

ZLEPŠOVÁNÍ PROCESU ZASLEPOVÁNÍ TEPLOSMĚNNÝCH TRUBEK PAROGENERÁTORŮ JADERNÝCH ELEKTRÁREN TYPU VVER 440 / VVER 1000

IMPROVING THE BLINDING PROCESS OF THE HEAT EXCHANGE TUBES OF PAROGENERATORS OF NUCLEAR POWER PLANTS TYPE VVER 440 / VVER 1000

Lukáš Stainer a Milan Závíška

ŠKODA JS a.s.

Abstrakt

S přibývajícím léty provozu našich jaderných elektráren stárne i jejich zařízení. Provoz elektráren se projevuje i na parogenerátoru a jeho teplosměnných trubkách. Teplosměnné trubky parogenerátorů tvoří fyzickou bariéru mezi primárním a sekundárním okruhem a brání tak radioaktivním produktům v průniku z jejich jaderné části do části nejaderné. Proto je enormně důležité včasné provádět vyřazení z provozu těch trubek, u kterých je zjištěna taková míra jejich porušení, která by mohla vést ke ztrátě jejich celistvosti. Jednotlivé trubky se vyřazují z provozu procesem jejich zaslepování. Z důvodu vysoké intenzity ionizujícího záření v oblasti trubek je jejich zaslepování plně automatizováno. O procesu zaslepování a jeho zlepšování v několika posledních letech pojednává tento příspěvek.

Abstract

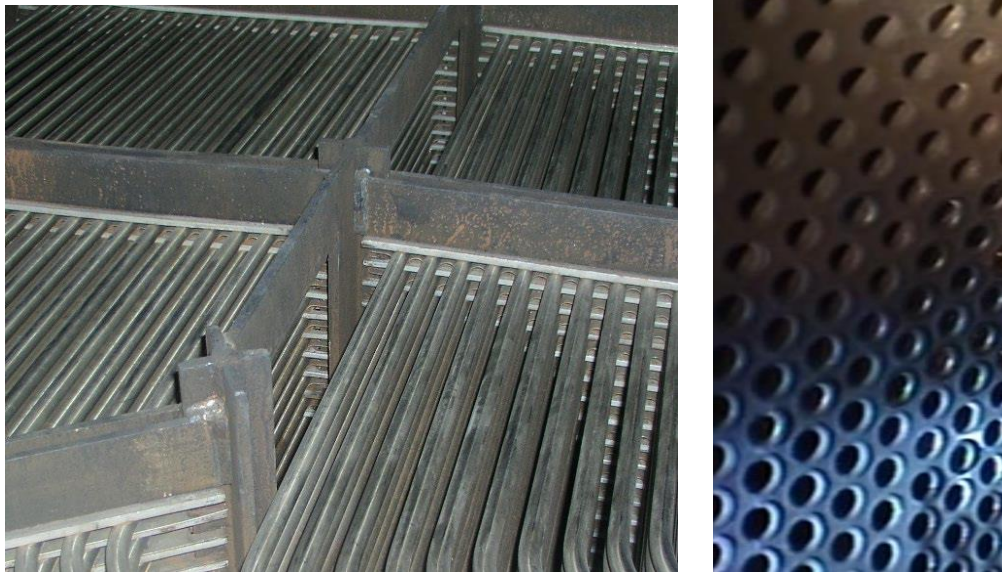
With years of operation of our nuclear power plants, their equipment will also age. The operation of power plants is also reflected in the steam generator and its heat exchange tubes. The heat exchanger tubes of steam generators form a physical barrier between the primary and secondary circuits and thus prevent radioactive products from penetrating from their nuclear part to the non-nuclear part. Therefore, it is extremely important to decommission those pipes in time that are found to have a degree of failure that could lead to a loss of integrity. The individual pipes are taken out of operation by the blinding process. Due to the high intensity of ionizing radiation in the area of the pipes, their blinding is fully automated. This paper discusses the blinding process and its improvement in the last few years.

Popis procesu zaslepování teplosměnných trubek parogenerátorů typu VVER 440/VVER 1000

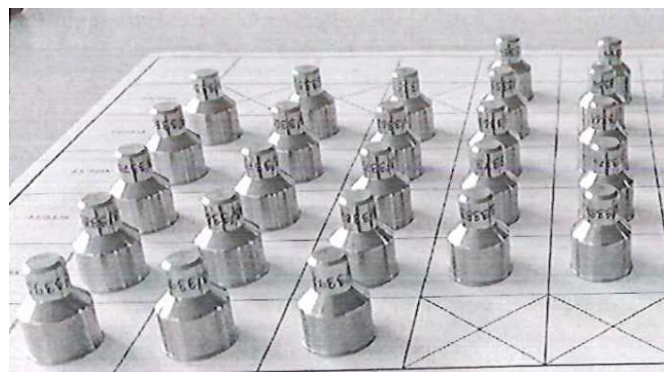
Vyřazení teplosměnné trubky parogenerátorů jaderných elektráren se provádí jejím zaslepením. Jedná se o těsné uzavření obou konců trubky pomocí speciálních kovových záslepek. Vzhledem k vysokým hodnotám ionizujícího záření je proces zaslepování trubek prováděn pomocí dálkově ovládaného manipulátoru IRIS s moduly OPZ a VIZ-HD.

Teplosměnná trubka je vyrobená z korozi-vzdorné (austenitické) oceli 08CH18N10T. Její jmenovitý vnější průměr je 16,00 mm. A jmenovitá tloušťka je 1,40 mm (viz obr. 1). Každá trubka je v parogenerátoru umístěna do tvaru „U“. Začíná v tzv. horkém kolektoru a končí v tzv. studeném kolektoru. Délky trubek jsou tak různé podle pozice trubky v trubkovém svazku.

Záslepka je vyrobena ze stejného materiálu jako teplosměnné trubky. Je u ní zaručen nízký obsah kobaltu a to maximálně 0,025 % (někdy se tak udává značení 08CH18N10T-U). Délka záslepky je 25 mm a průměr je proměnný, od 18,5 mm na jedné straně až po průměr 10,0 mm na straně druhé (viz obr. 2). Tvar záslepky byl postupně vyvinut společností VÚJE a Vítkovice.

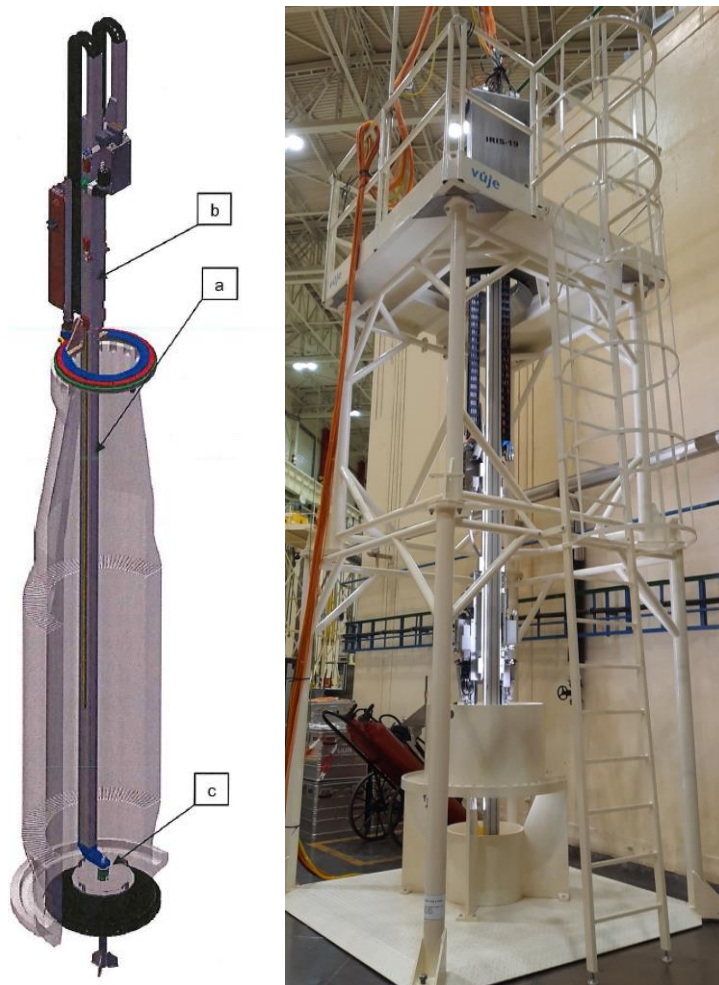


Obr. 1: Teplosměnné trubky parogenerátoru typu VVER 440 (vlevo) a pohled na trubkovnici v kolektoru (vpravo)



Obr. 2: Záslepka pro zaslepování teplosměnných trubek parogenerátorů VVER 440 / VVER 1000

Manipulátor IRIS je zařízení, které slouží k dopravě jednotlivých výměnných speciálních modulů do a z kolektoru parogenerátoru. Hlavní část manipulátoru tvoří nosný excentrický sloup vyrobený z hliníkových profilů. Sloup je z jedné strany zakončen zátkou a na druhé straně motory, které zajišťují požadované pohyby a veškerou potřebnou elektronikou (viz obr. 3). Na sloupu je vytvořena vodící dráha, po které jezdí výměnné moduly.



Obr. 3: Manipulátor systému IRIS (a – excentrický sloup, b – pohony a elektronika, c – centrovací a těsnící zátka)

Modul OPZ a modul VIZ-HD. Modul OPZ umožňuje sušení trubek, jejich odvrtání, nasazení záslepek a provedení těsnících svarů záslepek. Modul VIZ-HD je pak používán k provedení finální vizuální kontroly těsnících svarů záslepek.

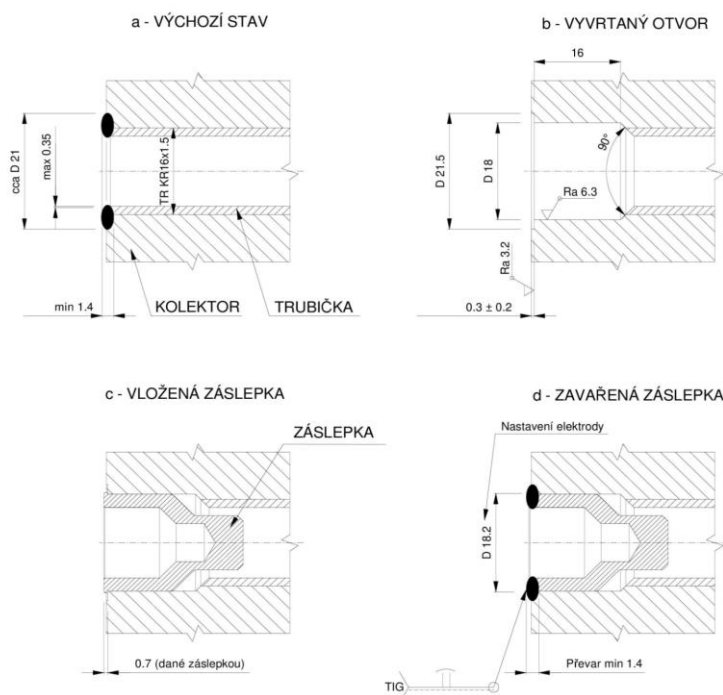
Proces zaslepení teplosměnné trubky je rozdělen do několika postupných technologických operací (viz obr. 4). Jedná se o:

- vysušení trubky určené k zaslepení,
- odvrtání výrobního těsnícího svaru trubky,
- nasazení záslepky do odvrtného otvoru,
- svaření nového těsnícího svaru záslepky.

V případě zaslepování několika trubek se každá operace provádí vždy postupně pro všechny trubky.

Problémy procesu zaslepování teplosměnných trubek v posledních několika letech

Proces zaslepování teplosměnných trubek byl vyvinut již před uvedením parogenerátorů do provozu. V počátku se jednalo o ruční způsob, kdy byl do kolektoru spuštěn pracovník, který provedl všechny technologické operace. Vzhledem k vysokým hodnotám ionizujícího záření byl pak celý proces zaslepování kompletně automatizován.



pozn.: průměry, hloubky vrtaných otvorů a drsnosti jsou dány vrtacím nástrojem

Obr. 4: Proces zaslepování teplosměnných trubek parogenerátorů

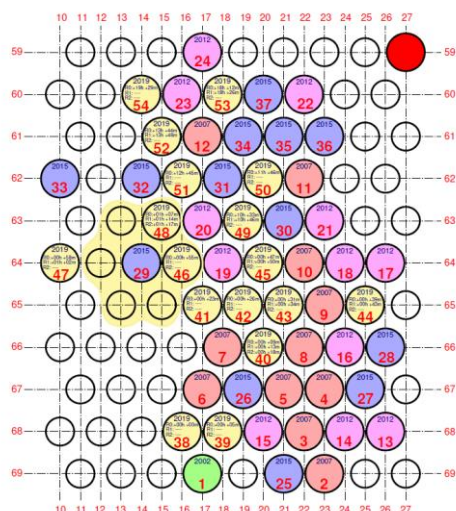
V prvních letech provozu parogenerátorů byl počet zaslepovaných trubek minimální. Proces zaslepování se tak jevil jako optimální. Pokud se už zaslepoval větší počet trubek, tak byly v různých částech kolektoru. Těsnící svary záslepek byly kvalitní na první průchod a nebylo potřeba jejich oprav druhým nebo dokonce třetím průchodem.

Postupně však začalo u některých parogenerátorů docházet k nárůstu počtu zaslepovaných trubek. Navíc tendence provozního poškození teplosměnných trubek se častěji koncentruje v jednom místě trubkového svazku. Důsledkem je, že trubky určené k zaslepení se nacházejí těsně u sebe, resp. tvoří poměrně ucelené hnízdo. Uvedená skutečnost odhalila v několika posledních letech nedostatky a problémy procesu zaslepování.

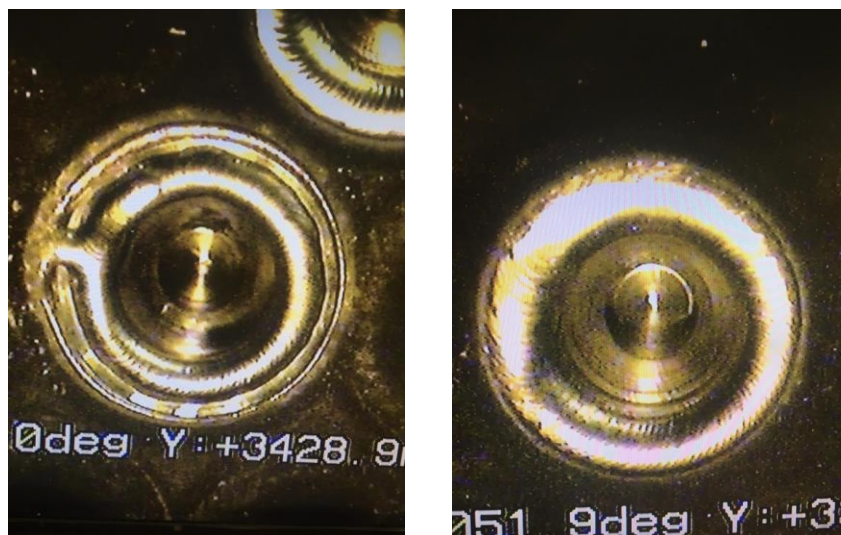
Jednalo se zejména o dva problémy:

- porušení těsnícího svaru záslečky při svařování těsnícího svaru sousední záslečky,
- „úzké“ provedení těsnícího svaru záslečky při hlubším odvrtání zaslepované teplosměnné trubky.

V prvním případě bylo zaslepování prováděno v místech, kde bylo z dřívější doby již zaslepeno téměř 50 trubek (viz obr. 5). Nové těsnící svarové spoje neměly při prvním průchodu požadovanou kvalitu a bylo tak potřeba provádět druhý někdy i třetí průchod. V důsledku toho docházelo k čím dál většímu vnášení tepelné energie do základního materiálu přechodových můstků mezi jednotlivými zaslepovanými trubkami. To v konečném důsledku vedlo ke vzniku netěsností základního materiálu můstků ve formě trhlin v okolí jedné dříve umístěné záslečky. Při zaslepování těsně sousedící teplosměnné trubky došlo k teplenému odpaření vody, která zůstala pod dříve zaslepenou trubkou. Vzniklý tlak porušil místo spoje těsnícího svaru s přechodovým můstkem. A tím se dané místo stalo netěsné. Ideální by bylo, pokud by se původní záslečka jen vyměnila za novou. Ale v důsledku existence porušení několika můstků v jejím okolí musela být provedena náročná oprava, která zahrнула i všechny okolní záslečky.



Obr. 5: Schéma zaslepených trubek v jednom uceleném hnždě



Obr. 6: „Úzký“ těsnící svar záslepky při větším zahĺoubení vrtaného otvoru (vlevo) a předpísovaný těsnící svar záslepky (vpravo)

Ve druhém případě se jednalo opět o zaslepování několika sousedících trubek. Operátor svařování musí při po odvrtání původního svaru teplosměnné trubky provést ještě vytvoření rovné plochy pro umístění záslepky. Aby rovnou plochu vytvořil, musel v důsledku nerovnoměrného okolního povrchu, odvrát větší objem materiálu. Dostatečně rovná plocha se mu podařila vytvořit ve větší hloubce, než bylo běžné. Vzniklý těsnící svarový spoj záslepky tak neměl typickou šířku a tím zřejmě ani dostatečný průvar, předepsaný procesem svařování (viz obr. 6). Oprava byla provedena odvrtáním již zavařených záslepek s „úzkým“ provedením těsnících svarových spojů a jejich náhradou novými záslepkami.

Zlepšování procesu zaslepování teplosměnných trubek

Na základě zkušeností uvedených v kapitole 2 vytvořil provozovatel jaderných elektráren expertní tým pro zlepšování procesu zaslepování. Expertní tým byl tvořen pracovníky ČEZ a. s., ŠKODA JS a. s. (realizátor zaslepování), VÚJE a. s. (výrobce manipulátoru) a Vítkovice (výrobce parogenerátorů).

Výsledkem skoro dvouleté práce expertního týmu byla řada opatření, které se promítli jak do samotného procesu zaslepování, tak i do organizace a výcviku pracovníků, kteří zaslepování teplosměnných trubek provádějí. Práce expertního týmu byla také provázána řadou výpočtů, analýz a experimentů.

Z hlediska prvního typu problému, který je uveden v kapitole 2 příspěvku, byly především provedeny výpočty a modely teplotního ovlivnění základního materiálu můstků v přímém i vzdáleném okolí zaslepované teplosměnné trubky.

Bylo prokázáno, že vnos tepla už při jednom průchodu svařovací elektrody kolem záslepky má značný vliv na pevnost základního materiálu můstků. V případě, že je můstek ovlivněn už čtyřmi nebo více průchody je vznik trhlin vysoce pravděpodobný. K tomuto případu tak stačí, když jsou vedle sebe dvě zaslepované trubky a v obou případech se provádí oprava druhým průchodem.

Na základě této zjištěných skutečností byly přijaty opatření:

- Speciální technická skupina odstávky určuje přesné pořadí zaslepování teplosměnných trubek s ohledem na počet tepelného ovlivnění základního materiálu můstků.
- Byl upraven postup pro hodnocení kvality prováděných těsnících svarových spojů, tak aby byl minimalizován počet oprav těsnících svarů druhým nebo třetím průchodem.
- Byla stanovena prodleva mezi svařováním jednotlivých těsnících svarů záslepek na to 30 minut.
- Po zaslepování je vždy prováděn výpočet tepelného ovlivnění každého přechodového můstku s tím, že při jeho nadlimitním ovlivnění jsou prováděny další speciální nedestruktivní kontroly zaměřené na zjištění vzniku případných trhlin.

Z hlediska druhého typu problému, který je uveden v kapitole 2 příspěvku, byla především provedena řada experimentů. Experimenty byly zaměřené zejména na zjištění vlivu hloubky zahloubení otvoru pro osazení novou záslepkou a vlivu vzdálenosti elektrody od hrany záslepky. Závěrem těchto experimentů je [1]:

- Kvalita těsnících svarů záslepek je výrazně ovlivněna hloubkou zahloubení vrtaného otvoru. V tomto případě existuje mezní hodnota zahloubení 0,5 mm. Při překročení této hodnoty už dochází k nespojení roztaveného materiálu záslepky a hrany otvoru po obvodě svarového spoje.
- Vzdálenosti elektrody od hrany záslepky v rozmezí hodnot 1,5 mm až 1,8 mm pro při hloubce zahloubení otvoru max. 0,5 mm je optimální.
- Pomocí tlakových zkoušek byla prokázána pevnost všech těsnících svarových spojů záslepek, a to jak při tlačení záslepky směrem do trubky (tlakové podmínky primárního okruhu), tak i v opačném směru, tedy směrem z trubky.
- Pokles teploty těsnícího svarového spoje záslepky po jeho svaření je velice rychlý. Teplota nižší než 100 °C je dosažena do 2 minut.

Na základě této zjištěných skutečností byla přijata opatření:

- Byl vytvořen postup měření hodnoty zahloubení a přijata opatření pro případ, že by mělo zahloubení větší hloubku než 0,5 mm.
- Bylo zahájeno provádění ověřovacího svarového spoje na speciálním stendu (mimo kolektor) před každým zaslepováním. I když je tento ověřovací spoj prováděn v prostoru, kam má obslužný personál přístup, tak jsou všechny technologické operace provedeny i tak automatizovaně, tedy zcela totožně jako v kolektoru parogenerátoru.
- Byl zaveden systém častějšího ověřování zařízení a schopností personálu pro zaslepování teplosměnných trubek. Dříve to bylo prováděno pouze v rámci Kontrolních svarových spojů, tj. jednou za 12 měsíců. Nově je prováděno ověřování každé dva měsíce.

Literatura

- [1] Závíška, M., Matějka, J., Vnouček, M., Jandík, V. (2020): *Zlepšení účinnosti zaslepování TS trubek PG*. Zpráva, ŠKODA JS a.s., Plzeň.