PRVOTNÍ VÝSLEDKY DIAGNOSTIKY CREEPOVÉHO POŠKOZENÍ SVAROVÉHO SPOJE ULTRAZVUKEM

PRIMARY RESULTS OF CREEP DAMAGE DIAGNOSTICS OF WELDED JOINT USING ULTRASONIC TECHNIQUE

Jana Veselá, Pavel Mareš a Zbyněk Špirit

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Abstrakt

Parovody a zejména jejich svarové spoje jsou za provozu vystaveny působení tlaku páry a vysokých teplot v rozmezí 500 až 600 °C. Působící napětí a teplota spolu s chemickým složením a mikrostrukturou materiálu mají zásadní vliv na rozvoj creepového poškození. Za provozu je obtížné provádět detekci rozvoje poškození, a tak předcházet porušení svarových spojů parovodu. V současné době jsou realizována srovnávací měření deformací 3D měřením vybraných míst parovodů v době odstávek.

Z oblasti nedestruktivního zkoušení je pro detekci creepového poškození svarových spojů používána ultrazvuková technika Phased Array. Cílem ultrazvukového zkoušení je odlišit indikace výrobních vad od možných creepových indikací vzniklých za provozu. Snahou je detekovat rozvoj creepu nejlépe ve fázi přítomnosti ojedinělých kavit, nebo v průběhu jejich spojování do mikrotrhlin a následně makrotrhlin.

Pro detekci možného creepového poškození ultrazvukem technikou Phased Array byl využit vzorek z oceli 15 128 vyříznutý z parovodu uhelné elektrárny a znalostí organizace EPRI v této oblasti.

Abstract

Steam pipelines and especially their welds are exposed to steam pressure and high temperatures in the range of 500 to 600 °C during operation. The applied stress and temperature, together with the chemical composition and microstructure of the material, have a fundamental influence on the development of creep damage. During operation, it is difficult to detect the development of damage and thus prevent the failure of welded joints of the steam line. At present, comparative measurements of deformations are carried out by 3D measurement of selected places of steam pipelines during outages.

In the field of non-destructive testing, the Phased Array ultrasonic technique is used to detect creep damage to welds. The target of ultrasonic testing is to distinguish indications of manufacturing defects from possible creep indications arising during operation. The aim is to detect the development of creep, preferably in the phase of the presence of isolated cavities, or during their connection into microcracks and subsequently macrocracks.

Sample of 15 128 steel cut from the fossil power plant steam pipeline and EPRI's knowledge in this area was used to detect possible creep damage by Phased Array ultrasound.

Úvod

Včasná detekce creepového poškození parovodů napomáhá předcházet poškozením, která vedou až k protržení stěny použitého materiálu za provozu elektrárny. S ohledem na prostředí, zejména teplotu pohybující se v rozmezí 450 až 600 ºC, není jednoduché nalézt aplikovatelnou metodu detekce rozvoje creepu. V současné době jsou v odstávkách prováděna 3D měření vybraných rizikových míst. Na základě vyhodnocení změny geometrie povrchu, vzniku deformace jsou upřesňována místa k odběru replik. Repliky společně se skenem povrchu mají potvrdit případný výskyt drobných trhlinek, a tak předejít vzniku průchozí trhliny stěnou potrubí.

Z oblasti nedestruktivního zkoušení se v posledních letech soustředí pozornost na možné využití ultrazvukové metody pro detekci creepového poškození materiálu.

Znalosti EPRI

Z rozmezí let 2007 až 2009 jsou popsány základní poznatky uplatnění NDT v oblasti creepového poškození [1], [2]. V následujících letech se EPRI společně s provozovateli a výzkumnými organizacemi zaměřila na získávání vzorků s možným creepovým poškozením. Vzorky byly podrobovány vizuální kontrole, ultrazvukovému zkoušení technikou Phased Array (PAUT) a metalografickému rozboru [4].

Cílem srovnávání výsledků nedestruktivní a destruktivní kontroly materiálů bylo vzájemně porovnat a potvrdit, že metodou PAUT lze creepové poškození detekovat a za jakých podmínek. EPRI definuje vysokoteplotní creep v oblasti 480-510 ºC a rozděluje ho do 5 tříd:

- 1. třída = bez poškození, kdy v materiálu nejsou přítomny žádné kavity,
- 2. třída = isolované kavity creepu umístěné náhodně na hranicích zrn, které lze zjistit jen metalograficky,
- 3. třída = orientované kavity s četným výskytem na hranicích zrn, orientované ve směru hlavního napětí v materiálu,
- 4. třída = mikrotrhliny, vznikají na hranicích zrn, kde dochází ke koalescenci kavit vedoucí ke vzniku samostatné mikrotrhliny,
- 5. třída = makrotrhliny, vznikají spojováním mikrotrhlin s dalšími kavitami na více zrnech struktury.

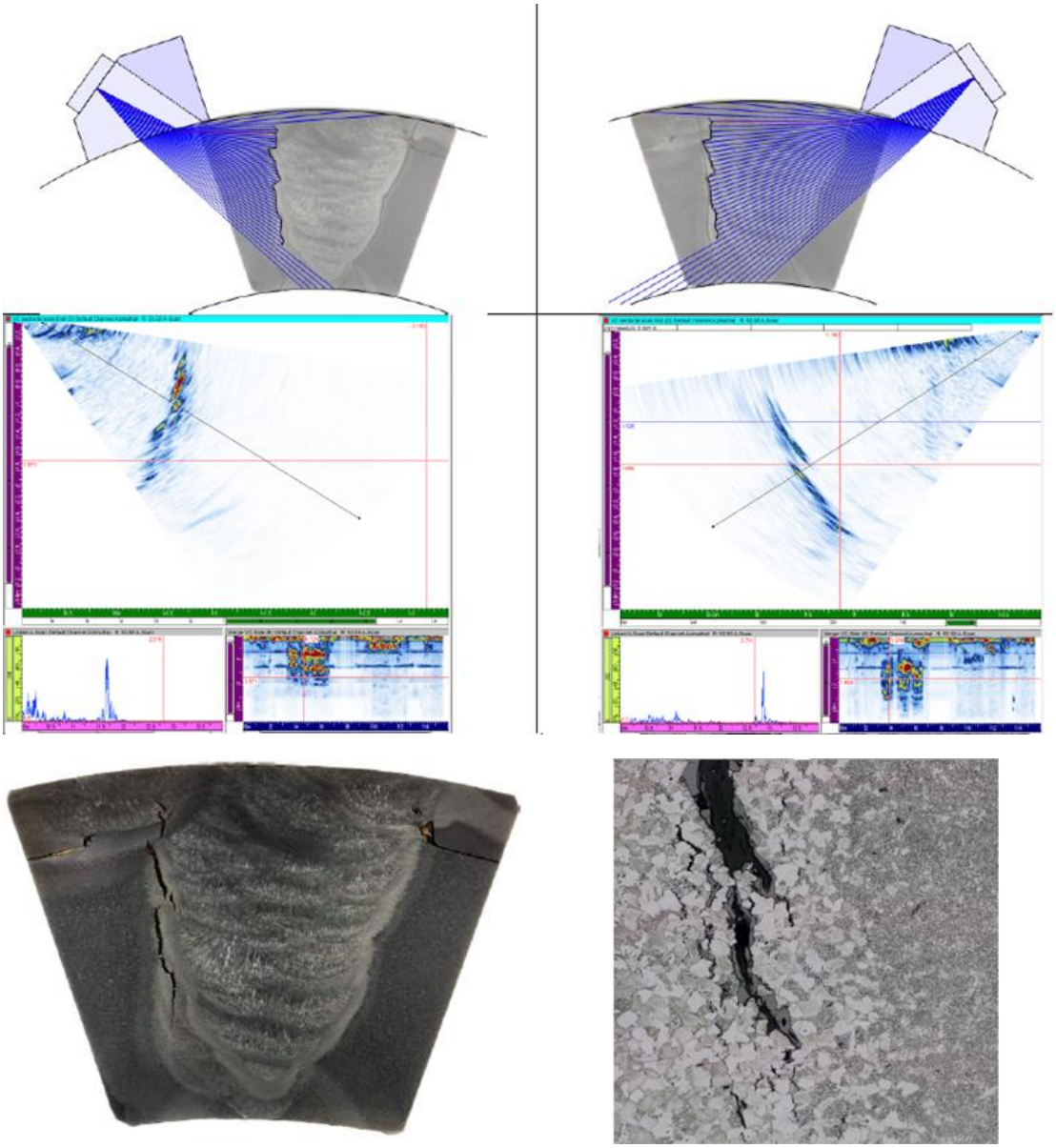
Výsledkem zjištění EPRI je detekovatelnost creepového poškození u creepu třídy 4. a 5., výjimečně ve třídě 3. Při vyhodnocování PAUT svarových spojů je nutné posuzovat indikace typu trhliny s ohledem na její polohu ve svaru. Typické creepové poškození se iniciuje ve svarovém spoji a roste směrem do tepelně ovlivněné oblasti (TOO) a základního materiálu (ZM). Oblast TOO je většinou hrubozrnná a přímo sousedí s hranou ztavení svaru. Creepová trhlina nezačíná na povrchu materiálu, je umístěna ve středové oblasti tloušťky materiálu a ultrazvuková odezva má nízkou amplitudu s nevýraznou echo-dynamikou, postupným rozvojem ovšem může povrchu dosáhnout. Pro srovnání, únavová trhlina se iniciuje na vnitřním nebo vnějším povrchu a má vysokou amplitudu od rohového odrazu, stejně jako trhlina koroze pod napětím.

Zpráva EPRI [4] blíže popisuje doporučení pro nastavení a provádění PAUT a odezvy od jednotlivých typů trhlin. Je doporučeno používat fokusovaný svazek, vyšší frekvenci sondy (s ohledem na materiál), sledovat A-sken, využívat široký rozsah úhlů, zkoušet napřímo, při zkoušení natáčet sondu, provádět ruční zkoušení v rastru, tj. bez pevného index offsetu, vyhodnocovat echo-dynamiku vybraných míst a ručně dohledávat podezřelé oblasti zkoušením v rastru. Zkoušení z obou stran svaru je ideální. Creepová trhlina má fazety, které by měly být pozorovatelné na B-skenu.

Úkolem pracovníka NDT je nejen co nejlépe detekovat přítomné vadové necelistvosti svarového spoje, ale při vyhodnocování rozeznat, zda se jedná o provozní creepové poškození, nebo výrobní vady. Z výrobních vad jsou nejčastěji detekovány neprůvar, studený spoj, porosita, dutiny, vměstky, propadlý nebo naopak přeteklý kořen. Běžně se v praxi používá kalibrace na více odrazů a sleduje se amplituda ech, což je vhodné pro detekování vad, ale nikoliv pro jejich rozlišení.

Pro srovnání byly vybrány dva případy s výrobní a provozní vadou, jejich výsledky PAUT a metalografického potvrzení typu vady. Prvním případem je potrubí o Ø 914 mm s tloušťkou stěny 49 mm, případová studie 11 [4]. Byly detekovány dutiny na hraně ztavení blízko koruny svaru a vměstky v TOO. Při PAUT byly detekovány vícečetné odezvy od krátkých indikací, shluku vad v ZM v blízkosti svaru. Metalografický rozbor typy vad potvrdil vměstky v blízkosti hrany ztavení u vnějšího povrchu a vměstky uprostřed tloušťky stěny.

Druhý příklad dokumentuje provozní vadu, creepové poškození svarového spoje sběrače potrubí o Ø 324 mm a tloušťce stěny 58 mm. Prvotně byla trhlina detekována vizuálně, na vnějším povrchu. Provedený PAUT zjistil průběh trhliny až k vnitřnímu povrchu potrubí, detekováno nepravidelné čelo trhliny s typickými fazetami. Vzorek umožnil přístup z obou stran svaru. Trhlina byla detekována ostrou odezvou A-skenu z obou stran svaru, což značí rovinnou vadu (např. trhlina) s výraznými konci trhliny, obr. 1.



Obr. 1: Potrubí Ø 324 mm, tloušťka stěny 58 mm, případová studie 16 [4]

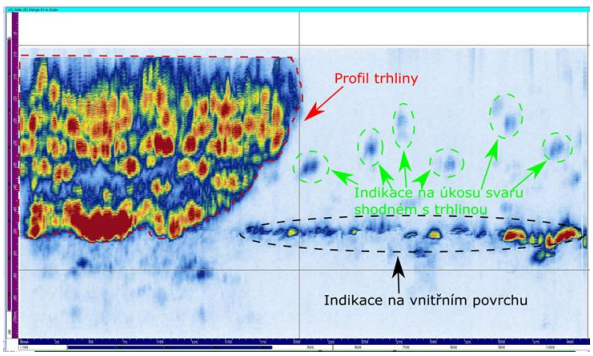
Rozbor vzorku ČEZ

Vzorek parovodu PK15 vyříznutého z teplárny byl předán k bližšímu zkoumání. Cílem zkoušení bylo ověřit možnost detekovat creepové poškození svarového spoje. Měření bylo provedeno přístrojem Dynaray 128/128 a PA sondou AM-10MHz s předsádkou AM-55SW, s využitím enkodéru Olympus. K vyhodnocení byl použit software Ultravision 3.8R30.

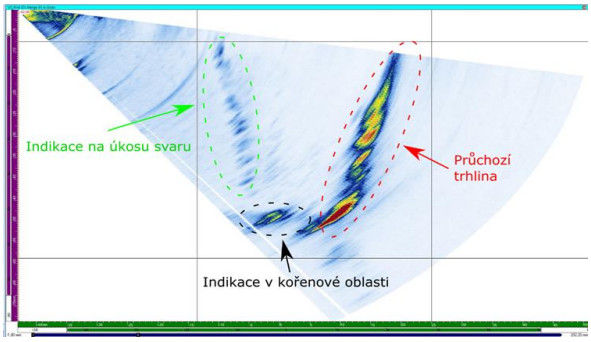
Vzorek byl vyříznutý z potrubí parovodu z důvodu nálezu průchozí trhliny na úkosu svarového spoje. Vzorek předaný k rozboru je jednou z polovin potrubí o rozměru Ø 324 x 48 mm a na protější straně svaru na vnitřním povrchu přechází pozvolna do tloušťky 60 mm. Vzorek byl pro analýzy axiálně rozdělen na 2 poloviny a pro ultrazvukové zkoušení tak byla k dispozici

pouze jedna polovina. Rovněž byl uříznut v obvodovém směru cca 20 mm od okraje převýšení svarového spoje na straně, kde se nachází výše zmíněná průchozí trhlina. Z tohoto důvodu je možné měření pouze z jedné strany svarového spoje, obr. 6.

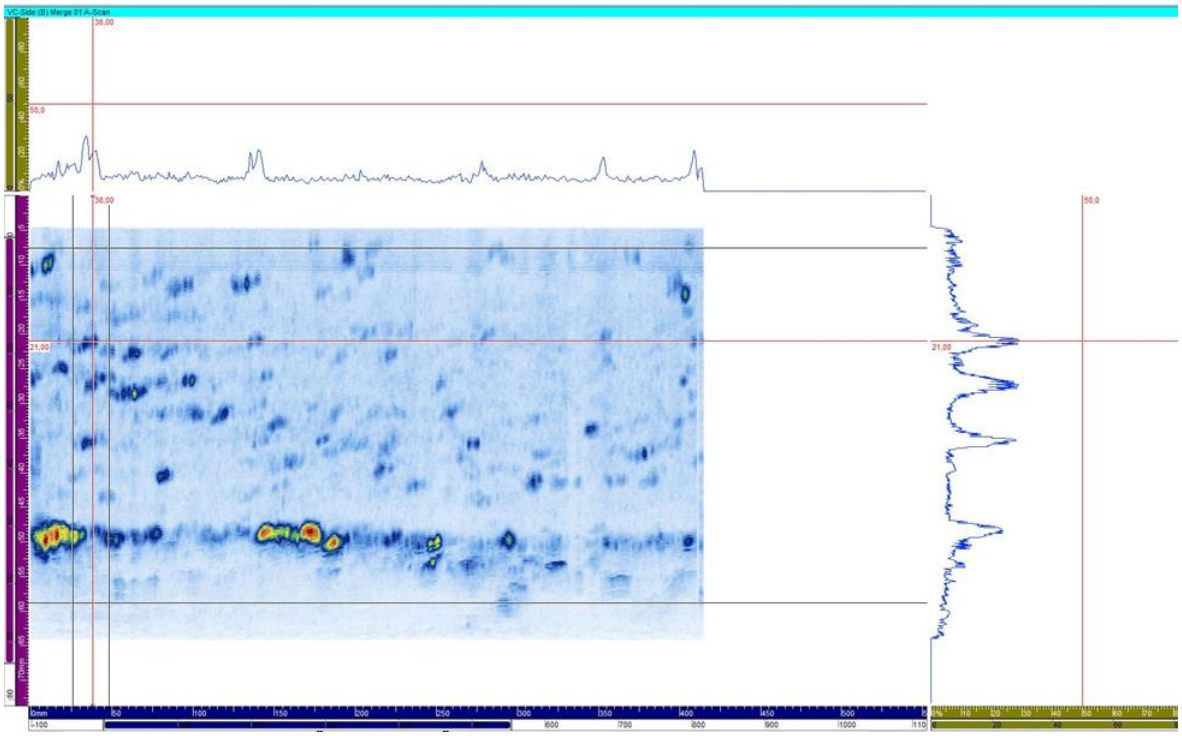
Samostatně byla hodnocena průchozí trhlina nacházející se na vzdálenějším úkosu svaru vůči poloze sondy při zkoušení. Hodnocení výsledků PAUT bylo zaměřeno na jednotlivé indikace detekované na obou úkosech svarového spoje, obr. 2 a obr. 3. Při hodnocení PAUT byla sledována echodynamika, která by u indikací creepu měla být nevýrazná, obr. 4.



Obr. 2: B-sken povrchu s trhlinou



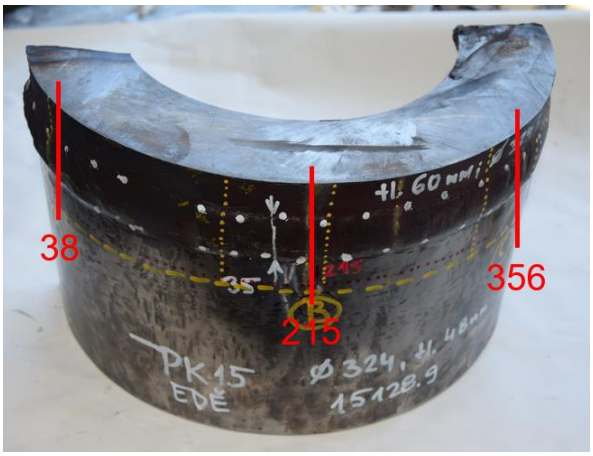
Obr. 3: D-sken – profil trhliny



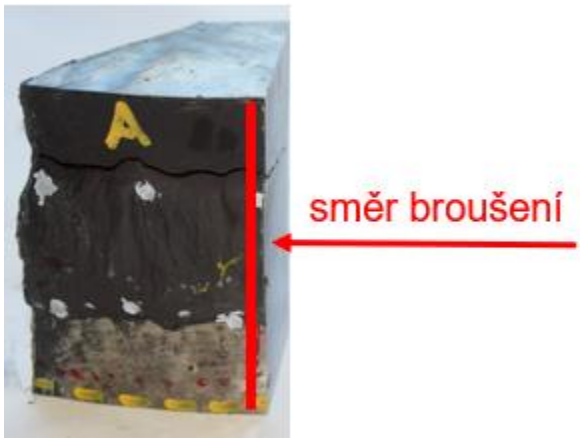
Obr. 4: B-sken, echodynamika indikací

Celkem byly provedeny 3 řezy v pozicích 38, 215 a 356 mm, obr. 5. Řez byl veden s přídavkem cca 2,5 mm pro následné broušení k místu zájmu s postupnými prohlídkami pod mikroskopem, obr. 6, s cílem nalézt vady v místech detekovaných PAUT, včetně očekávaného creepového poškození. Blíže se zaměříme na pozici 38 mm, kde byly určeny hloubky vybraných indikací na úkosu bez trhliny pro metalografické ověření, obr. 7.

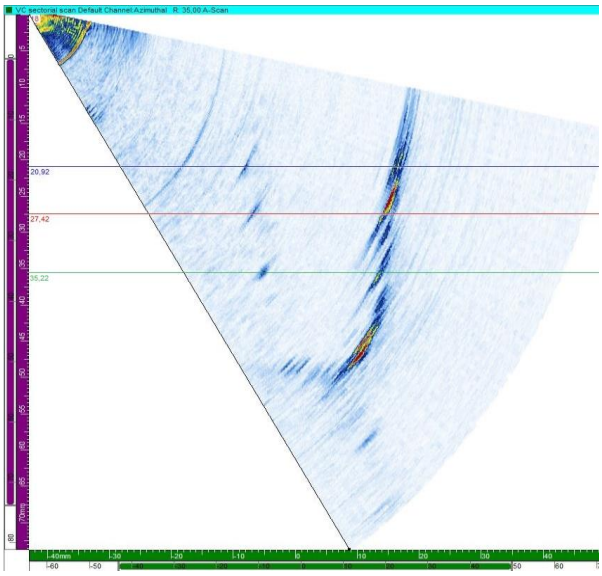
Byly získány výsledky metalografie v postupných hloubkách a na pozici 38 byla odměřena hloubky nalezených vad pro srovnání s výsledky PAUT, obr. 8.



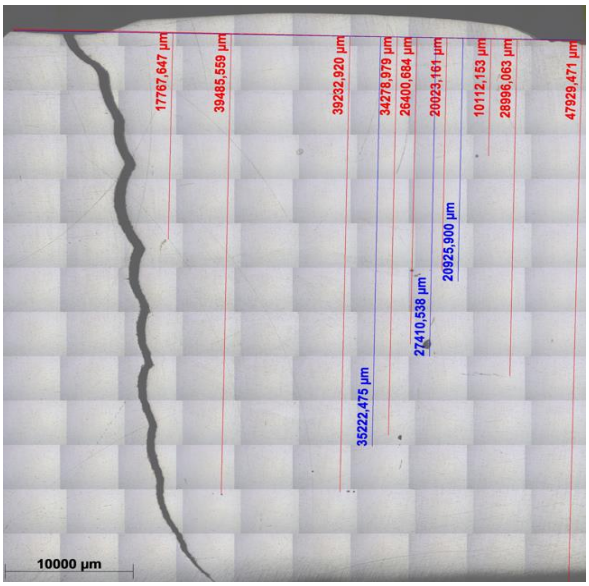
Obr. 5: Rozřezový plán



Obr. 6: Pozice 38 mm



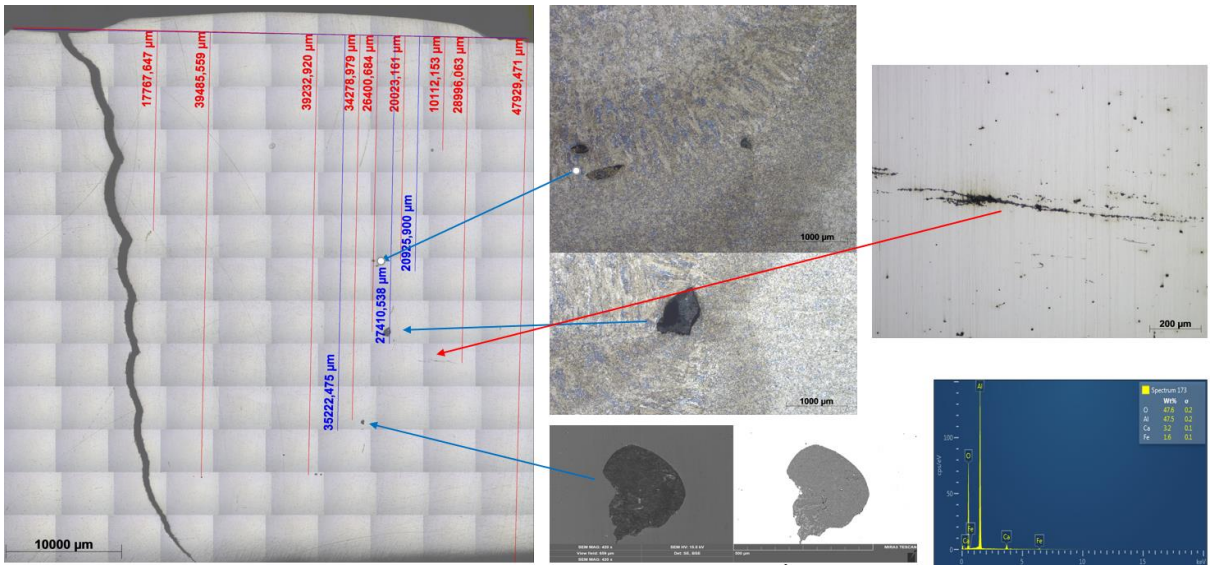
Obr. 7: Pozice 38 mm, hloubky indikací



Obr. 8: Pozice 38 mm s hloubkami vad

Indikace detekované PAUT, na obr. 8 hloubka popsána modře, byly metalograficky potvrzeny jako výrobní vady typu vměstek. Na pozici 38 mm byla nalezena řádka kavit společně s velmi jemnými vměstky, která nebyla technikou PAUT detekována, obr. 9.

Pro metalografické hodnocení výbrusů byl použit světelných invertovaný mikroskop Zeiss Axio Observer Z1m a skenovací elektronový mikroskop (SEM) Tescan MIRA 3 GMu s energiově disperzním spektrometrem (EDS) Oxford AZtec X-Max 80. SEM byl použit za účelem chemické analýzy nalezených oxidických vměstků s obsahem hliníku a vápníku viz EDS spektrum na obr 9. Nalezené řádky kavit o velikost do 20 mikrometrů se nejčastěji iniciovaly na rozhraní vměstek-substrát. Postupným propojováním kavit a vměstků vznikly mikrotrhliny v obvodovém směru svarového spoje.



Obr. 9: Vzájemné porovnání metalografie a PAUT v pozici 38 mm

Závěr

Vzájemné porovnání výsledků ultrazvukového zkoušení svarového spoje parovodu s metalografií prokázalo, že detekované polohy výrobních vad odpovídají skutečnosti. Technikou PAUT byl detekován minimální rozměr vměstku 200 x 100 mikrometrů. Současně lze konstatovat, že rané stádium creepového poškození, ve formě řádků kavit na rozhraní vměstek – základní materiál, nebylo detekováno.

Pro rozlišení výrobních a provozních vad je nezbytné využívat echodynamiku a uvažovat polohu indikací ve svarovém spoji a tepelně ovlivněné oblasti jako jedny ze základních charakteristik pro určení typu vady.

Poděkování

Presentované 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.

Literatura

[1] EPRI (2007): *Circumferential Steam Weld Cracking: An Interim Report: Results of the Metallurgical Analysis of Damaged Welds*. Report 1014295, EPRI, Palo Alto (CA).

[2] EPRI (2009): *Detection and Classification of Subsurface Damage Occurring in Elevated Temperature Girth Welds*. Report 1018994, EPRI, Palo Alto (CA).

[3] EPRI (2015): *Guideline for Phased Array Ultrasonic Testing Characterization and Sizing of Thermal Fatigue and Creep Cracking in Piping*. Report 3002005939, EPRI, Palo Alto (CA).

[4] EPRI (2019): *Nondestructive Evaluation Comparison of Fabrication and Creep-Related Indications: Damage Response Comparisons for Phased Array Ultrasonic Data*. Report 3002014595, EPRI, Palo Alto (CA).