

# HETEROGENNÍ SVAROVÉ SPOJE PARNÍCH GENERÁTORŮ JE TYPU VVER 1000 MW ZHOTOVENÉ PŘÍDAVNÝM SVAŘOVACÍM MATERIÁLEM TYPU SV-10CH16N25AM6

Petr Ducháček, Marek Palán a Zdeněk Čančura

Řízení zvláštních procesů a technické kvality, Řízení techniky JE, ČEZ, a. s., JE Temelín, 373 03 Temelín

petr.duchacek@cez.cz, marek.palan@cez.cz, zdenek.cancura@cez.cz

## Abstrakt

Příspěvek pojednává o analýze degradačních mechanismů působících na heterogenní svarové spoje zhotovené přídatným svařovacím materiálem ruského typu Sv-10Ch16N25AM6 a projevu jednotlivých identifikovaných degradačních mechanismů. Dotčené heterogenní svarové spoje typu N s nechráněným přechodem mezi austenitickým (08Ch18N10T) a feritickým (22K) materiálem se nacházejí především na sekundární straně parního generátoru JE typu VVER 1000 MW. Dalším cílem je popsat možná opatření vedoucí k potlačení působení degradačních mechanismů za účelem prodloužení životnosti svarových spojů a s nimi souvisejících komponent.

The article focuses on the Analysis of Degradation Mechanisms impacting the heterogeneous welds, which are made of the additional welding material type Sv-10Ch16N25AM6 and on the demonstration of the particular identified degradation mechanisms. The heterogeneous welding joints type N, with the unprotected transition between the austenitic (08Ch18N10T) and ferritic (22K) material, are mostly located on the secondary side of the steam generator type VVER 1000 MW. The second target of the paper is to describe the possible measures which leads to the suppression the impacting degradation mechanisms in order to the extension the welding joints lifetime period and related components.

## Úvod

Energetická zařízení patří mezi nejnáročnější technologické celky ve strojírenství, a to především z hlediska jejich projekce, konstrukce, technologie zpracování, výroby a provozu. Znalost a porozumění degradačních mechanismů materiálů a jejich svarových spojů je důležité pro rozvoj metod hodnocení zbytkové životnosti těchto technologických celků.

U náročných konstrukcí, které jsou zhotoveny z řady různých materiálů, je nutné řešit jejich napojení. Existuje mnoho konstrukčních způsobů, jak tento problém řešit, ale zatím nejběžnějším způsobem je svařování. V klasických energetických provozech patří k rizikovým například spoje mezi parovodním potrubím, přehříváky a napojení výstupu membránových stěn (kotlové trubky) [1]. U jaderných elektráren patří mezi rizikové tzv. připojovací svary jednotlivých komponent, zde se často nevyhne spojení dvou chemicky rozdílných materiálů (rozdílných bází) a tím tedy vzniklého heterogenního svarového spoje (HSS). Vzniklé heterogenní svary pak bývají nejsledovanějšími místy.

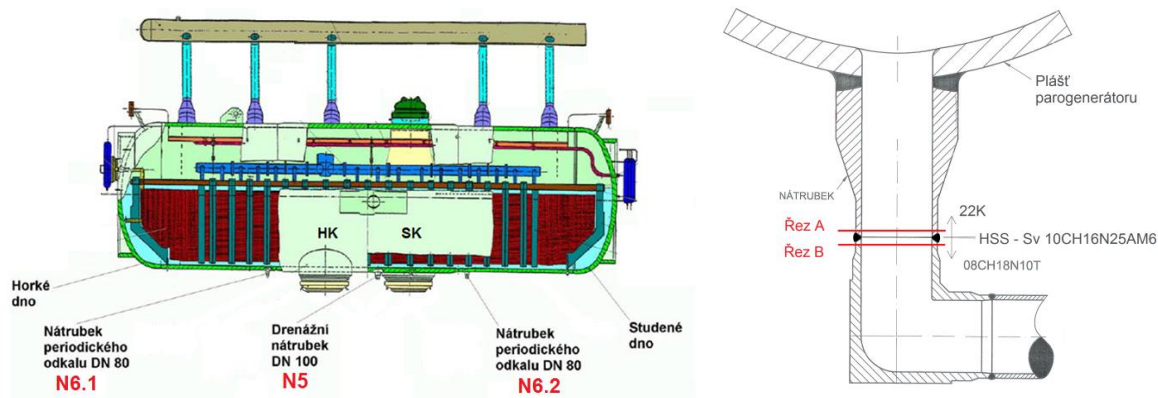
Svařování je komplexní a rozsáhlá činnost, která vyžaduje ty nejvyšší požadavky na jakost, a to především na jaderných elektrárnách.

## Heterogenní svarový spoj 22K - Sv-10Ch16N25AM6 - 08CH18N10T

Jakostní uhlíková ocel 22K (ekvivalentní značení dle DIN 20Mn5) je feriticko-perlitická ocel, ze které je vyrobena tlaková nádoba parogenerátoru, dále se také používá pro tlakovou nádobu kompenzátoru objemu.

Heterogenní svarový spoj, o kterém článek pojednává, se nachází na systému RY – periodický odkal, nátrubek N6 (N6.1 - horké dno, N6.2 – studené dno) a drenáže

parogenerátoru, nátrubek N5 (viz obr. 1). Tyto připojení slouží k vodochemickému režimu sekundárního okruhu parogenerátoru a k jeho vypouštění. Periodický odkal se používá k opakovanému odvodu pevných částic a koncentrací solí ze spodní části parogenerátoru. Odvod tohoto média z parogenerátoru se realizuje systémem potrubí z austenitické oceli 08Ch18N10T [2].



Obr. 1 Parogenerátor s dispozičním znázorněním nátrubků N5, N6.1, N6.2 (vlevo) a konstrukční uspořádání HSS (vpravo) [2]

Spojení těchto dvou rozdílných ocelí bylo realizováno přechodovým přídavným materiálem Sv-10Ch16N25AM6. Porovnání předepsaného rozsahu chemického složení ocelí a přídavného materiálu je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Předepsané a naměřené chemické složení ocelí a přídavného materiálu [3]

| Prvek                  |                             | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cr    | Ni    | Mo    | Ti    | Nb    | Cu    | V     | Co    |
|------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nátrubek<br>22K        | Specifikace materiálu       | 0,19  | 0,20  | 0,75  | max.  | max.  | max.  | 0,30  | 0,10  | max.  | -     | max.  | 0,02  | -     |
|                        | parogenerátoru<br>SM1000/80 | -     | -     | -     | max.  | max.  | max.  | -     | -     | max.  | -     | max.  | -     | -     |
|                        | Naměřeno                    | 0,26  | 0,45  | 1,05  | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,50  | 0,15  | 0,050 | -     | 0,030 | 0,05  | -     |
| Svar<br>10CH16N25AM6   | Specifikace materiálu       | 0,05  | max.  | 0,80  | max.  | max.  | 14,50 | 23,00 | 5,00  | -     | -     | -     | -     | -     |
|                        | parogenerátoru<br>SM1000/80 | -     | -     | -     | max.  | max.  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
|                        | Naměřeno                    | 0,12  | 0,70  | 2,00  | 0,030 | 0,020 | 17,00 | 27,00 | 7,50  | -     | -     | -     | -     | -     |
|                        | Naměřeno                    | 0,106 | 0,437 | 1,584 | 0,016 | 0,012 | 14,27 | 21,35 | 3,984 | 0,038 | 0,011 | 0,068 | 0,057 | 0,023 |
| Tvarovka<br>08Ch18N10T | Specifikace materiálu       | max.  | max.  | max.  | max.  | max.  | 17,00 | 9,00  | -     | 5xC   | -     | max.  | -     | max.  |
|                        | parogenerátoru<br>SM1000/80 | -     | -     | -     | max.  | max.  | -     | -     | -     | max.  | -     | max.  | -     | max.  |
|                        | Naměřeno                    | 0,08  | 0,80  | 2,00  | 0,035 | 0,020 | 19,00 | 11,00 | -     | 0,70  | -     | 0,30  | -     | 0,05  |
|                        | Naměřeno                    | 0,08  | 0,49  | 1,38  | 0,3   | 0,013 | 17,5  | 9,65  | -     | 0,52  | -     | 0,08  | -     | 0,028 |

#### Vliv promíšení přídavného materiálu se základními materiály

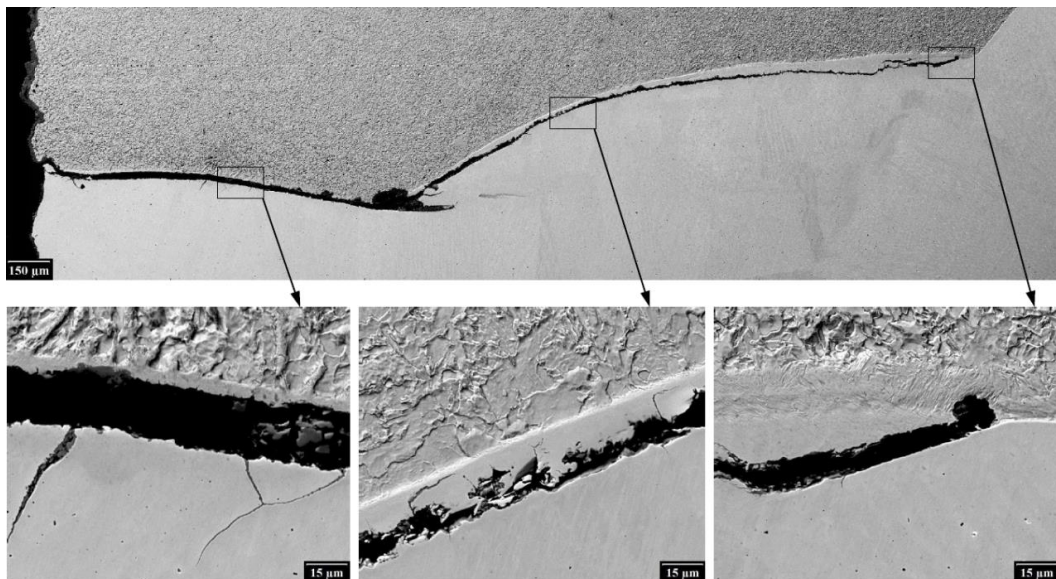
Vyjmuté HSS (viz Obr. 1. – místo odběru) byly v rámci experimentálního programu zkoumány pro nalezení kořenové příčiny porušení. Pro přesnou lokalizaci a velikost jednotlivých vad byla využita CT-tomografie. Po přesném zmapování vad byly HSS podrobeny metalografickému rozboru s využitím světelné i elektronové mikroskopie. Následně byla riziková místa doplněna o liniovou chemickou analýzu a o průběh mikrotvrdomosti.

#### Metalografické posouzení

Na obrázku č. 2 je detail trhliny, která se šířila převážně ve svarovém kovu v blízkosti linie ztavení oceli 22K - svarový kov Sv-10Ch16N25AM6.

Vzhledem k tomu, že na lících trhliny nebyly nalezeny striace ani postupové čáry, byl únavový mechanismus vyloučen.

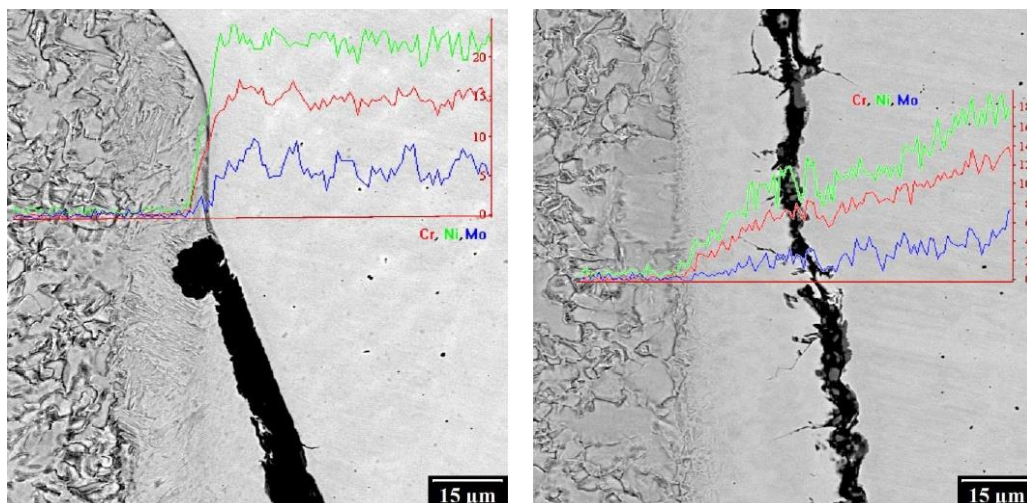
V materiálu svarového kovu docházelo podél magistralní trhliny k častému vzniku sekundárních interkrystalických trhlin. V blízkosti ústí trhliny byly na vnitřním povrchu nátrubku z materiálu 22K korozní důlky.



Obr. 2 Trhlina šířící se převážně ve svarovém kovu v blízkosti linie ztavení [4]

### Analýza chemického složení

Pomocí EDS liniové analýzy bylo na výbrusech prokázáno (viz obr. 3), že změny mikrostruktury svarového kovu směrem od rozhraní se základním materiálem jsou provázány poměrně výraznými změnami obsahu hlavních legujících prvků. Z výsledku je patrné, že při procesu tvorby svarového spoje lokálně docházelo k různě rychlému ztuhnutí svarového kovu, čemuž pak odpovídá i gradient obsahu legujících prvků.



Obr. 3 Změny obsahu hlavních legujících prvků (hm. % Cr, Ni a Mo) v okolí trhliny u rozhraní mezi základním materiálem 22K a svarovým kovem [4].

### Možná opatření pro další provoz bloku s HSS

Vzhledem k velkému rozsahu experimentálního rozboru HSS jsou uvedeny níže některé doporučení pro nápravná opatření [5].

Zkušenosti z Ruska ukazují, že i při sebelepším provedení HSS (kvalifikovaný technologický postup, kvalifikovaní svářeči, kvalifikované kontroly během jeho zhotovení), při použití stávajícího přídavného drátu typu Cr16Ni25Mo6 s vyšším obsahem niklu a nižším obsahem chromu, dojde vždy k poškození svaru. Z tohoto důvodu je doporučeno přejít na jiný typ přídavného drátu s vyšším obsahem chromu a nižším obsahem niklu [5].

Pokud se bude nadále používat drát typu Cr16Ni25Mo6, musí být kořen HSS zavařen jiným drátem s vyšší korozní odolností nebo kořen svaru musí být ošetřen jinou technologickou úpravou vnitřního povrchu. Svarový spoj vytvořený přídavným materiálem typu Cr16Ni25Mo6 by neměl být ve styku s provozním médiem [5].

Dlouhodobě je nutné věnovat pozornost heterogenním svarovým spojům, kde je návar nebo svar proveden přídavným materiálem Sv-10CH16N25AM a je ve styku s provozním médiem. Jedná se o HSS typu N a NK. Na základě zpracování podmínek jejich expozice a konstrukčního provedení svarového spoje, je nutné posoudit míru rizikovosti jejich dalšího provozu podle ČEZ\_ME\_0980 [5].

## Závěr

U heterogenních svarových spojů je nutné očekávat sníženou životnost v porovnání s homogenními spoji. Kořenovou příčinou urychleného poškození heterogenních svarových spojů trasy RY se jeví kombinace zvoleného přídavného austenitického materiálu typu Cr16Ni25Mo6, napětí od rozdílné teplotní roztažnosti a přítomnosti vodného prostředí. Použitý austenitický materiál byl příčinou vzniku řady heterogenit (kompoziční, fázové, kontinuální povahy), jejichž přítomnost vyústila v etapovitý postup trhliny podél hranice ztavení svarovým kovem. Při splnění podmínek korozního a napěťově/deformačního zatěžování lze označit tento mechanismus jako korozní praskání pod napětím s časově i funkčně etapovitým průběhem, v němž mohly být i krátké úseky postupu trhliny realizovány lokálně nestabilním lomem [3,4,5,6,7].

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě řešení projektu: Experimentální program na vybraných vyjmutých heterogenních svarových spojích z nátrubků N5 a N6 parogenerátorů na 2.HVB ETE, kde hlavním řešitelem byl ÚAM Brno s.r.o. a spoluřešitelskými organizacemi byly FJFI ČVUT, ÚMI FS ČVUT, VŠCHT a ÚJV Řež, a.s.

## Literatura

- [1] Ducháček P. (2013): *Heterogenní svarové spoje nových žárovevných ocelí pro vysokoparametrické elektrárny*. [Diplomová práce], FS ČVUT v Praze
  - [2] Ducháček P. (říjen 2016): *Experimentální program na vybraných vyjmutých heterogenních svarových spojích z nátrubků N5 a N6 parogenerátorů na 2. HVB*, zpráva ČEZ, a.s., SK zvláštní procesy a TK strojní JE
  - [3] Janovec J., Junek M. (březen 2017): *Analýza heterogenních svarových spojů nátrubků N5.2, N6.1 a N6.2 parogenerátorů 2. HVB ETE*, technická zpráva č. 12-17
  - [4] Haušild P., Siegl J. a kol. (březen 2017): *Analýza defektů nalezených v heterogenních svarových spojích nátrubků PG2 2. HVB ETE*, zpráva FJFI ČVUT Praha, číslo zprávy V-KMAT-1003/17
  - [5] Junek L. a kol. (březen 2017): *Závěrečná zpráva k Experimentálnímu programu na vybraných heterogenních svarových spojích z nátrubků N5 a N6 parogenerátorů na 2. HVB ETE*, zpráva ÚAM Brno, číslo zprávy ZP6062.docx
  - [6] Tonarová D., Brabec P., Burda J., Ernestová M. (březen 2017): *Hodnocení heterogenních svarových spojů odebraných z nátrubků PG 2. HVB ETE*, zpráva ÚJV Řež, a. s., číslo zprávy DITI 2302/437 Rev.1
- Bystrianský J. a kol. (březen 2017): *Příčiny poškození heterogenních svarových spojů nátrubků N5 a N6 parogenerátorů na 2. HVB ETE*, zpráva VŠCHT, číslo zprávy z00\_61\_6072