



PROBLEMATIKA ZKOUŠENÍ HETEROGENNÍCH SVAROVÝCH SPOJŮ NA JE TYPU VVER DISSIMILAR METAL WELDS EXAMINATION ISSUES ON NPP TYPE WWER

Pavel MAREŠ, Ondřej HOUFEK, Ivan BULDRA
ÚJV Řež a.s.

Contact e-mail: mpa@ujv.cz, hfk@ujv.cz, bul@ujv.cz

Abstrakt

Zkoušení heterogenních svarů je velmi důležitou oblastí provozních kontrol, zejména z důvodu jejich náchylnosti ke koroznímu praskání. Proto je velmi důležité nalézt metodu, která zaručí detekci všech necelistvostí, které se mohou v těchto svarových spojích nacházet, a zároveň bude schopna určit jejich rozměry s velmi vysokou přesností.

Z pohledu ultrazvukového zkoušení patří heterogenní svarové spoje k nejsložitějším aplikacím. Je to dáno tím, že tyto svarové spoje a zejména austenitický materiál jsou charakteristické hrubozrnnou strukturou s výrazně orientovanými dendrity. Dále obsahují austenitický návar na rozhraní feritického materiálu a austenitického svaru. Tento návar je charakteristický velkým rozptylem UZ vlnění na zmech struktury, lomem na rozhraní a ohybem ultrazvukového svazku. Proto by měl být u těchto svarů kladen veliký důraz na prováděné kontroly.

Jedním z nejvíce problematických svarů, z hlediska UZ kontrol, je svar kolektoru parogenerátoru, který se nachází na JE Dukovany. U tohoto svaru je kontrola zkomplikována jednostranným přístupem, kdy je přístup umožněn pouze ze strany hlavního cirkulačního potrubí. Byly zde rovněž nalezeny indikace a to jak v ČR, tak i v zahraničí, proto je nutné se tomuto typu svarového spoje velmi podrobně věnovat.

Důležitým krokem pro získání co nejpřesnějších výsledků měření je vybrání optimální metody a zařízení. Mezi hlavní kontroly svaru kolektoru parogenerátoru patří v současné době impulsní odrazová metoda a jako dodatková je metoda phased array.

Tento příspěvek se zabývá prováděním UZ kontrol na zkušebních tělesech a jejich aplikací na svarových spojích na JE.

Klíčová slova: heterogenní svary, phased array, ruční kontrola, automatizovaná kontrola

Abstract

Dissimilar metal welds examination is very important part of in-service examinations, primarily because of their susceptibility to stress corrosion cracking. Therefore it is very important to find a method that ensures the detection of any discontinuities that may be located in this weld joints and also will be able to determine their dimensions with very high accuracy.

In terms of ultrasonic examination dissimilar metal welds belong to the most complex applications. This is due to the fact that the welded joints and especially austenitic material is characterized by coarse-grained structure with strongly oriented dendrites. It also contains the austenitic buttering on interface between ferritic material and austenitic weld. This buttering is characterized by a large scatter of ultrasonic waves on the grains structure, refraction at the interface and bending of ultrasonic beam. Therefore, it should be placed in these welds great importance to the examinations.

One of the most problematic welds, in terms of ultrasound examinations, is steam generator collector weld, which is located on NPP Dukovany. Examination on this weld is complicated by one-sided access, where access can be done only from side of main circulation pipeline. There were also indications found in both the Czech Republic and abroad, so it is necessary devote to this type of weld in detail.

An important step for getting the most accurate examination results is to select optimal methods and equipment. Pulse echo method currently belongs to the main examination of steam generator collector weld and as supplementary method is phased array.

This paper deals with the implementation of ultrasonic examinations on the test blocks and on weld joints in NPP.

Key words: dissimilar metal welds, phased array, manual inspection, mechanized inspection

1. Úvod

Zkoušení heterogenních svarových spojů je velmi důležité z hlediska jejich náchylnosti ke koroznímu praskání. V současné době se u nás pro kontrolu svarů na JE ve většině případů využívá impulzní odrazová metoda. Pokud je ale ke svarovému spoji jednostranný přístup nebo je omezen pohyb sondy, tak mohou být schopnosti těchto jednoduchých sond silně omezeny. Oproti tomu phased array sondy díky využití sektorového skenování nejsou příliš náročné na skenovací prostor.

2. Svar kolektoru parogenerátoru

Daný svarový spoj patří k jednomu z nejvíce problematických heterogenních svarových spojů, se kterým jsme měli možnost se setkat na českých JE. V této kapitole bude vysvětlena celá problematika tohoto svarového spoje.

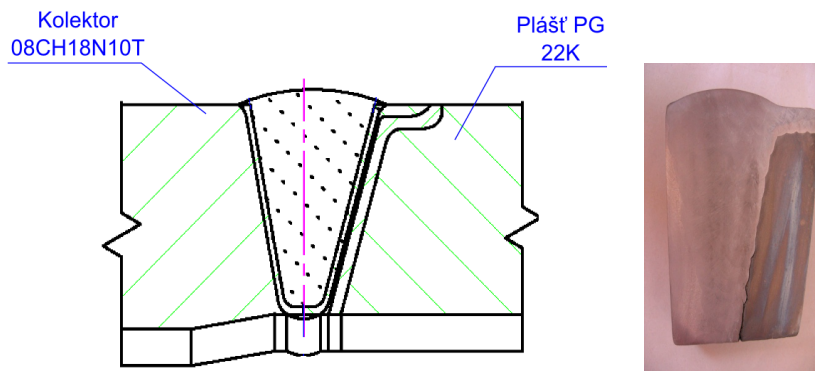
V průběhu prvních mechanizovaných UZ kontrol na EDU byly nalezeny dvě indikace na rozhraní austenitického svarového materiálu a feritického materiálu horkého kolektoru u parogenerátoru 2YB11W01 v roce 2000. Další jedna taková indikace (stejně polohy a celkového tvaru) byla nalezena v materiálu horkého kolektoru u parogenerátoru 4YB16W01 v roce 2001.

Po posouzení výsledků těchto UZ kontrol byly tyto indikace označeny jako geometrické indikace, resp. indikace od rozdílné struktury materiálu svarového kovu. Jelikož bylo stanoveno, že se jedná o indikace geometrické, tedy takové, které nemají svůj původ v přítomnosti makroskopických defektů (v těchto případech hlavně neprůvarů), byly rozměry těchto indikací vyhodnoceny pouze orientačně metodou poklesu maxima amplitudy indikace o 6 dB (na polovinu maximální hodnoty). Jako

ke geometrickým indikacím bylo k těmto přístupováno i při opakovaných UZ kontrolách, které v případě parogenerátoru 2YB11W01 proběhly v letech 2004 a 2010 a v případě parogenerátoru 4YB16W01 v letech 2002 a 2007.

Na počátku roku 2011 byly uveřejněny závažné skutečnosti, které změnily náhled na možnost výskytu a hlavně hodnocení nálezů makroskopických defektů v heterogenních svarových spojích kolektorů parogenerátorů.

Jednalo se zde o skutečnost, že v těchto svarových spojkách v provozech jaderných elektráren v Ruské federaci (konkrétně JE Novovoronežská a JE Kolská) bylo nalezeno celkem 5 defektů typu obvodových trhlin na rozhraní prvního austenitického návaru a základního materiálu v tepelně ovlivněné oblasti. Tyto trhliny jsou iniciovány (komunikují) od vnitřního povrchu (viz obr. 1) a je vážné podezření na jejich růst během provozu jaderného zařízení vlivem nebezpečné mezikrystalické koroze.



Obr.1 Schéma svaru (vlevo) a trhlina na rozhraní (vpravo)
Fig.1 Scheme of the weld (left side) and crack on interface (right side)

Dalším vstupem pro celkové zlepšení kvality provádění mechanizovaných UZ kontrol bylo dokončení výroby nového zkušebního tělesa. V tomto zkušebním tělese byly vyrobeny (mimo mnoho dalších) i defekty (celkem 4), které svojí polohou a ve třech případech i sklonem simulují s dobrou přesností výše popsané obvodové trhliny. Na tomto tělese byly provedeny praktické zkoušky, které obsahovaly nejenom kontrolu sondami, které jsou předepsány pro provádění provozních kontrol v EDU, ale i dalšími s rozdílnými úhly výstupů a frekvencemi UZ vlnění. Bylo provedeno zkoušení jak odrazovou metodou, tak i metodou phased array. Byly též prováděny kontroly z feritické části kolektoru. Možnost takových UZ kontrol je ovšem v reálném prostředí JE velmi omezena.



Obr.2 Zkušební těleso svaru kolektoru parogenerátoru (vlevo) a provádění praktické zkoušky (vpravo)

Fig.2 Test block of steam generator collector weld (left side) and performing of practical trials (right side)

Po uvážení všech těchto výše popsaných skutečností bylo rozhodnuto o provedení revize všech záznamů v kolektorech obou dotčených parogenerátorů a indikace se vyhodnotí znovu a to ve vylepšené verzi vyhodnocovacího SW (MASERA-NT) a s přístupem jako k indikacím od možných makroskopických necelistvostí na rozdíl od praxe s přístupem k indikacím geometrického charakteru.

Toto nové vyhodnocení vedlo k revizi jak rozměrů nalezených indikací, tak i ke znepokojivému zjištění jejich růstu a tím pádem i k revizi popisů a závěrů plynoucích z nalezených výsledků.

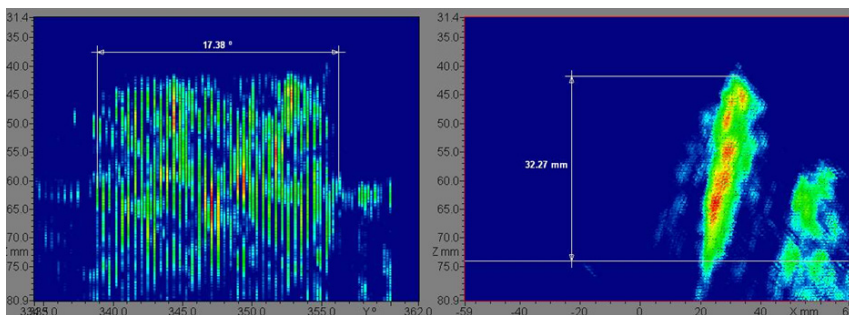
Při posledních odstávkách bloků č.2 (2012) a 4 (2011) JE Dukovany byly provedeny detailní opakované UZ kontroly úseků heterogenních svarových spojů kolektorů parogenerátorů, ve kterých byly detekovány popisované indikace.

V místě indikace označované jako N1 na 4 .bloku bylo v úseku jejího výskytu provedeno odstranění převýšení koruny svarového spoje zbroušením povrchu. Toto opatření umožnilo skenování UZ sondami přes materiál svarového spoje (kolmo na jeho osu) a ve svém výsledku umožnilo podstatně zpřesnit vyhodnocení hlavně výšky indikace. Výsledky kontrol dané indikace jsou uvedeny v následující tabulce

Rok	N1			
	L (mm)	H (mm)	ΔL (mm)	ΔH (mm)
2001	83,73	29,98	X	X
2002	92,74	30,00	+9,01	+0,02
2007	106,08	28,30	+22,35	-1,68
2011	166,83	32,27	+83,73	+2,29

Tab. 1 Výsledky kontrol indikace N1

Tab. 1 Results of examination of indication N1



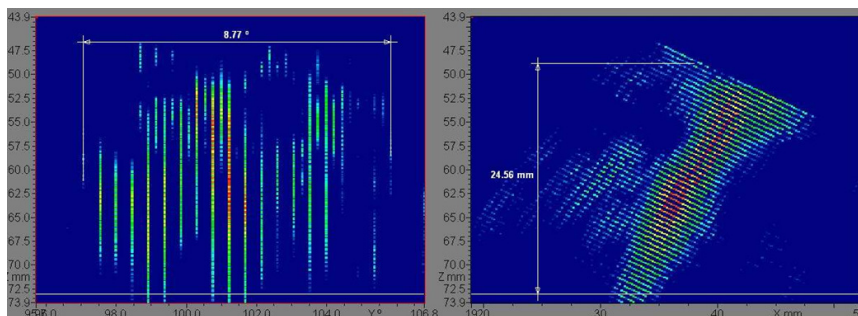
Obr.3 D a B zobrazení necelistvosti N1
Fig.3 D and C-scan of defect N1

Získané výsledky sloužili rovněž jako podklady pro simulaci pravděpodobného tvaru necelistvosti. Tyto simulace byly prováděny v softwaru CIVA.

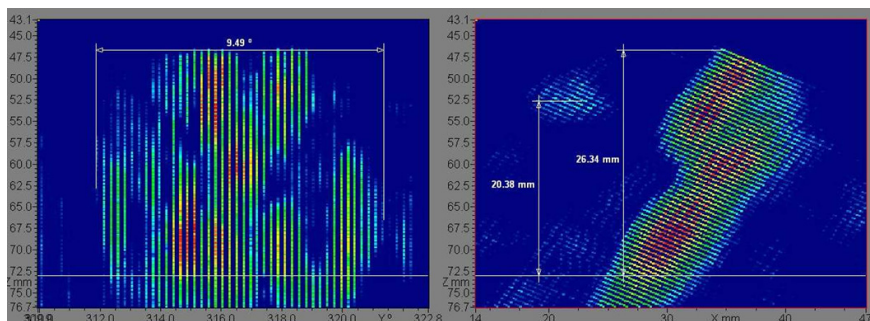
I přes doporučení nebyl provozovatelem, akceptován požadavek na odstranění převýšení koruny svarového spoje na kolektoru parogenerátoru na 2.bloku v místě výskytu indikací označených jako N1 a N2. Tato skutečnost se na neštěstí negativně projevila při vyhodnocování rozměrů indikace N2. U této indikace došlo k jejímu růstu nejenom ve smyslu její délky podél osy svarového spoje (stejně jako u všech vyhodnocovaných indikací), ale i ve smyslu její výšky od vnitřního povrchu.

Rok	N1				Rok	N2			
	L (mm)	H (mm)	ΔL(mm)	ΔH (mm)		L (mm)	H (mm)	ΔL(mm)	ΔH (mm)
2000	63,40	22,75	X	X	2000	63,11	19,54	X	X
2004	70,49	22,25	+7,09	-0,50	2004	70,49	20,51	+7,38	+0,97
2010	79,22	22,56	+15,82	+0,21	2010	---	---	---	---
2012	84,18	24,56	+20,78	+1,81	2012	91,09	min. 26,34	+27,98	min +6,80

Tab. 2 Výsledky kontrol indikací N1 a N2
Tab. 2 Results of examination of indications N1 and N2



Obr.4 D a B zobrazení necelistvosti N1
Fig.4 D and C-scan of defect N1



Obr.5 D a B zobrazení necelistvosti N2

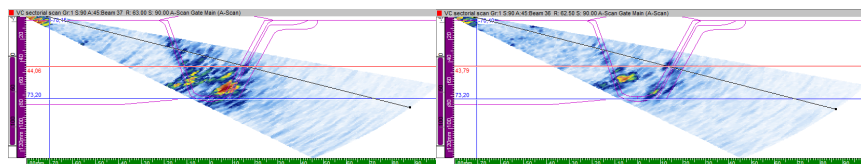
Fig.5 D and C-scan of defect N2

Na daném svarovém spoji byly rovněž provedeny pracovníky ÚJV Řež a.s. kontroly metodou phased array. Díky sektorovému skenování v rozpětí úhlů 45° - 70° bylo možné zaznamenat celou necelistvost N2, která měla u odrazové metody oříznutý signál. Výsledky hodnocení rozměrů jsou uvedeny v následující tabulce.

	Výška	Délka	Pozice (°)	Pozice (mm)	Metoda
N1	28,8	76	98,6 (96,4)	1032 (1009)	Crack Tip
N2	31,2	108	303 (311,1)	-599 (-522)	Crack Tip

Tab. 3 Výsledky kontrol metodou phased array indikací N1 a N2

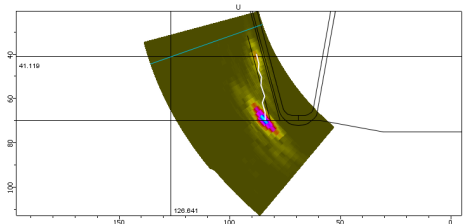
Tab. 3 Results of examination of indications N1 and N2 by phased array method



Obr.5 Sektorové zobrazení necelistvosti N1(vlevo) a N2 (vpravo)

Fig.5 Sectorial scan of defects N1(right side) and N2(left side)

Získané výsledky sloužili rovněž jako podklady pro simulaci pravděpodobného tvaru necelistvosti. Tyto simulace byly prováděny v softwaru CIVA.



Obr. 6 Simulace tvaru necelistvosti N2

Fig. 6 Modeling of defect shape

3. Svarový spoj pod kompenzátořem objemu

Na tomto svarovém spoji bude předveden přínos metody phased array a simulací pro zkoušení heterogenních svarových spojů. Pro srovnání byly použity výsledky kvalifikace odrazovou metodou HSS pod KO VVER440. Výsledky jsou porovnány s PAUT kontrolou téhož svaru. Porovnání proběhlo pomocí kvalifikačního zkušebního tělesa s 11 defekty, z nichž je část v poloze, kde se obvykle nachází i PWSCC/SCC, jak je tomu na kolektorech parogenerátorů viz předchozí kapitola.

Defekt	Skutečná velikost	Odrazová metoda					Metoda phased array					OM -PAUT ΔH
		Odstraněná koruna svaru	Použité sondy	Metoda vyhodnocení	Naměřená výška	ΔH	Použité sondy	Metoda vyhodnocení	Naměřená výška	ΔH		
		[Y/N]			[mm]	[mm]			[mm]	[mm]		
P1	6,5	N	70° TRL2 (RTD 02-82)	Tip Diffraction	8,59	2,09	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	7,4	0,9	1,2	
P2	4	Y	60° T1.5 (RTD 05-1322)	6dB Drop	5,71	1,71	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	3,5	-0,5	1,2	
P3	13	N	70° TRL2 (RTD 02-82)	Tip Diffraction	11,7	-1,3	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	14,1	1,1	0,2	
P4	12,5	Y	60° TRL2 (RTD 02-79)	DRM	13,74	1,24	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	11,2	-1,3	0,0	
P5	16,5	N	70° TRL2 (RTD 02-82)	DRM	15,08	-1,42	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	15,7	-0,8	0,6	
P6	13	N	65° T1.5 (RTD 05-1323)	Tip Diffraction	13,68	0,68	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	14,0	1,0	0,3	
P7	18,5	N	65° T1.5 (RTD 05-1323)	Tip Diffraction	16,87	-1,63	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	18,4	-0,1	1,5	
P8	9,5	N	70° TRL2 (RTD 02-82)	6dB Drop	9,46	-0,04	3.5L16-A3-SA3-N60S	6dB drop	6,9	-2,6	-2,6	
P9	6	N	65° T1.5 (RTD 05-1323)	Tip Diffraction	7,95	1,95	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	6,6	0,6	1,4	
P10	4	N	65° T1.5 (RTD 05-1323)	6dB Drop	7,43	3,43	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	4,4	0,4	3,0	
P11	12	N	65° T1.5 (RTD 05-1323)	DRM	10,61	-1,39	3.5L16-A3-SA3-N60S	Tip Diffraction	10,9	-1,1	0,3	

Tab. 4 Porovnání výsledků klasické metody a metody phased
Tab. 4 Comparison of results of pulse echo and phased array method

Závěry plynoucí z tabulky jsou následující:

1. Oproti odrazové metodě u využití PAUT není třeba odstraňovat převýšení svaru – hodnocení výšky defektů P2 a P4 lze provést ve výborné kvalitě (odchylka od skutečné výšky 0,5 a 1,3 mm), přičemž odrazovou metodou je výsledek PAUT s korunou svaru přesnější o 1,2 mm než hodnocení rozměrů s odstraněnou korunou svaru odrazovou metodou.

2. Výsledky na detekci jsou srovnatelné, ale je velký rozdíl ve stanovení výšky indikací ve prospěch PAUT.

3. U 5 defektů je hodnocení pomocí difrakce u metody PAUT navíc oproti odrazové metodě (porovnáním sloupců 5 a 9, ve sloupci 9 tučně). Maximální rozdíl je u indikace defektu P10, kde je rozdíl ve stanovení výšky indikací 3 mm ve prospěch PAUT (sloupec 12).

4. Zatímco odrazovou metodou je odchylka stanovení výšky indikací defektů od skutečného rozměru větší než 1 mm pro odrazovou metodu u 9 indikací defektů z 12 (sloupec 7) u PAUT měření pouze jen u 4 indikací defektů (sloupec 11).

Během přípravy, provádění a vyhodnocování výsledků mechanizovaných UZ kontrol heterogenního svarového spoje hrdla kompenzátoru objemu na 2. bloku JE Dukovany byly zjištěny podstatné rozměrové odchylky mezi skutečnými rozměry a tvary hrdel na ostatních blocích jaderné elektrárny.

Bylo zjištěno, že se jedná o kus vyrobený v bývalé PLR dodaný do EDU náhradou za původně projektovaný výrobek tehdejšího n.p. NHKG Vítkovice. Zásadním rozdílem mezi tělesy KO dodávanými do EDU a projektovanými pro ostatní JE tohoto typu (zejména potom dodávanými do SSSR) je tloušťka stěny základního materiálu. Zatímco byl inspekční postup navržen pro tloušťku materiálu 30 mm, skutečná tloušťka materiálu KO na 2. bloku EDU je dle získané projektové dokumentace 52,5 mm. Zkušební těleso, které bylo vyrobeno, kopíruje svarový spoj na 1., 3. a 4. bloku. Pro svar, který se nachází na 2. bloku, zkušební těleso vyrobeno nebylo. Proto bylo nutné ověřit pomocí simulací v softwaru CIVA možnosti zkoušení na tomto svarovém spoji.

4. Závěr

Z výše uvedených výsledků je patrné, že kontroly heterogenních svarových spojů jsou nezbytné pro včasné zjištění korozního praskání a získávání údajů o jejich celkovém stavu. Pokud je konfigurace svaru složitá je nutné využít i další metody, které zajistí, jak proskenování celého objemu svaru, tak přesného hodnocení rozměrů případných necelistvostí. Mezi takovéto metody patří např. metoda phased array. Tato metoda dokáže v některých případech rovněž zkrátit čas potřebný pro kontrolu a tím pádem snížit radiační dávky personálu a zařízení (pokud se měření provádí v prostředí s ionizujícím zářením).

Doporučení nahrazení nebo doplnění odrazové metody metodou phased array nesnižuje kvalitu kvalifikovaných kontrol odrazovou metodou HSS, ale zdůrazňuje existenci modernější UT metody, kterou lze použít ke zvýšení bezpečnosti a především spolehlivosti výsledků PPK, což lze prokázat přísnějšími kvalifikačními kritérii, kterým PAUT vyhovuje. Zcela jednoznačným faktem zůstává doporučení PAUT kontroly v případě omezené přístupnosti nebo nutnosti využít jen ruční odrazovou kontrolu.