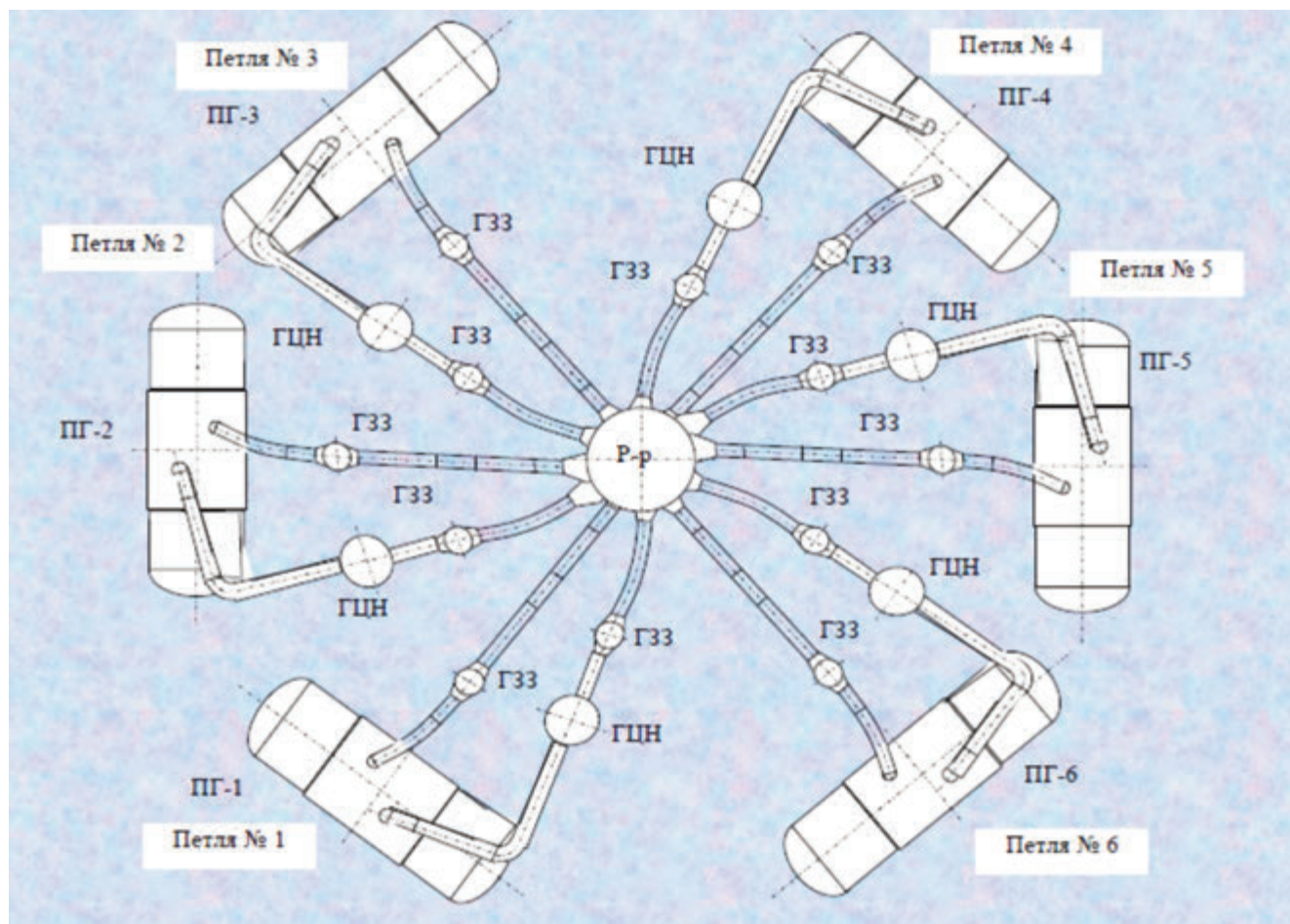


Technologie svařování hlavního cirkulačního potrubí 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Mochovce

Potrubní systémy jsou základními elementy technologických celků jaderných elektráren. Hlavní cirkulační potrubí (HCP) každé jaderné elektrárny je jedním z nejdůležitějších potrubních celků, které mají vliv na bezpečnost a životnost celého zařízení. Potrubí pracují pod vysokým tlakem a za zvýšených teplot. Jsou vystavena určitým korozním vlivům a degradaci mechanických vlastností po dobu celé projektované životnosti. Při plnění úkolu zajištění svaření hlavního cirkulačního potrubí bylo proto nutné s těmito aspekty počítat. Musela se zajistit vysoká pevnost svarového spoje, jeho korozivzdornost a životnost požadovaná v projektu. Autoři v článku popisují hlavní cirkulační potrubí z hlediska svařování, dále uvádějí základní charakteristiky potrubí, výběr a nákup přídatného materiálu, popisuje technologii svařování hlavního cirkulačního potrubí. Zajímavá je i pasáž o výcviku svářečů.



Hlavní cirkulační potrubí (HCP) DN 500 primárního okruhu s reaktorem VVER-440

Z tisíců svarových spojů na potrubí jaderné elektrárny VVER 440 připadá na systém HCP celkem 66 svarů. Na tyto svařky jsou kladena nej přísnější měřítka přípustnosti vnějších i vnitřních vad, odpovídající kategorii svaru I podle PNAEG-07-010-89. Celý proces svařování musí zajistit stabilní a rovnoměrnou úroveň kvality svarového spoje. K tomu slouží ucelený systém technologických opatření od výběru vlastní technologie svařování, volby vhodných přídatných materiálů, ověření a kvalifikování technologie svařování a v neposlední řadě výběr a výcvik svářečů.

Prvním stěžejním úkolem byl výběr vhodných přídatných materiálů. Při návrhu technologie svařování se vychází ze základních charakteristik potrubí, uvedených v technických podmínkách na montáž HCP, a ze specifikací pro základní a přídatné

svařovací materiály. V projektu pro elektrárny typu VVER jsou jasné definovány přídatné materiály schválené pro stavbu a provoz jaderných elektráren jak ve zmiňovaných technických podmínkách na montáž HCP, tak v jaderném kódu PNAEG-07-010-89.

Základní charakteristiky potrubí

Materiál kovaných potrubních dílců je austenitická ocel 08Ch18N12T (GOST 5632). Ocel se vyrábí v zásadité elektrické obloukové peci. Jednotlivé potrubní segmenty jsou volně kované. Ocel je stabilizovaná titanem.

Pracovní parametry HCP:

- pracovní parametry horké větve:
tlak $p_{\text{prac.}}$ 12,36 MPa
teplota $t_{\text{prac.}}$ 295 °C

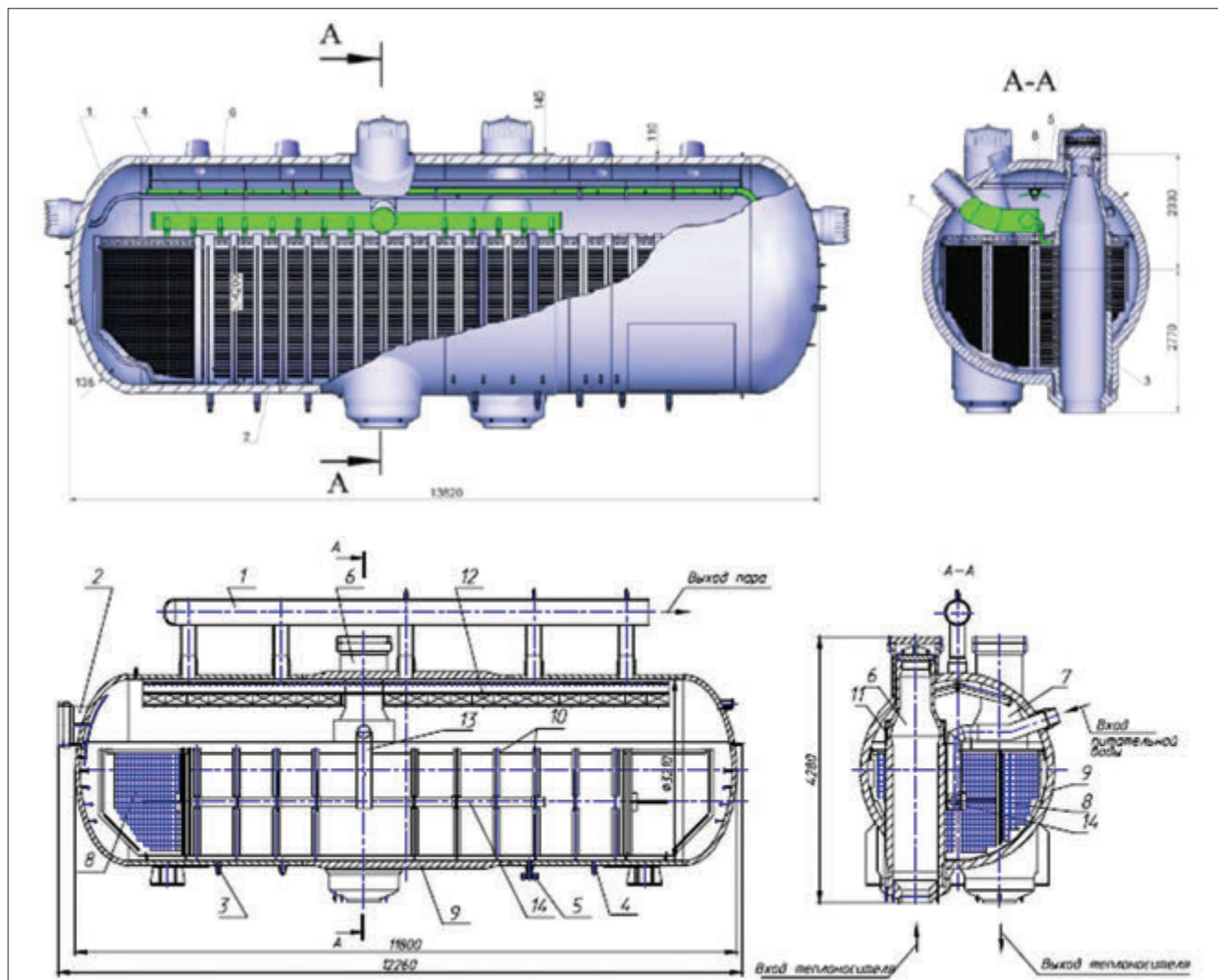
- pracovní parametry studené větve:
tlak $p_{\text{prac.}}$ 12,69 MPa
teplota $t_{\text{prac.}}$ 267 °C

Základní rozměry HCP [mm]:

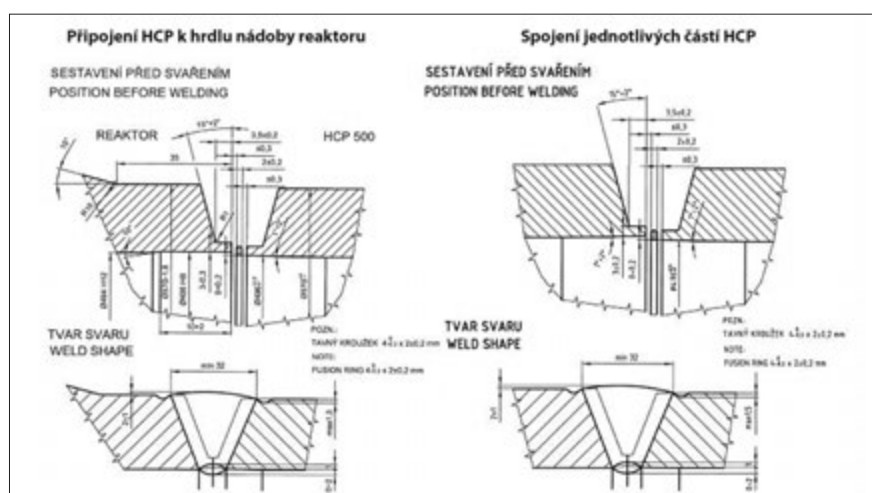
- vnější průměr D 566 mm
- tloušťka stěny t_{min} 34,5 mm až t_{max} 36,5 mm
- vnější průměr ohybů 570 mm
- tloušťka stěny před ohybem t_{min} 36,5 mm až t_{max} 38,5 mm
- tloušťka stěny po ohnutí t_{min} 34,0 mm

Výběr přídatného materiálu

Pro jaderné elektrárny VVER stavěné v bývalém Československu byla s rozvojem výstavby zavedena licenční výroba značek přídatných materiálů předepsaných projektem pro elektrárny typu



Schematický pohled na parogenerátor PGV-440. Těleso je vyrobeno z materiálu značky 22K podle GOST 5520-79. Popis: 1 - parní kolektor, 2 - průřez, 3, 4 a 5 - nátrubky, 6 a 7 - horké a studené kolektory, 8 - teplosměnné trubky, 9 - těleso PG, 10 - opěry teplosměnných trubek, 11 - ochranný límec, 12 - oddělovací lamely, 13 - trubka přívodu vody, 14 - rozdělovací kolektor přívodu vody.



Detaily provedení svarového úkosu a tvary svarů

VVER 440 a později VVER 1000 v tuzemských železárnách. Po ukončení licenční výroby svařovacích materiálů počátkem devadesátých let v ŽAZ Vamberk nastalo přerušení v zabezpečení dodávek materiálů předepsaných původním projektem pro stavbu i provoz jaderných elektráren.

S postupným úbytkem původních zásob se v ČR i v SR začal řešit způsob, jak se vyrovnat s tím, že licenční výroba byla zrušena a import ze země původního výrobce byl v bouřlivém období let devadesátých z Ruska velmi komplikovaný. Byla vypracována některá porovnání materiálů původních značek s podobnými

materiály vyráběnými "na západě." S ohledem na fakt, že základní i přídatné materiály vyráběné podle národních standardů GOST nejsou ve shodě se standardy pro obdobné materiály podle evropských nebo amerických norem, je však toto porovnání vždy jen snahou o porovnání dvou různých materiálů.

Dalším aspektem při volbě přídatných materiálů pro svařování HCP a všech ostatních důležitých zařízení v rozsahu dodávek ŠKODA JS a.s. bylo zajištění požadované pevnosti svarů po celou projektovanou životnost. V úvahu byly vzaty dostupné informace z analýz pevnosti svarových spojů a potrubí ze segmentů vyříznutých z provozovaných JE po 30 letech provozu a analýz těchto vzorků vystavených ještě následnému umělému stárnutí.

Na základě výzkumu byly v Ruské federaci vypracovány normativy na posuzování zbytkové životnosti svarových spojů pro elektrárny typu VVER 440 a VVER 1000. Při respektování všech dostupných informací tak ŠKODA JS a.s. musela zajistit přídatné materiály požadované projektem.

Nákup přídatných materiálů

Pro nákup projektem schválených přídatných svařovacích materiálů bylo nezbytné vypracovat



Tělíska pro zkoušku tahem a zkoušku vrubové houževnatosti

technické, resp. nákupní specifikace. V případě projektu jaderných elektráren typu VVER je původním jaderným kódem ucelená řada předpisu PNAEG (ruská zkratka pro Pravidla normativní v jaderné energetice). V normativu PNAEG-7-010-89 jsou vyspecifikované základní požadavky na mechanické hodnoty přídavných materiálů, chemické složení, požadavky na odolnost MKK, obsah feritické fáze, aj. Pro vlastní výrobu materiálů jsou aplikované národní, oborové a podnikové normy země výrobce.

Nedílnou součástí nákupu přídavných materiálů byl audit u výrobce těchto materiálů, firmy „Ižorské svařovací materiály“ v Petrohradě, který prověřil zejména zabezpečení systému řízení kvality, ale také technologické možnosti, zkušenosti a vybavení výrobce.

Přejímky přídavných materiálů

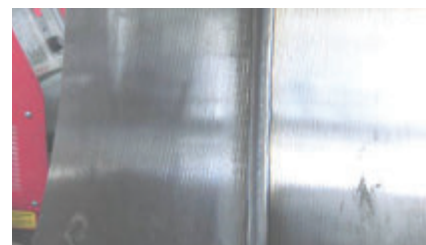
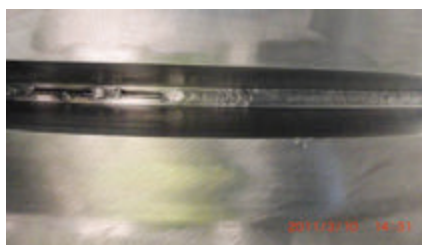
Významným krokem v celém úkolu bylo provedení přejímek vyrobeného materiálu u výrobce za účasti ŠKODA JS a.s. a vybrané oprávněné právnické osoby ve smyslu slovenské legislativy TUV Slovakia. Svařovací materiály vyráběné v „Ižorských svařovacích materiálech“ jsou původní materiály, schválené na základě výzkumu a vývoje projektu VVER. Jak již bylo řečeno, jejich licenční výroba byla v minulosti zavedena v tuzemských železárnách ve Vamberku a již v počátcích rozvoje výroby v ČSSR byly materiály od tohoto výrobce dováženy. Navázala se zde tradiční spolupráce jako v mnoha dalších oblastech souvisejících s dostavbou JE Mochovce a byly ověřeny možnosti spolupráce a dodávek pro plánované nové české bloky. V rámci spolupráce došlo ke sdílení know-how mezi českou a ruskou stranou v oblasti problematiky svařovacích materiálů pro jaderné aplikace.

Technologie svařování hlavního cirkulačního potrubí

Pro svařování HCP je použita kombinovaná metoda svařování 141/111. Kořen svaru včetně zesílené vrstvy je prováděn v ochranné atmosféře argonu drátem Sv-04Ch19N11M3 a první vrstva je provedena vložením tzv. tavné vložky (tavného kroužku). Tato technologie provedení kořenové partie svaru na austenitických potrubích byla vyvinuta v padesátých letech minulého století v laboratořích DoE (Department of Energy) v USA. Aplikace byla vyvinuta pro ruční obloukové svařování kořenové partie svaru metodou netavící se elektrody v ochranné atmosféře argonu. V současnosti



Sady tělísek pro zkoušku tahem při 20 a 350 °C (po zkoušce)



Vlevo nahoře tavná vložka přistěhovaná k levé části budoucího spoje. Vpravo nahoře je přistěhovaný celý spoj. Následovat bude celé protavení kořenové partie svaru, jak ukazuje třetí obrázek. Čtvrtý obrázek ukazuje pohled z vnitřku trubky na roztavený tavný kroužek u cvičného vzorku.

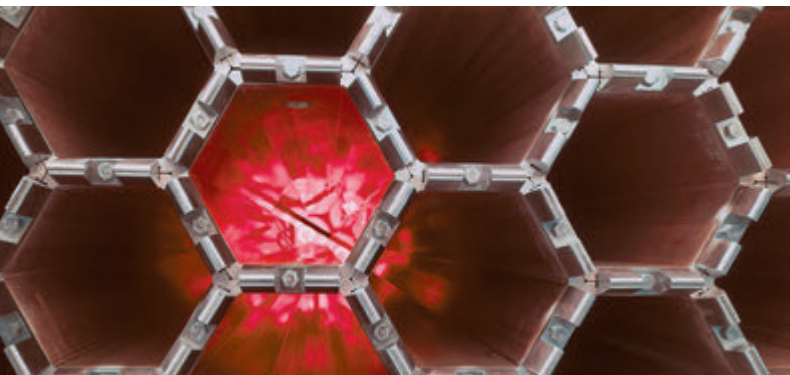
jsou ve svařování náročných jaderných aplikací zaváděny automatické procesy, které použití tavné vložky (anglicky Insert Ring) nevyžadují. Aplikace tavné vložky doznala širšího použití pro montážní svařování potrubí v Ruské federaci, kde je součástí různých oborových standardů, např. v petrochemii. Úkolem tavné vložky je zabezpečení rovnoměrnosti kresby svaru a jeho převýšení ve všech polohách. Praxe prokázala, že při svařování HCP tato technologie skutečně zabezpečuje perfektní vzhled kořene svaru z vnitřní strany potrubí.

Technologie svařování austenitických korozivzdorných ocelí, v tomto případě materiálu 08Ch18N12T (GOST 5632), jehož nejbližším ekvivalentem podle AISI (American Iron and Steel Institute) je titanem stabilizovaná ocel 321, nevyžaduje žádný předehřev před svařováním ani závěrečné tepelné zpracování po svaření. Během

svařování je však nutné striktně dodržovat mezihousenkovou teplotu, která je stanovena ruskými předpisy na 100 °C. Každé překročení této teploty vede ke zhrubnutí struktury spojené s poklesem meze pevnosti, meze kluzu, tažnosti a kontrakce materiálů.

Stanovení přesných parametrů svařování, zejména s cílem eliminace tepelného příkonu, bylo předmětem odlaďování technologie svařování na cvičných kusech. Zaznamenáno bylo navaření každé svarové housenky a měření tepelného příkonu. Následovalo svaření zkušebního kusu s provedením zkoušek nutných ke kvalifikaci postupu svařování dle příslušných evropských norem, které bylo opět provedeno jako součást produkční zkoušky na reálném materiálu hlavního cirkulačního potrubí (HCP) dodaném k těmto zkouškám.

Každý svar podléhá kontrole vizuální, kontrole kapilární a kontrole prozářením s vyhodnocením



Jsme připraveni na výstavbu nových jaderných bloků

Již více než padesát let dodáváme zařízení pro jadernou energetiku. Zkušený tým ŠKODA JS vždy odpovídá vstřícně na požadavky zákazníka v oblasti inženýringu, výroby komponent, kompletace, montáže a uvedení do provozu. Naše zařízení a služby využívají zákazníci na jaderných elektrárnách v České republice, Slovensku, Skandinávii, Francii, Německu, USA a na Dálném východě.

Aktuální klíčové projekty

- Dostavba JE Mochovce 3&4
- Obnova systému kontroly a řízení JE Dukovany
- Komponenty reaktoru EPR pro čínskou JE Tchaj-čan
- Pohony řídicích tyčí pro slovenské, ukrajinské a maďarské bloky VVER
- Servisní smlouvy s ČEZ, a.s. na komplexní údržbu primární části bloků JE Dukovany a Temelín
- V rámci mezinárodního konsorcia nabízíme perspektivní projekt VVER-2006 pro dostavbu jaderné elektrárny Temelín

dle nejprísnejších kritérií jaderného kódu PNAEG po vrstvách. První vrstva je v zesílené partii kořene svaru v tloušťce cca 10 mm, druhá kontrola je ve 2/3 celkové tloušťky svaru a poslední kontrola je prováděna po celkovém vyhotovení svaru.

Výcvik svářečů vybraných na svařování HCP

Pro svářečské práce byli vybráni nejlepší svářeči, které měla dodavatelská firma k dispozici. Ti prošli prvním sítím výběru z přibližně dvou desítek uchazečů. Nejdříve se museli seznámit s operačními vlastnostmi elektrod. Následně postoupili ke svaření silnostěnných trub průměru 270 mm. Na závěr se prováděly cvičné svařky na trubkách DN 450, tl. 34 mm. Pro úspěšné a plynulé provádění prací byla jako minimum stanovena kvalifikace celkem deseti svářečů. Jeden pár svářečů byl kvalifikován na provádění kořenových partií svaru v ochranné atmosféře argonu a další čtyři skupiny vždy po dvou svářečích pro metodu obalenou elektrodou. Tento počet byl stanoven na základě nutnosti provádět svářečské práce na výplni svaru obalenou elektrodou symetricky na dvou větvích vždy protilehlých k reaktoru a současně na nutnosti provádět svařování na jednom svaru potrubí vždy párem protilehlých svářečů. To znamená že v praxi pracovaly čtyři skupiny, rozmístěné protilehle k ose reaktoru. Rozložení svářečů má zásadní vliv na rozložení sil působících na hrdla reaktoru, tepelné dilatace a smršťování vlivem tepla, vneseného do svarových spojů. Průměrné smršťování svaru cca 4 mm bylo vždy měřeno a je součástí know-how, uplatněného během realizace montáže HCP. Celková doba svařování jednoho spoje HCP s jednotlivými pauzami na provedení nedestruktivních zkoušek trvá páru svářečů pět pracovních dní. Zkouška prozařováním se například musí provádět přes noc. Dalším omezujícím faktorem produktivity je bezpodmínečné obroušení každé nanesené svarové housenky a naprosté odstranění všech zbytků strusky vzniklé při svařování obalenou elektrodou. Toto broušení nesmí provádět samotný svářeč a jsou k tomu určeni další proškolení pracovníci. Svářeč si však tento proces čištění řídí.



Svařování „ostrého“ kontrolního spoje na DN 500 (production test)

Pro svařování HCP je předepsaná produkční zkouška – kontrolní svarový spoj, které se účastní každý svářeč. Úspěšné vyhodnocení všech předepsaných zkoušek je kvalifikačním předpokladem každého svářeče. Na jednom spoji DN 500 se kvalifikují dva svářeči, platnost kontrolního svarového spoje je 12 měsíců. Metodika provádění kontrolních svarových spojů na HCP jaderné elektrárny Mochovce č. 3 a 4 byla provedena podle jaderného kódu PNAEG.

V současnosti se při výstavbách nových jaderných elektráren začínají uplatňovat automatizované orbitální systémy pro svařování náročných potrubních tras s aktivním médiem. Jejich aplikace je však předmětem rozsáhlého technologického a materiálového výzkumu. Příprava takovéto aplikace znamená mnoholetý intenzivní výzkum. U svarových spojů primárních systémů je nutné prokázat nejen jejich vyhovující konvenční mechanické vlastnosti, ale i strukturní stabilitu, korozní odolnost a životnost požadovanou projektem, která je v případě JE Mochovce 40 let. V současnosti se na nasazení této technologie pro výstavbu nových elektráren typu VVER pracuje



Snímek ze svařování na hlavním cirkulačním potrubí

v Rusku. Technologie také přichází jako aktuální pro opravné a servisní svařování našich jaderných elektráren a v případě malých průměrů a tloušťek potrubí je technologie zvládnutá a začíná se uplatňovat i u velkých rozměrů trub v klasické energetice.

Závěr

Zajištění technologie svařování hlavního cirkulačního potrubí na 3. a 4. bloku JE Mochovce je ukázkou uplatnění širokého spektra informací vedoucích k maximální aplikaci konzervativních přístupů. Svařování austenitických materiálů není složité za předpokladu dodržení určitých pravidel v celém procesu přípravy a realizace montážního svařování. Cesta od prvních úvah nad volbou technologie svařování, volbou přídavných materiálů, jejich zajištění a následnou správnou aplikaci při vlastní realizaci přesto představuje dlouhý proces, jehož nezbytnou součástí je zajištění a vyhodnocení potřebných informací.

Tomáš Soukup, Ladislav Srb,
divize Inženýring jaderných
elektráren – Svařování,
ŠKODA JS a.s.

Welding technology for the main circulation piping of the 3rd and 4th units at Mochovce nuclear power plant

The piping systems are the main elements of the technological units of nuclear power plants. The main circulation circuit for each nuclear power plant is one of the most important of piping units influencing the safety and service life of the whole equipment. Piping work under high pressure and increased temperatures. These have particular corrosive effects and degradations of mechanical properties throughout the whole projected service life. Therefore, during the fulfilment of the task to ensure welding of the main circulating piping (HCP), it was necessary to take the following aspects into consideration. It was necessary to ensure the high strength of the welded joint, resistance to corrosion and the service life requested by the project. In the article, the authors describe the main circulating piping in terms of welding, and state the basic characteristics of the piping, the selection and purchase of additional material and also describe the welding technology used on the main circulation piping. There is also an interesting part that looks at the training undertaken by welders.

Технология сварки главного циркуляционного трубопровода 3 и 4 блоков АЭС Моховце

Системы трубопроводов являются основными элементами технологических комплексов атомных электростанций. Главный циркуляционный контур каждой атомной электростанции является одним из важнейших трубопроводных комплексов, имеющих большое влияние на безопасность и срок эксплуатации всего оборудования. Трубопровод работает под высоким давлением и при высоких температурах. Трубопроводы подвергаются определенным коррозионным влияниям и механическим повреждениям на протяжении всего срока эксплуатации. Поэтому для выполнения задачи обеспечить сварку главного циркуляционного трубопровода (НСП) было необходимо учитывать все эти аспекты. Необходимо было обеспечить высокую прочность сварных соединений, его антикоррозионные свойства и срок эксплуатации, требуемый проектом. Автор статьи описывает главный циркуляционный трубопровод с точки зрения сварки, приводит основные характеристики материала, описывает технологию сварки. Интерес представляет собой и описания в статье выучка сварщиков.