

# ZKUŠENOSTI Z VÝROBY A OVĚŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES HETEROGENNÍCH SVAROVÝCH SPOJŮ NÁTRUBKŮ N6 A N7 PAROGENERÁTORŮ JE TEMELÍN

## THE EXPERIENCE OF PRODUCING AND VERIFYING THE TEST PIECES OF THE HETEROGENEOUS WELDING JOINTS OF THE NOZZLES N6 AND N7 OF THE STEAM GENERATOR OF THE NUCLEAR POWER STATION TEMELÍN

Jana Veselá a Pavel Mareš

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

### Abstrakt

V oblasti nedestruktivního zkoušení slouží zkušební tělesa (ZT) jako tzv. srovnávací měrky, které jsou určeny k nastavení základní citlivosti ultrazvukového přístroje pro zkoušení nátrubků parogenerátoru (PG). Zkušební tělesa by měla co nejdříve odrážet zkoušený komponent s ohledem na materiál, jeho zpracování a rozměry. Cílem bylo vyrobit ZT s definovaným rozměrem vady typu trhliny, umístěné v oblasti heterogenního svarového spoje (HSS) nátrubků PG.

Vs-real vyrobená vada by svým charakterem vzniku, umístěním a rozměry měla odpovídat typu vad, které byly na daném zařízení / komponentu již v praxi zjištěny, nebo jejichž výskyt je předpokládán. Pro ověření polohy a rozměru as-real vady je v praxi používána technika Phased Array ultrazvukového zkoušení (PAUT). Při výrobě ZT nátrubků N6 a N7 je tato technika využívána pro ověření polohy iniciačního vrubu, rozvoje trhliny požadovaných rozměrů při dostatečném odstupu vadového echa od šumu a vyhodnocení výšky vzniklé únavové trhliny při odpovídajícím zesílení.

### Abstract

In the field of non-destructive testing, the test pieces serve as so-called comparative gauges, which are designed to adjust the basic sensitivity of an ultrasonic instrument for testing the steam generator. The test pieces should reflect as closely as possible the tested component with respect to the material, its processing and dimensions. The goal was to produce test pieces with a defined flaw-size dimension, located in the steam generator nozzle heterogeneous welding joint.

The as-real defect would, by its nature of origin, location and dimensions, have to correspond to the type of defects already encountered or expected in the facility / component. To measure the position and size of the as-real defect, Phased Array of Ultrasonic Testing (PAUT) is used in practice. The PAUT technique is used to verify the position of the initiation notch, to develop the crack of the required dimensions with a sufficient distance between the defect echo and noise and to evaluate the depth of the fatigue crack due to the corresponding gain.

**Klíčová slova:** parogenerátor, nátrubky, zkušební těleso, ultrazvuk

### Úvod

Mezi časté příčiny poruch zařízení za provozu v oblasti jaderné energetiky patří únavové a korozní poškození materiálu, zastoupené zejména korozí pod napětím. Výjimkou nejsou ani heterogenní svarové spoje (HSS) nátrubků parogenerátorů jaderné elektrárny typu VVER1000. Provádění provozních kontrol HSS technikou PAUT, s využitím ZT k nastavení vyhledávací citlivosti ultrazvukového zkoušení, slouží k včasnému zjištění přítomnosti vady a k případnému sledování jejího rozvoje vlivem provozu zařízení.

## Nátrubky parogenerátoru

Nátrubek periodického odkalu PG s označením N6 obsahuje heterogenní svarový spoj potrubí DN 80. V provozu je pro zkoušení HSS přístupný pouze ze strany uhlíkové oceli a zkoušení PAUT se provádí ručně. Rozměry potrubí jsou 89 x 6 mm a na parogenerátoru se vyskytují 2 nátrubky, tedy celkem na bloku elektrárny je 8 nátrubků typu N6.

Nátrubek trvalého odkalu z kapes kolektorů PG s označením N7 obsahuje HSS potrubí DN 25. V praxi je zkoušení PAUT enkódováno, využívá se manipulátor Cobra a svarový spoj je přístupný z obou stran, tj. ze strany nerezů i uhlíkové oceli. Rozměr potrubí je 32 x 3,5 mm a parogenerátor obsahuje 4 nátrubky, celkem na bloku elektrárny je 16 nátrubků typu N7.

## Zkušební tělesa

Pro výrobu zkušebních těles byly od každého typu nátrubku dodány 2 ks trubek délky cca 300 mm, které byly již rozříznuty v axiálním směru trubky, obr. 1. Vzorky nátrubků N6 a N7, určených k výrobě ZT, byly svařovány v souladu s WPS. K výrobě ZT byly dodány vzorky svařené z nerezového materiálu 08Ch18N10T a materiál nádoby PG je zastoupený uhlíkovou ocelí 12 022.

Výrobě finálních ZT předcházela etapa ověření navržené technologie výroby as-real vady zahrnující i nastavení vhodných parametrů zatěžování pro rozvoj únavové trhliny. K tomuto účelu byla vyrobena interní ZT bez svarového spoje, s homogenním nebo heterogenním svarovým spojem s využitím nerezového materiálu 1.4541 a uhlíkové oceli 11 353.

## Výroba zkušebních těles

Zkušebním tělesem je polovina podélně rozříznuté trubky s HSS. Celkem byla požadována 2 zkušební tělesa pro vybraný typ nátrubku. V zadání výroby byl požadavek, aby každé ZT obsahovalo jednu vadu únavového charakteru o výšce cca 25 % a 50 % tloušťky stěny nátrubku. Pro nátrubek N7 by se jednalo o vady dosahující výšky zhruba 0,9 mm a 1,8 mm, pro nátrubek N6 dosahující výšky 1,5 mm a 3 mm. Vady mají vycházet z vnitřního povrchu v oblasti svarového spoje. Všechna ZT byla identifikována značením na vnějším povrchu, například N7/12-A (N7 – typ nátrubku, 12 – pořadové číslo ZT, A – označení poloviny po rozřezu). Pro iniciaci únavových vad byl na zkušebních tělesech vytvořen vrub jiskřením (EDM) na vnitřním povrchu polovin trubek. Vrub byl umístěn mimo radiální osu heterogenního svaru, blíže k uhlíkové oceli z důvodu simulace výskytu provozních vad. Vruby byly vytvořeny v kořenech svarů do výšky odpovídající převýšení kořenu svaru vůči vnitřnímu průměru trubky. Iniciační vruby byly vyrobeny na zařízení ALIC-1.

Vady typu únavových trhlin byly vytvořeny cyklickým namáháním, v rozsahu 1 až 5 milionů cyklů, na servohydraulických strojích INOVA 100 a INOVA 400. V průběhu cyklování na interních vzorcích byl modifikován přípravek tak, aby zatěžovací síly v daném cyklu vedly k rozvoji únavové trhliny z iniciačního vrubu. Vnější povrch ZT po opakovaném cyklování vykazoval stopu po mechanickém otlaku v místě kontaktu s přípravkem.

K nalezení správného tvaru, rozměru a umístění přípravku byla využita interní ZT se svarovým spojem i bez něho, vyrobená z homogenního materiálu uhlíkové nebo nerezové oceli, případně jejich vzájemná kombinace. Souhrnem bylo vyrobeno cca 30 kusů interních ZT pro odladění postupu výroby reálných ZT obou typů nátrubků N6 a N7.

## Ultrazvukové zkoušení technikou PA

Interní i finální ZT byla podrobena ultrazvukovému zkoušení technikou PA s využitím přístroje Dynaray firmy Zetec a OmniScan firmy Olympus. V praxi jsou pro zkoušení PAUT využívány přístroje Omniscan firmy Olympus nebo Topaz firmy Zetec.

Pro ručním zkoušení nátrubků byly použity sondy Phased Array (PA) firmy Olympus v kombinaci s předsádkami, které generují příčné vlny. Nátrubek N7 (32 x 3,5) byl zkoušený sondou

Olympus s označením 7,5CCEV35-A15 (16 elementů, zkušební frekvence 7,5 MHz) s předsádkou SA15-N60S. Pro zkoušení nátrubku N6 (89 x 6) se použila sonda AS-5 (12 elementů a zkušební frekvence 5 MHz) s předsádkou, která nebyla přizpůsobena většímu průměru nátrubku.

K laboratornímu zkoušení PAUT byl používán kalibrovaný ultrazvukový přístroj Dynaray 128/128PR. Rychlost šíření příčných vln se při zkoušení upravuje podle strany, ze které se HSS zkouší. Při zkoušení ze strany uhlíkové oceli je uvažována rychlost 3250 m/s a při zkoušení ze strany nerezové oceli je uvažována rychlost 3170 m/s.

Iničiační vrub EDM nebyl po vytvoření únavové trhliny maskován. Maskování nebylo nutné provádět z důvodu, že se jedná o tzv. otevřená ZT, určená pracovníkům NDT k nastavení přístroje a současně tréninku zkoušení na těchto srovnávacích měrkách.

Pracovníci, kteří prováděli defektoskopickou kontrolu ZT, jsou kvalifikováni a certifikováni dle požadavků normy ČSN EN ISO 9712 ve stupni 2 nebo vyšším, s praxí zkoušení technikou PAUT.

### **Výsledky zkoušení technikou PAUT**

Celkem byly vyrobeny 4ks ZT nátrubku N6 a 3ks ZT nátrubku N7. Pro zákazníka jsou shrnuty základní údaje o tělesech týkající se značení, výchozího rozměru trubek, materiálu, přítomnosti EDM, vyhodnocení výšky as-real vady typu trhliny, procentuální vyjádření výšky trhliny ve vztahu k výchozí tloušťce stěny trubky a datum detekce. Všechny trhliny byly iniciovány z jiskřeného vrubu EDM na vnitřním povrchu ZT, obr. 2.

Pokud bylo možné, tak smluvní rozměry indikací vad byly určeny přímým svazkem. K vyhodnocení byl také využíván odražený svazek od kořene svaru. Smluvní rozměr byl stanovený poklesem maximální amplitudy vadového echa o 6 dB, tzv. metoda poklesu amplitudy na polovinu. Při vyhodnocování PAUT byla na S-skenu určována maximální výška indikace vady, délka vadové indikace nebyla na C-skenu určována, protože při ručním zkoušení nebyl použit enkodér.

### **Závěr**

Pro měření výšky trhlín v průběhu výroby a na finálních ZT bylo zvoleno ruční zkoušení PAUT bez enkodéru, které umožnilo vyhodnotit výšku trhliny, ale neumožnilo hodnotit délku trhliny. Zákazníkovi bylo předáno celkem 7 kusů ZT, 3 kusy pro nátrubek N7 a 4 kusy pro nátrubek N6, společně s protokoly ultrazvukového zkoušení.

Měření ZT nátrubků N6 nezávislým NDT pracovníkem a jiným systémem PAUT prokázalo přítomnost únavové trhliny z vnitřního povrchu. Měřená výška as-real vad byla v dobré shodě s výsledky CV Řež. Současně byla detekována indikace typu trhliny vycházejících z vnějšího povrchu. Přítomnost trhlín vycházejících z vnějšího povrchu byla při výrobě ZT známa a potvrzena metalograficky na interních ZT, které bylo možné destruktivně hodnotit. Výška trhlín z vnějšího povrchu nebyla vyhodnocena.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že výroba ZT nátrubků N6 a N7 byla úspěšná s ohledem na dosažené rozměry as-real vad typu trhlín vycházejících z vnitřního povrchu ZT.

### **Zdroje**

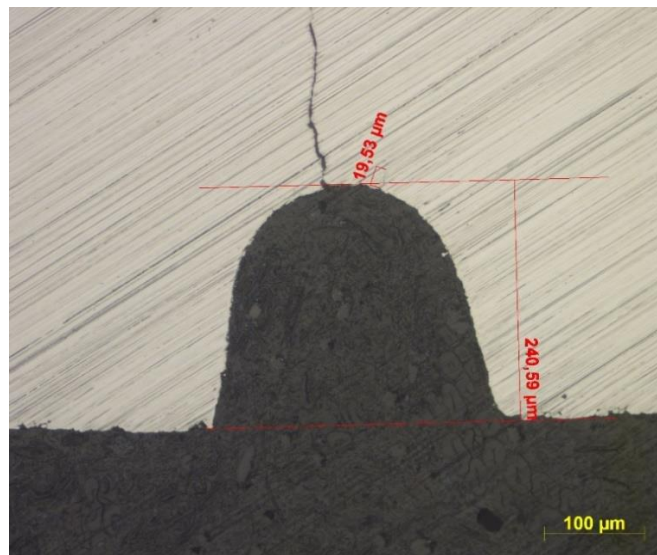
- [1] EPRI, 3002007786 (2017): *Nondestructive Evaluation: Guideline for Conducting Ultrasonic Examinations of Dissimilar Metal Welds, Revision 2*. J. Lindberg, T. Cinson, California, USA.

## Poděkování

Prezentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0108.



Obr. 1: Dodané vzorky a materiál pro výrobu zkušebních těles nátrubků N6 a N7



Obr. 2: Trhlina iniciovaná EDM vrubem po cyklování