

# HODNOCENÍ KVALITY PROVOZOVANÉHO HETEROGENNÍHO SVAROVÉHO SPOJE MEZI HLAVNÍM CIRKULAČNÍM ČERPADLEM A HLAVNÍM CIRKULAČNÍM POTRUBÍM S APLIKACÍ TRANSCOPY REPLIK

## EVALUATION QUALITY OF HETEROGENEOUS WELDED JOINT BETWEEN THE MAIN CIRCULATION PUMP AND THE MAIN CIRCULATION PIPELINE WITH THE APPLICATION TRANSCOPY REPLICAS

Petr Ducháček, Marek Palán a Zdeněk Čančura

ČEZ, a. s., Technika jaderných elektráren, Řízení zvláštních procesů a technické kvality,  
e-mail: petr.duchacek@cez.cz, marek.palan@cez.cz, zdenek.cancura@cez.cz

### Abstrakt

Příspěvek pojednává o výsledcích nedestruktivních a semidestruktivních kontrol na heterogenním svarovém spoji (HSS) mezi hlavním cirkulačním čerpadlem (HCČ) a hlavním cirkulačním potrubím (HCP) primárního okruhu JE typu VVER-1000. HSS spojuje hlavní komponenty primárního okruhu, které jsou pravidelně ověřovány, posuzovány a hodnoceny z hlediska zajištění jaderné a technické bezpečnosti zařízení.

### Abstract

The article describes the results of the nondestructive and semidestructive controls on the heterogenous welded joint between the main circulation pump and the main circulation pipeline on the primary circuit of the Temelin Nuclear Power Plant type VVER-1000. The heterogenous welded joint connect the main components of the primary circuit, which are regularly checked, considered and evaluated for ensuring the nuclear and technical safety of the facility.

### Úvod

Heterogenní svarový spoj je mezi ulitou HCČ, která je odlita z oceli 06Ch12N3DL a přechodkou, která je z tvářené oceli 10GN2MFA s korozivzdornými návary z vnitřního povrchu, viz obr. 1. HSS byl součástí dodávky HCČ typu 195M z výrobního závodu JSC „Sumy Frunze NPO“ z bývalého SSSR, byl zhotoven dílensky včetně následného tepelného zpracování.

Pro hodnocení kvality provozovaného svarového spoje byly použity níže uvedené nedestruktivní (semidestruktivní) metody:

- automatizovaná ultrazvuková kontrola – Phased Array,
- makrostrukturální hodnocení pravidelnosti kresby housenky a šíře tepelně ovlivněné zóny,
- mobilní spektrometrická kontrola chemického složení OES,
- repliková mikrostrukturální analýza (Transcopy),
- měření tvrdosti přenosným tvrdoměrem (HV10).

## Hodnocení kvality svarového spoje HCČ s přechodkou HCP

Svarový spoj mezi HCČ s přechodkou HCP má vyšší heterogenitu oproti HSS na primárním okruhu mezi tlakovou nádobou reaktoru (TNR) z oceli 15Ch2NMFA a HCP. HSS ulity HCČ s přechodkou na HCP je svařována ocel martenziticko-austenitická s ocelí acikulárního feritu, tj. ocelí s vyšším rozdílem koncentrace chromu, iniciujícím difúzní tok uhlíku.

Chemické složení korozivodného Cr-Ni odlítka a podobně dvou návarů, stejně jako výplňového svarového kovu po tepelném zpracování, vede ke struktuře popuštěného martenzitu s nízkým podílem zbytkového austenitu s mezipaketovým uspořádáním. Tato feriticko-perlitická směs bainitického charakteru má ve svarovém spoji následné 3 morfologické alternativy dle intenzity odvodu tepla [4]:

- horní bainit (High-range) – granulární cementit,
- dolní bainit (Low-range) – intergranulární cementit – precipituje v řadách skloněných k podélné ose laťky pod úhlem 60°,
- acikulární ferit – bainitický ferit vytváří jednotlivé desky rostoucí do různých směrů (příznivá chaotická struktura).

### Makrostrukturální hodnocení

Šířky korun HSS jsou dokumentovány na obr. 2. Celková tloušťka všech návarů se pohybuje kolem 8 mm, první návar dle dosažené tloušťky okolo 2 mm byl navařen druhou vrstvou o tloušťce přibližně 3,5 mm. Šířka TOO činila 3 – 4 mm, viz obr. 3.

### Repliková mikrostrukturální analýza (Transcopy)

Mikrostruktury acikulárního feritu základního materiálu přechodky HCP z oceli 10GN2MFA (206±6 HV10) a popuštěné martenzitické struktury základního materiálu HCČ z oceli 06Ch12N3DL (251±7 HV10) jsou na obr. 4. Obr. 5 dokládá dvě alternativy dendritické struktury svarového kovu.

### Závěry [2]

Svarové spoje HCČ s přechodkou HCP byly zhotoveny u ukrajinského výrobce HCČ jako výrobní svarové spoje dle postupů vycházejících z ruských předpisů pro práci s dotčenými základními materiály. Šířka a mikrostrukturální periodičita koruny svarového spoje ukazuje na 3 drátovou aplikaci metody svařování pod tavidlem.

Geometrie oblastí svarového spoje včetně návarů, jejich mikrostrukturální rozbor a měření tvrdosti potvrdily stabilitu feriticko-karbidických mikrostruktur a tím i vlastností svarových spojů.

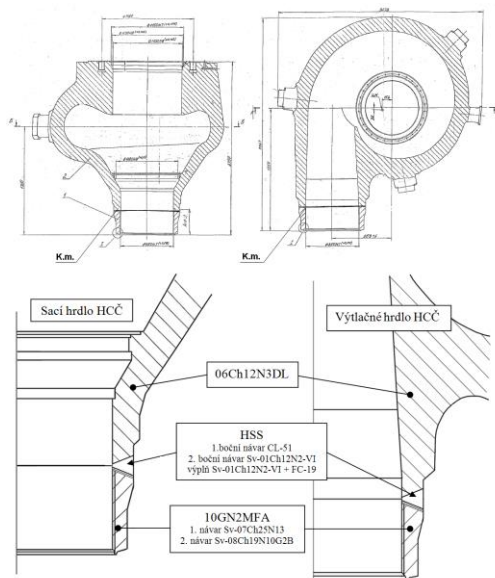
Vhodná volba přídavného materiálu svarových spojů a obou vrstev návarů stejně jako vnesené teplo při svařování a aplikace NTZ eliminovaly nárůst šířky tvrdých karbidických či intermediálních zón v oblasti linie ztavení a tím vyloučily možnost iniciace křehkých mikrotrhlin.

Hodnocení kvality svarových spojů mezi HCČ s přechodkou HCP provedená v roce 2019 obdobnými aktualizovanými experimentálními postupy rovněž prokázala vysokou kvalitu kontrolovaných heterogenních svarových kovů.

Použitá semidestruktivní metodika hodnocení kvality svarových spojů spolehlivě prokazuje, že životnost svarového spoje HCČ s přechodkou HCP u JE Temelín splňují požadavky na kvalitu svarových spojů v souladu s projektovanou životností.

## Literatura

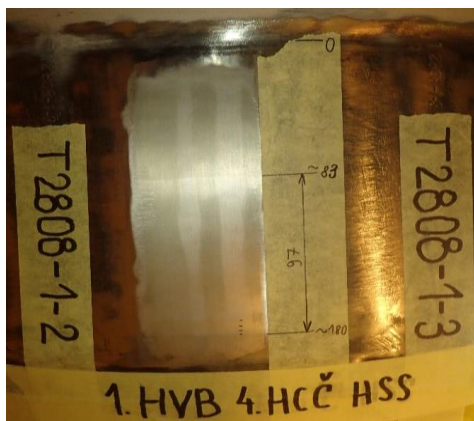
- [1] Ducháček, P. (2013): *Heterogenní svarové spoje nových žárovečných ocelí pro vysokoparametrické elektrárny*, Diplomová práce, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Praha.
- [2] Janovec, J., Horváth, J., Junek, M. (2019): *Posouzení heterogenního svarového spoje mezi HCC a HCP replikovou metalografií*. Technická zpráva (interní dokument ČEZ, a. s.), č. 15-19, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Praha.



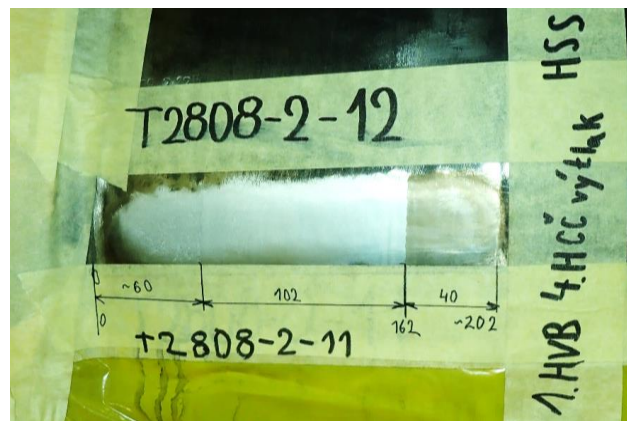
	C	Si	Mn	Cr	Ni
odlitek: 06Ch12N3DL	max. – 0,06	max. – 0,30	max. – 0,60	12,00 – 13,50	2,80 – 3,20
potrubí: 10GN2MFA	0,08 – 0,12	0,17 – 0,37	0,80 – 1,10	max. – 0,30	1,70 – 2,70
elektroda: CL-51	max. – 0,04	max. – 0,35	0,15 – 0,60	12,00 – 14,00	1,80 – 2,50
TIG drát: Sv-01Ch12N2-VI	max. – 0,03	0,15 – 0,50	0,20 – 0,70	11,00 – 13,50	1,60 – 2,50

	Mo	Cu	V	S	P
odlitek: 06Ch12N3DL	– –	0,80 – 1,10	– –	max. – 0,025	max. – 0,025
potrubí: 10GN2MFA	0,40 – 0,70	max. – 0,30	0,03 – 0,07	max. – 0,020	max. – 0,020
elektroda: CL-51	– –	– –	– –	max. – 0,025	max. – 0,030
TIG drát: Sv-01Ch12N2-VI	– –	– –	– –	max. – 0,020	max. – 0,030

Obr. 1: Hlavní cirkulační čerpadlo a svarový spoj k přechodce HCP, chemické složení jednotlivých komponent svarového spoje

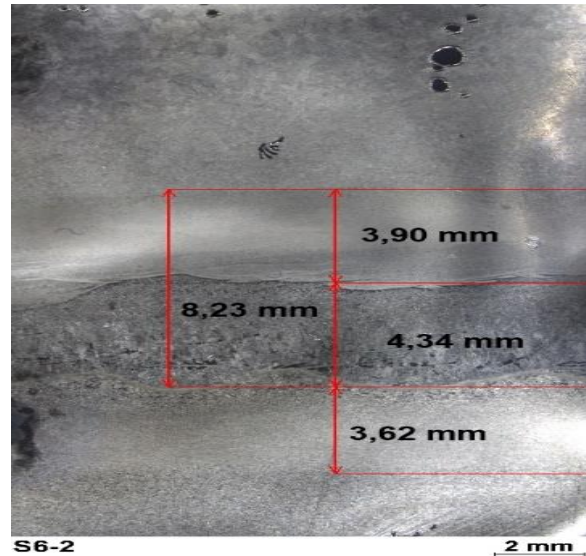
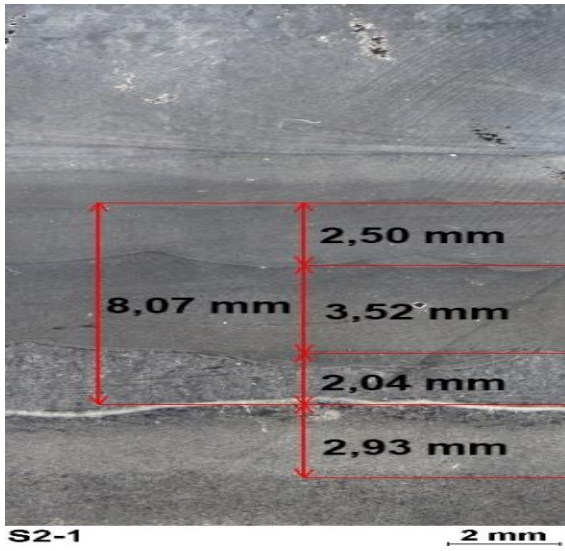


a)

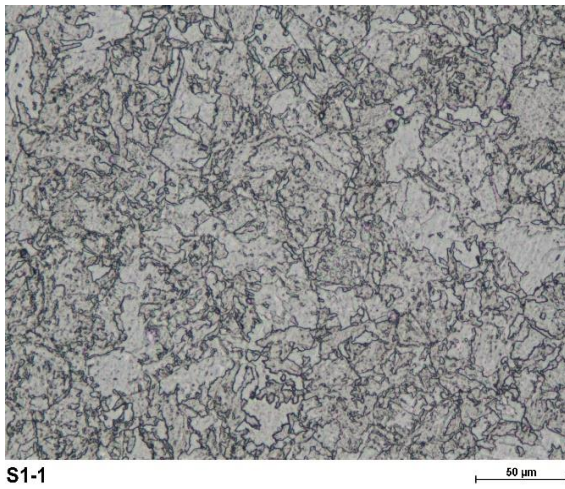


b)

Obr. 2: Makrostrukturální lept: a) sacího, b) výtláčného hrdla HCC



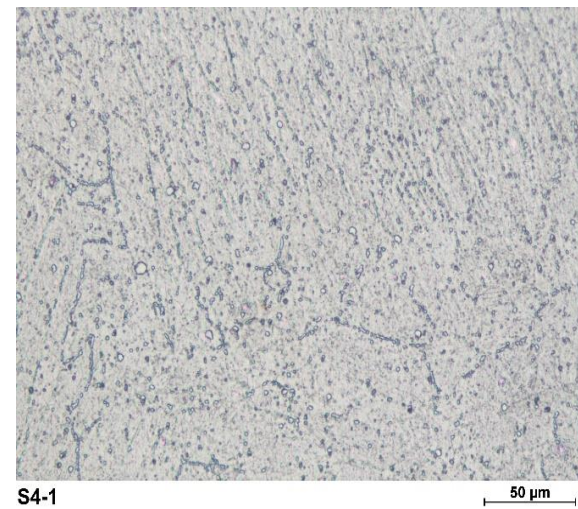
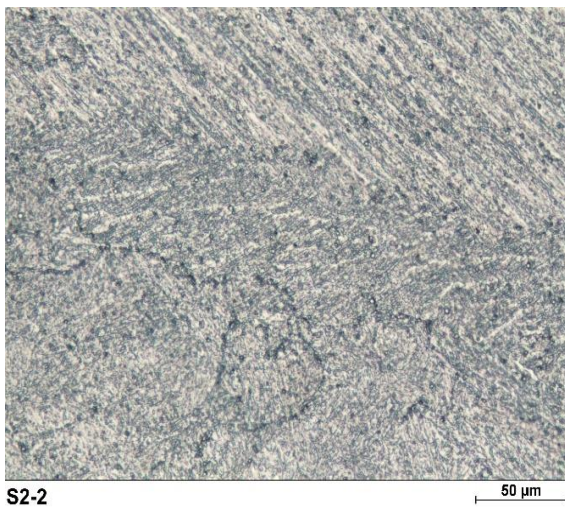
Obr. 3: Vrstvy návarů a TOO



Obr. 4: Acikulární ferit – 10GN2MFA



Popuštěný martenzit – 06Ch12N3DL



Obr. 5: Dendritické mikrostruktury svarového kovu s různou rychlostí odvodu tepla