

PŘÍPRAVA, VÝVOJ A OSVOJENÍ TECHNOLOGIE OPRAVY NÁTRUBKU PRIMÁRNÍHO POTRUBÍ

PREPARATION, DEVELOPMENT AND REPAIR TECHNOLOGY ADAPTATION OF PRIMARY CIRCUIT NOZZLE

Tomáš Soukup

ŠKODA JS a.s.

Abstrakt

Hlavní cirkulační potrubí (HCP) JE typu VVER 1000 rozměru DN 850 je vyrobeno z oceli značky 10GN2MFA a opatřené antikoročním návarem vnitřního povrchu. Potrubí má navařená odběrná hrdla malých rozměrů opatřená vnitřní vsuvkou z korozivzdorné oceli přivařené k antikoroznímu návaru uvnitř HCP. Návrh opravy a její příprava a vývoj prováděný specialisty ŠKODA JS a.s. spočívá odříznutí původního hrdla, navaření nového s navařením vnitřního antikorozního návaru uvnitř tohoto hrdla v náročných montážních podmínkách, bez možnosti tepelného zpracování. Celá oprava je tak podmíněna zvládnutím a atestováním technologie svařování metodou popouštěcí housenky.

Abstract

Main coolant piping loop of WWER type of NPP DN 850 made of steel 10GN2MFA is manufactured with corrosion resistant cladding of internal surface. Loop has welded outlet nozzles of small sizes designed with internal inserted part made of stainless steel welded to main loop cladding. Cut off the existing nozzle, weld on the new nozzle and new internal cladding inside the nozzle is the principle of proposed repair and its repair preparation and development being carry out by ŠKODA JS a.s. specialists in the demanding on site conditions without availability of post weld heat treatment. The repair is conditioned by successfully adopted and qualify temper beat welding technique.

Úvod do opravného svařování

Článek navazuje na předchozí konference (např. [1]) a články o tzv. „jaderném opravárenství a opravném svařování“ hlavních komponent JE typu VVER v českých a slovenských podmínkách. ŠKODA JS a.s. Za uplynulých víc jak 10 let intenzivní činnosti při vývoji a realizaci oprav hlavních komponent primárního okruhu JE Dukovany a JE Temelín se tento velmi specifický obor, mající tradici od dob přípravy a výroby reaktorových kompletů v tehdejší Škoda k.p. Plzeň vypracoval na špičkovou úroveň aplikující nejmodernější technologie a poznatky z jednotlivých oborů a profesí.

Návrhy oprav, jejich příprava konstrukčně-technologická, technologický, materiálový výzkum, to vše vyžaduje účast mnoha profesí a oborů. Počínaje účastí projektantů, konstruktérů, výpočtářů, materiálových specialistů, specialistů na svařování a konče vyskolenými techniky, strojnými mechaniky a svářeči.

Charakter hlavních komponent a nutnost systémového a procesního přístupu je tak nezbytnou podmínkou pro zvládnutí přípravy a vývoje takto náročných oprav, která téměř vždy souvisí se zajištěním provozní integrity, požadované projektové životnosti a provozuschopnosti systému komponent primárního okruhu jako celku.

Další stejně důležitou podmínkou je dodržení všech technických norem a technických podmínek, které jsou v úvodním a navazujícím prováděcím projektu „zakotveny“ jako součást podmínek licencování technologie zakoupené na mezistátní úrovni v letech dávno minulých.

V neposlední řadě je nutné respektovat požadavky současné legislativy reprezentované zejména vyhláškou č. 358/2016 Sb. a vyhláškou č. 329/2017 Sb. Aktuální stav projektu JE

Dukovany a JE Temelín doprovázený hektickými změnami nového přístupu v technické normalizaci 90.let, nejednoznačné funkci generálního projektanta a autorského dozoru, a až dramatické změny v naší „jaderné“ legislativě a úzce související legislativě stavebního zákona a zákona o požadavcích na výrobky vede k tomu, že to je úkol nelehký. Bez precizní a hluboké znalosti projektování, výroby a výstavby JE typu VVER a materiálově technologických znalostí specifických materiálů používaných pro stavbu hlavních komponent by bylo velice obtížné na odborné profesionální úrovni řešit tyto náročné úkoly opravného svařování JE typu VVER. Nedílnou součástí tohoto přístupu je pak aplikování nejnovějších poznatků, technologií a postupů při návrhu opravy hlavních komponent. Článek ukazuje jeden takový příklad v přípravě opravy nátrubku primárního potrubí.

Potrubní dílce primárního potrubí

Celé primární potrubí je vyrobeno z kovaných potrubních dílů z nízkolegované oceli značky 10GN2MFA. V rámci osvojení jaderné energetiky v ČSSR byla osvojena výroba této oceli ve Vítkovických železárnách společně s osvojením technologie navařování antikorozičního návaru páskou pod tavídem mechanizovaným způsobem. V rámci těchto osvojovacích etap byl proveden i hluboký výzkum svařitelnosti této oceli. Výsledky se promítly do technických podmínek na výrobu a montáž HCP. Vedle původních technických norem a technologických návodů ruského technického projektu tak byly ověřeny specifické vlastnosti materiálu, zpravidla potvrzující informace uvedené v ruském technickém projektu.

Tab. 1: Chemické složení oceli 10GN2MFA

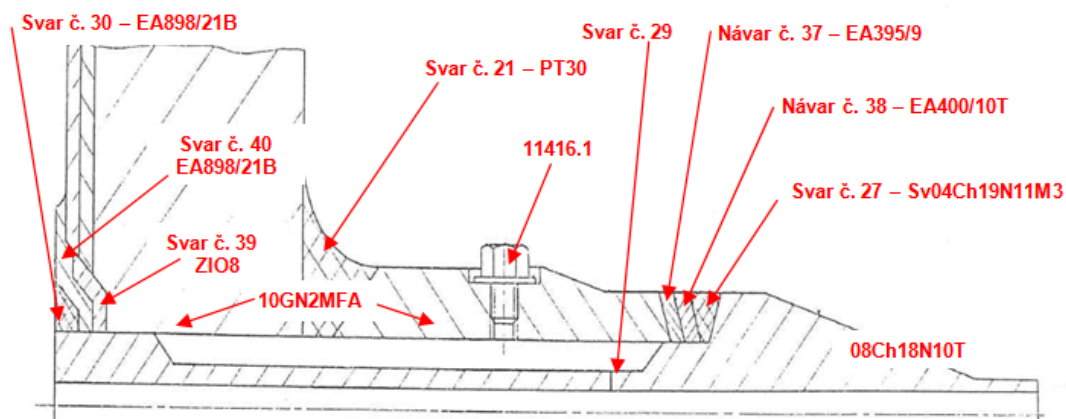
10GN2MFA	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
Hm. %	0,08 0,12	0,70 0,90	0,17 0,37	max. 0,02	max. 0,02	max. 0,30	1,70 2,00	max. 0,30	0,40 0,60	0,01 0,04

Ostatně tento přístup byl aplikován u všech osvojovacích prací koordinovaných Československou komisí pro atomovou energii na projektu zavedení výroby materiálů hlavních komponent našich elektráren. V současnosti již žádný program rozvoje jaderné energetiky a jeho centrální koordinace neexistuje. Přístup k původním výzkumným pracím je omezen či téměř nemožný, a to jak pro provozovatele, tak projektové a výrobní organizace podílející se na servisu a opravách hlavních komponent. To jen podtrhuje náročnost řešení úkolů jaderného oprávenství v současném prostředí.

Konstrukce nátrubku před a po opravě

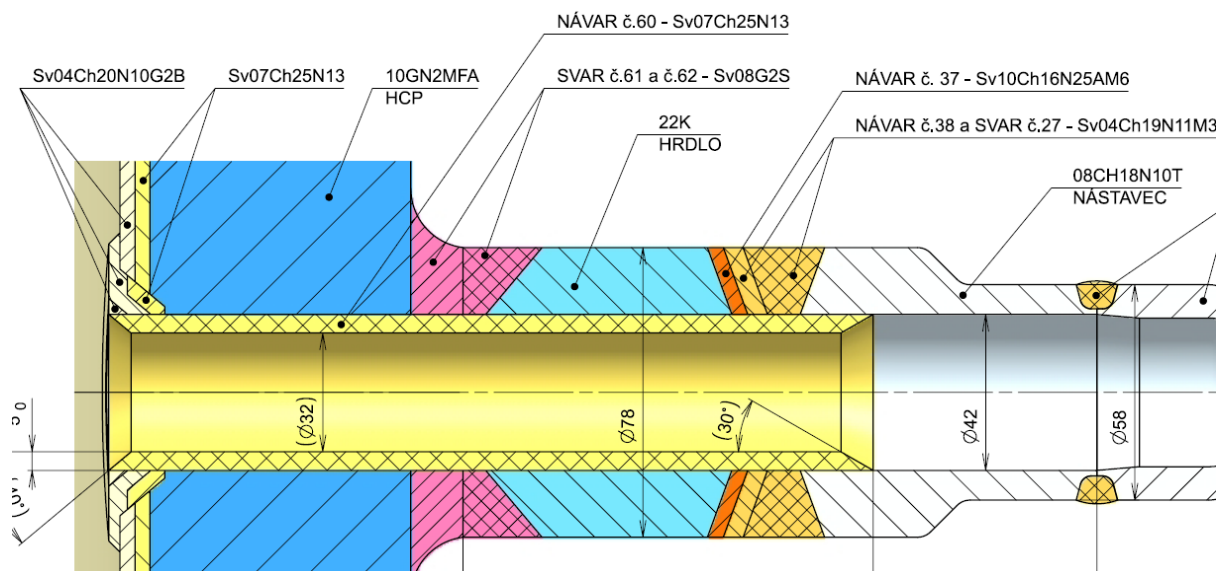
Konstrukční a materiálové řešení nátrubku je ukázáno na obr. 1 s popisem jednotlivých materiálů. Za pozornost stojí vnitřní „vsuvka“ prodloužená do nástavce hrdla a vyrobená z koroziivzdorné austenitické oceli. Hrdlo a plášť HCP jsou z oceli 10GN2MFA.

Celý segment primárního potrubí s navařenými hrdly podléhal ve výrobě přísnému režimu mezioperačních a konečných tepelných zpracování.



Obr. 1: Řez původní konstrukcí nátrubku

Návrh opravy je dostatečně zřejmý z obr. 2. Původní hrdlo se odřízne. Nové hrdlo s dílensky vyrobeným přechodovým heterogenním svarem se přiváří a opatří uvnitř antikoročním austenitickým náwarem prováděným automatem. Nejsložitějším aspektem realizace opravy je vedle náročnosti strojního obrábění v montážních podmínkách zejména nemožnost provedení tepelného zpracování v souladu s požadavky technických podmínek a norem pro ocel 10GN2MFA.



Obr. 2: Řez novým hrdlem

Technologie svařování a navařování metodou popouštěcí housenky

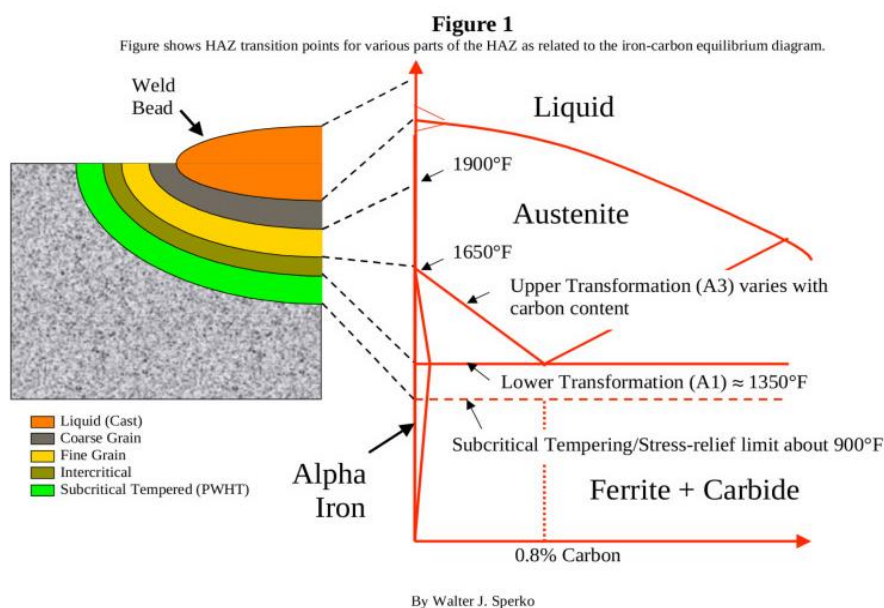
Princip opravného svařování bez možnosti přehřevu a následného tepelného zpracování reaktorových ocelí byl rozvíjen a v praxi použit v závodě Škoda k.p. již v průběhu 80. let, jak při opravách vyráběných reaktorových kompletů, tak i při opravách tlakových nádob na provozovaných JE. Výzkum této technologie probíhal i v letech 90. a až do nedávna v programu atestace vysoko niklových slitin (slitina FM52 aj.) pro opravy antikorozní vystýlky tlakové nádoby JE Dukovany a JE Temelín. Hovoříme tedy o bezmála 30leté tradici vývoje této technologie, která je nyní aplikována i na opravu uváděného nátrubku.

Je zajímavé, že v žádných technických normativech pro projekt VVER není tato technologie uvedena. Rovněž na západ od nás dlouho nebyla tato technika „zakotvena“ do technických normativů. Až v nedávné době se určitá možnost objevila v ASME kódu, konkrétně v sekci XI. Bez možnosti opory v technické normalizaci je proto při řešení opravy nezbytné použít nástroje experimentálního výzkumu a prověření v praxi s následným obhájením daného řešení a výsledků výzkumu. Aby bylo „neznámých“ v návrhu a vývoji technologie metodou „popouštěcí

housenky“, anglicky „temper bead welding“ nejmíň, je pro opravu navrženo použití atestovaných a v projektu a jeho technických normativch uvedených základních a svařovacích materiálů, které mají referenční použití na všech blocích typu VVER na primárním okruhu.

Principiálním úkolem tak bylo ověření použitelnosti teorie metody „popouštěcí housenky“ při navařování antikoroziho návaru drátem Sv-07Ch25N13 v otvoru HCP z oceli 10GN2MFA a také pro navaření hrdla z oceli 22K na plášť HCP drátem Sv-08G2S a to bez jakékoliv zásadní opory v technických normativch a technických podmínkách. Prvním krokem při řešení úkolu byla rozsáhlá rešerše literatury včetně rozsáhlého interního výzkumu ve ŠKODA JS a.s. za posledních 30 let. Na tomto základě, ale i několika úspěšných oprav touto technologií, byl navržen podpůrný experimentální program.

Exploring Temper Bead Welding



Obr. 3: Princip metody žíhací housenky založený na jednotlivých substrukturách teplem ovlivněné oblasti

Základním úkolem řízeného tepelného zpracování je řízení vlastností zejména teplem ovlivněné oblasti svaru a návaru a zabránění tvorby „nechtěných“ martenzitických struktur. Klíčovým faktorem je rychlost ochlazování a v jeho důsledku vznik mikrostruktur. V technické praxi se provádí řízené předehřevy, dohřevy a včasné tepelné zpracování.

Výsledkem tepelného zpracování jsou zpravidla tyto vlastnosti a výhody:

- mírný pokles pevnosti a meze kluzu,
- zlepšení tažnosti a plasticity,
- snížení špiček tvrdosti,
- mírné snížení vrubové houževnatosti,
- obnovení creepových vlastností,
- difúze vodíku ze svaru ven,
- lepší strukturní a rozměrová stabilita,
- zlepšení odolnosti na korozi pod napětím.

Je zřejmé, že pro výzkum vlivu metody opravy je potřeba provedení řady zkoušek, které nejsou přímo uvedeny v současně aplikovaných technických normách pro oblast kvalifikace svařování, máje ISO 15614-1 a NTD ASI sekce I. Hlavní část těchto zkoušek je prováděna na kontrolních svařových spojích reprezentujících přesně konstrukci nátrubku při opravě, použité materiály a tepelný režim.

Před vlastním svařením kontrolních svarových spojů však bylo nutné dopředu ověřit reakce materiálu 10GN2MFA na různé varianty svařovacích parametrů. Provedly se řady jednohousenkových a vícehousenkových tzv. „kalibračních“ návarů na materiál 10GN2MFA s měřením šíření teplotních polí v kritické oblasti pod navařovanou housenkou s pomocí tenzometrů. A to za pokojové teploty, aby nepříznivé „martenzitické“ reakce byly co nejvýraznější.



Obr. 4: Experimentální blok s osazením termočlánky vyvrtanými otvory vedoucími k teplem ovlivněné oblasti svarové housenky a pohled na navařovací pracoviště s měřením teplotních polí při navařování

Výsledky dosažené při vyhodnocení materiálových charakteristik daly informaci o chování teplem ovlivněné oblasti v závislosti od různých svařovacích parametrů. Poznatky vedou k lepšímu chápání metalurgických chování teplem ovlivněné oblasti a nepřímo k schopnosti volit optimální způsob svařování a navařování na základě reálných poznatků a zkušeností získaných z experimentu. Dále se provedená měření použijí jako verifikační (kalibrační) data pro softwarové řešení technologie svařování v programu Sysweld, umožňující tak dále již bez nutných experimentů predikovat metalurgické děje při navařování již jen ve virtuálním světě výpočetní techniky.



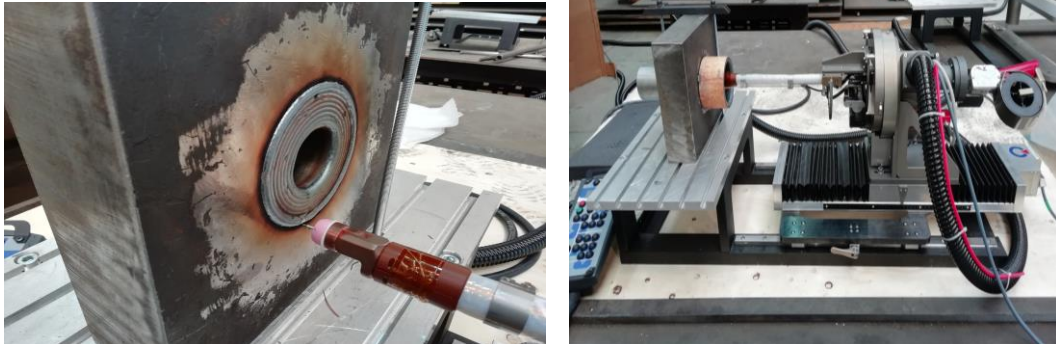
Obr. 5: Pohled na navařené bloky a řez umístěním termočlánků

Mezi zajímavé poznatky lze zařadit následující:

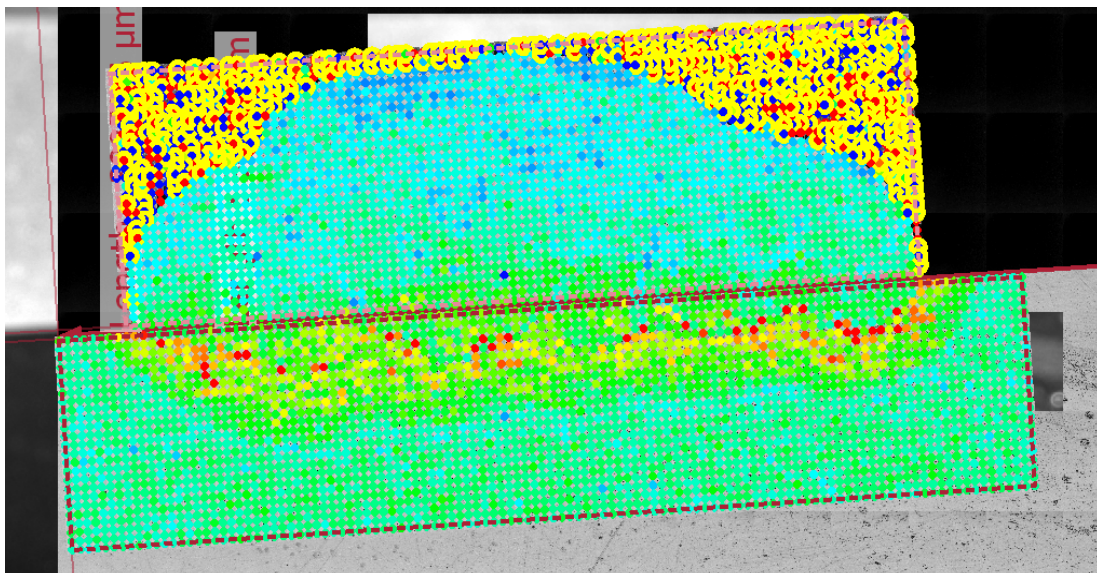
- Potvrdila se funkce druhé a třetí řady svarových housenek na „popuštění“ teplem ovlivněné oblasti a její závislost na svařovacích parametrech.
- Ověřil se vliv svařovacích proudů na stupeň promíšení svarového kovu, vznik mikrostruktur a chemický průběh přes linie ztavení.

- Byl získán datový základ pro věrohodné řešení metalurgických dějů pomocí softwarové aplikace.

Na základě experimentálního výzkumu se provádí upřesnění postupu navařování pro reálnou opravu svařovacím automatem. Obr. 6 ukazuje již reálné nasazení automatu při osvojování technologie navaření čelní plochy HCP.



Obr. 6: Pohled na svařovací automat při osvojování technologie navařování



Obr. 7: Příklad ze studia průběhu tvrdostí vícevrstevným návarem

Literatura

- [1] Soukup, T. (2019): Jaderné opravárenství v praxi: Rekonstrukce rozvodu napájecí vody parogenerátorů typu VVER 440/1000 na JE Dukovany/Temelín. *14. konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách*. Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Srní, str. 195-200. ISBN 978-80-261-0885-6