvnitř PG (viz obr. 3). Nejdříve si svářeči osvojovali pulzní metodu svařování na koutových svarových spojech z plechu, následně se přistoupilo na svarové spoje trubka/plech. Vlastní zkouška probíhala na svarovém spoji, který se podobal reálnému konstrukčnímu řešení, tj. byl to spoj trubka – příruba. Odborná příprava svářečů a zajištění zkušebních vzorků představuje obrovské ekonomické náklady, přesto je v takovýchto případech nezbytná.

Rozvod napájecí vody PG 1000 JE Temelín

V případě NV PG na JE Temelín byl původní úsek rozvodu nahrazen novým, jak ukazuje obr. 4. Šrafovaná část byla vyměněna. Vodorovný úsek představuje vložený přechodový hete-

rogenní svarový spoj mezi ruskou ocelí St 20 a 08Ch18N10T. Konstrukční řešení svarového spoje je s tzv. „předběžným návarem“ („přechodovým návarem“). Materiál návaru byl zvolen Sv 07Ch25N13 průměr 1,0 mm. Vlastní svarový spoj byl proveden drátem Sv 04Ch19N11M3 průměr 0,8 mm.

Volba metody svařování

Pro zajištění maximální možné kvality a současně vysoké produktivity nutné pro výrobu 4 kusů přechodových dílů z trubek o rozměru 418x24 mm byla zvolena varianta orbitálního automatického svařování metodou 141. K dispozici byl standardní orbitální automat na DN 250, který pro výrobu přechodových kusů byl překonstruován a v řádu několika dní přestavěn pro výrobu jak zkušebních kusů, tak výrobu dílů k opravě. Automat v konstrukční úpravě specialistů ŠKODA JS byl upraven na dvě konfigurace: pro navařování předběžného návaru v poloze PA a pro provedení vlastního svaru v poloze PC (viz obr. 5 a obr. 6). Před vlastní výrobou bylo nutné provést zkoušku postupu svařování na dostatečně reprezentativním vzorku. Nakonec byl zajištěn a použit rozměr trubky pro kvalifikaci postupu svařování Ø324x18 mm.

Zkušenosti

Osvojení výroby představuje poměrně náročný proces, který byl zvládnut díky předchozím zkušenostem při nasazení orbitálního svařování na výměně zpětné klapky na odbočce primárního potrubí JE Dukovany. U takto důležitých komponent je dobrým zvykem provést předvýrobní zkoušky, dříve nazývané osvojení výroby. Dobré zvládnutí úkolu bylo podmíněno předchozími zkušenostmi a rozsáhlými výrobními zkouškami. Celá akce probíhala v nesmírně napnutém harmonogramu.

Použití 3D virtuální reality v opravárenství

V případě rekonstrukcí rozvodů napájecí vody JE Temelín byl po delší době osvojování využit nový nástroj v podobě virtuální reality (VR). Virtuální realita byla použita nejdříve pro ověření navrženého postupu opravy. Technik mohl provést „prohlídku“ prostoru a udělat si o něm představu, zda je možné provést zamýšlené manipulace a polohování. V následné fázi byl přizván svářeč, technolog, který ve VR odzkoušel navržené polohy při svařování a mohl si i popřípadě navrhnout i jinou polohu. V závěrečné fázi byli přizváni všichni pracovníci, kteří prováděli opravu v PG a mohli se seznámit s prostředím ve kterém budou pracovat a vyzkoušet si navržený postup práce.

V závislosti na kladném ohlasu jsem se rozhodl použít VR i na JE Dukovany. Byli přizváni všichni pracovníci, kteří prováděli opravu v PG a mohli se seznámit opět s prostředím ve kterém budou pracovat a vyzkoušet si navržený postup práce.

Závěr

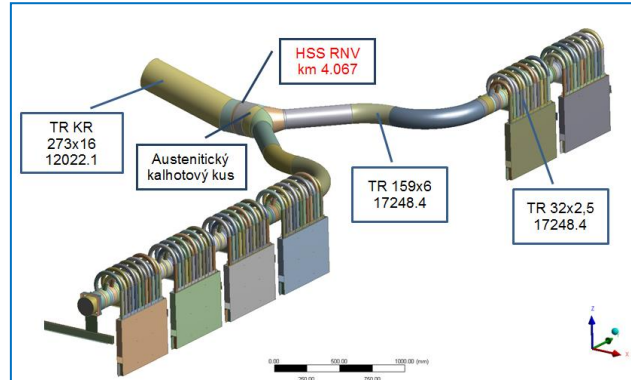
V případě rekonstrukce rozvodů napájecí vody PG na JE Dukovany a Temelín bylo nastíněno, jak důležité je osvojování a využívání nových technologií v oblasti jaderného opravárenství a při výrobě komponent a náhradních dílů. Osvojování těchto technologií je ekonomicky náročné a současně vyžaduje vysoce odborný a kvalifikovaný personál na všech úrovních, od zkušených a znalých montérů/zámečníků/potrubářů přes personál technologů po zkušené projektanty, konstruktéry a vedoucí.

Osvojování nových technologií vyžaduje komplexní znalosti napříč různými obory a ochotu nové technologie si osvojit a používat. Jako většina náročných oprav v JE je dobrý výsledek podmíněn mezidisciplinární spoluprací všech členů týmu podílejících se na opravě.

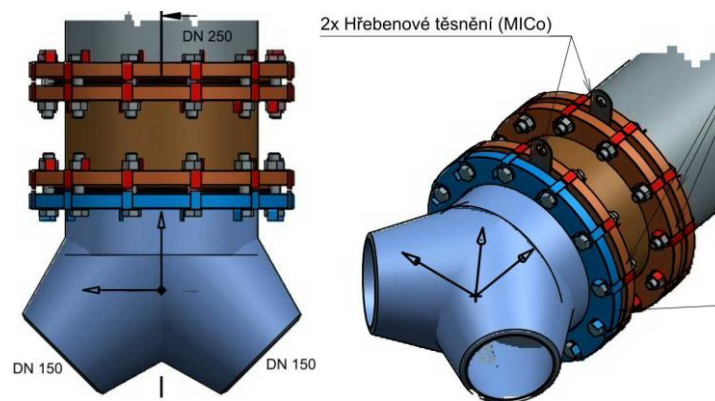
V případě použití metody MAG byla použita technologie pulzu s velmi dobrými výsledky a je připravována na použití při rekonstrukcích těsnících ploch z austenitické korozivzdorné oceli výměníků v nejaderné části JE Dukovany. S ohledem na nutný konzervativní přístup v JE je však každé další využití na konkrétní aplikaci nutné velmi pečlivě zvážit a atestovat.

Při výrobě přechodových kusů orbitálním automatem byly získány cenné zkušenosti s výrobou přechodových návarů metodou, která je dnes výrazně zastoupena při výrobě nových komponent JE ve světě.

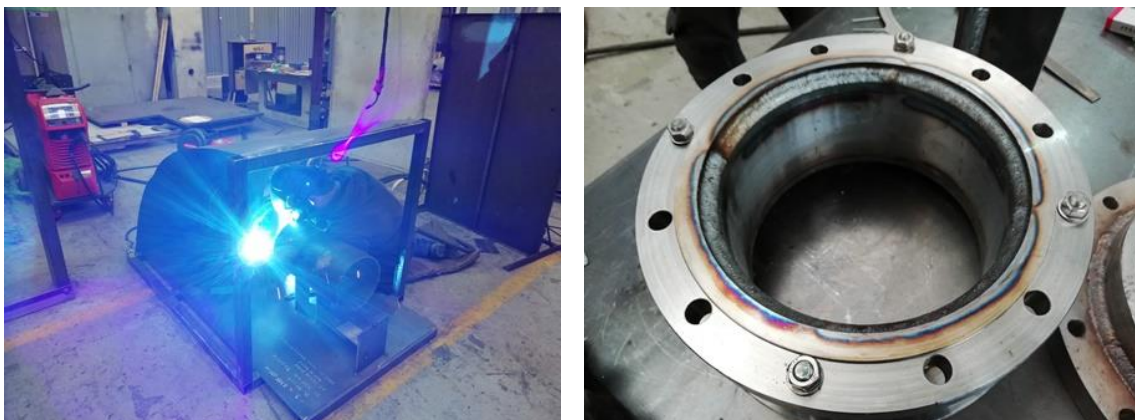
Obrázky



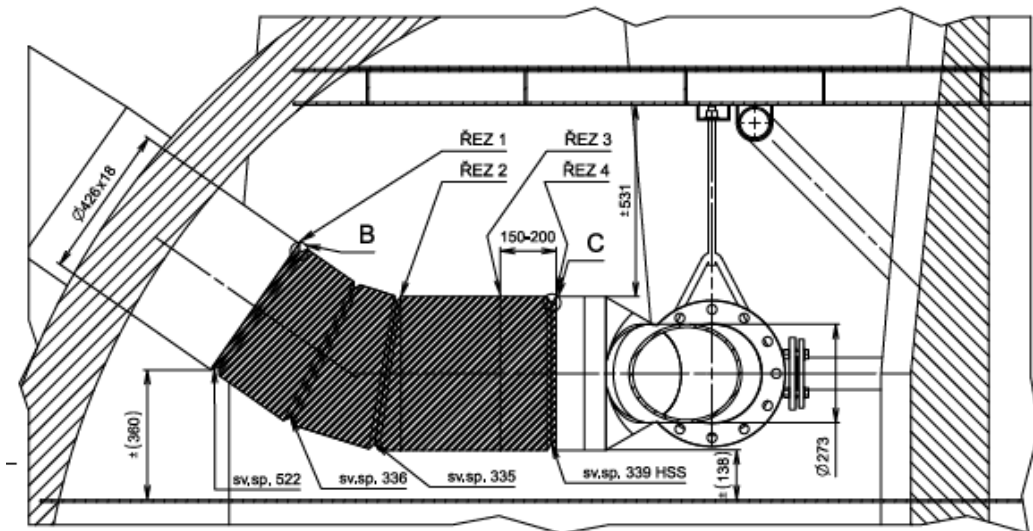
Obr. 1: Schéma rozvodu napájecí vody PGV 440



Obr. 2: Pohled na konstrukci přírubového spoje NV PGV 440



Obr. 3: Výcvik svářečů a pohled na svařovaný nový přírubový mezikus



Obr. 4: Schéma výměny části rozvodu NV PG 1000



Obr. 5: Navařování návaru a provedení svarového spoje automatem



Obr. 6: Navařování návaru a provedení svarového spoje automatem

Literatura

- [1] ŠKODA JS a.s.: *Atestační program svařovacích drátů pro rekonstrukci rozvodu napájecí vody PG typu VVER 440 na JE Dukovany*. Zpráva, Ae 18895/Dok., ŠKODA JS a.s.
- [2] ŠKODA JS a.s.: *Úvodní poznámky k použití procesu STT Lincoln Electric pro opravné svařování TNR VVER*. Zpráva, Ae 11410/Dok, ŠKODA JS a.s.
- [3] ŠKODA JS a.s.: *Opravné svařování v jaderné energetice*. Zpráva, Ae 9291/Dok, ŠKODA JS a.s.
- [4] ŠKODA JS a.s.: *Procesy svařování v jaderné energetice*. Zpráva, Ae 17316/Dok, ŠKODA JS a.s.
- [5] ŠKODA JS a.s.: *Opravné svařování v ŠJS 2008-2018*. Zpráva, Ae 17317/Dok, ŠKODA JS a.s.
- [6] Ghosh, P. K. (2017): *Pulse Current Gas Metal Arc Welding*. Springer Singapore, Singapore. ISBN 978-981-10-3556-2
- [7] Weman, K., Lindén, G. (2006): *MIG welding guide*. Woodhead Publishing, Cambridge (England). ISBN 978-1-85573-947-5