

DETEKCE CREEPOVÉHO POŠKOZENÍ SVAROVÉHO SPOJE ULTRAZVUKEM

DETECTION OF CREEP DAMAGE OF WELDED JOINT USING ULTRASONICS

Jana Veselá, Pavel Mareš a Zbyněk Špirit

Centrum výzkumu Řež s.r.o

Abstrakt

U rozvoje creepu jako časově podmíněného děje hraje hlavní roli citlivost materiálu k poškození vlivem teploty a namáhání. Svarové spoje i materiál potrubí parovodů, v České republice se jedná nejčastěji o ocel 15 128, jsou za provozu vystaveny creepovému poškození. Snahou provozovatelů elektráren je včas rozvoj creepového poškození odhalit, a to dříve, než dojde k porušení materiálu.

Pro detekci creepu je z oblasti nedestruktivního zkoušení vhodná technika Phased Array ultrazvukového zkoušení. Cílem je odlišit výrobní vady svarových spojů od indikací creepového poškození vzniklého za provozu zařízení. Pro detekci creepu jsou využívány vzorky odebrané přímo z provozu a v neposlední řadě také bohaté znalosti EPRI v této oblasti.

Abstract

In the development of creep as a time-dependent process, the sensitivity of the material to damage due to temperature and stress plays a major role. Welded joints and the material of steam pipelines, in the Czech Republic it is most often steel 15 128, are exposed to creep damage during operation. The effort of power plant operators is to detect the development of creep in time before the material damage occurs.

The Phased Array ultrasonic testing technique from the field of non-destructive testing is suitable for the detection of creep. The aim is to distinguish production defects of welded joints from indications of creep damage caused during operation of the facility. Samples taken directly from the plant and, finally, EPRI's rich knowledge in this area are used to detect creep.

Úvod

Pokračující výzkum EPRI v oblasti ultrazvukového zkoušení technikou Phased Array (PAUT) zaměřený na detekci raného creepového poškození ocelí P91 a P92, přináší významné informace o nastavení parametrů zkoušení UT, ale také o chování a citlivosti vybraných ocelí na podmínky simulujících creep. Paralelně se studiem nejnovějších poznatků EPRI jsou vyhodnocována naměřená data na vzorcích s označením PK15 a X6 z oceli 15 128.

Znalosti EPRI

V oblasti nedestruktivního zkoušení (NDT), jmenovitě využití PAUT k detekování creepového poškození bylo v posledních dvou letech zpracováno několik zpráv. Výsledky výzkumu a plánovaný vývoj dalšího poznávání jsou zpracovány ve zprávě [1].

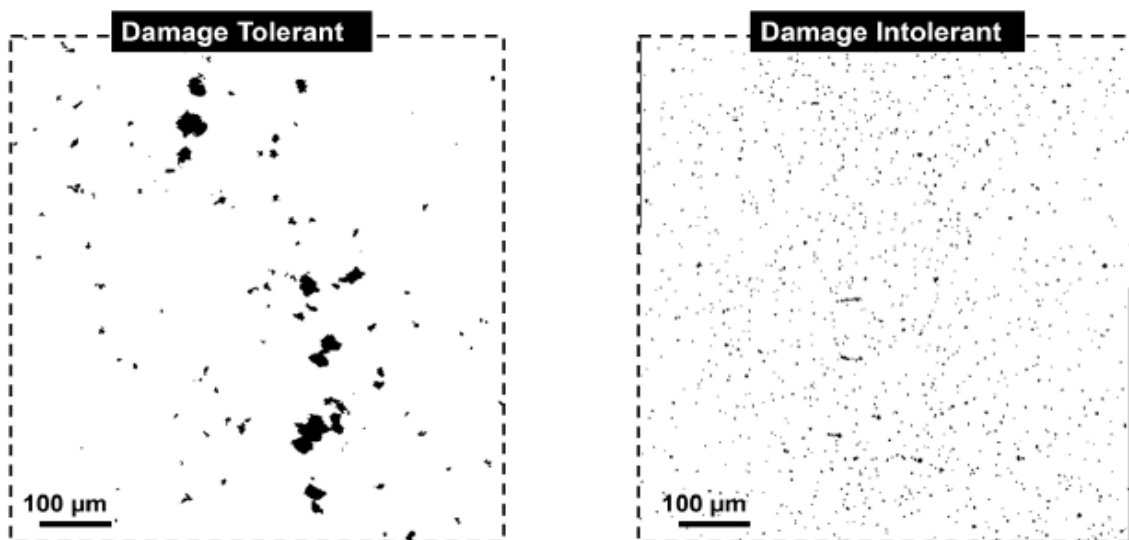
Měření tvrdosti a metalografické rozborů mikrostruktury ocelí vystavených v provozu podmínkám vedoucím k poškození potrubí creepem hledají odpovědi na rozdílné chování materiálů s ohledem na tavbu, tepelné zpracování a provozní stavy, jímž byly vystaveny.

V oblasti NDT je pozornost zaměřena na pokročilé techniky ultrazvukového zkoušení, nebo post-processing výsledků měření. Patří sem techniky Phased Array (PA), Full Matrix Capture (FMC) nebo Total Focusing Method (TFM).

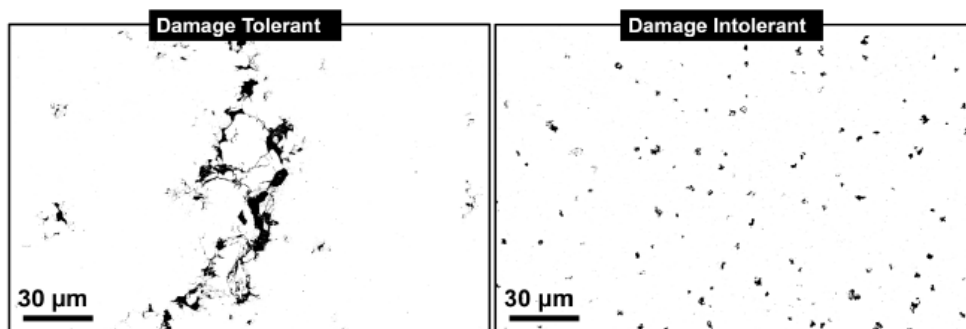
Zatím poslední zpráva EPRI z roku 2020 nejvýznamněji přispěla k rozšíření znalostí z oblasti simulace creepového poškození, výsledků detekce creepu ultrazvukem technikou PA

(PAUT) v jednotlivých etapách rozvoje creepu společně s metalografickým hodnocením mikrostruktury. Zpráva popisuje vlastní výzkum zaměřený na poznání creepového poškození v HAZ u oceli P91. Byly využity dvě odlišné tavby oceli a byl posuzován metalurgický vliv na creepové chování, vznik poškození, které by bylo možné detekovat PA ultrazvukovými technikami. Svary, které byly výzkumu podrobeny, mají typickou geometrii a byly vyrobeny obloukovým svařováním a podrobeny běžnému sub-kritickému tepelnému zpracování po svařování. Vyvinutá metodika zkoušení upravená pro tento výzkum zahrnuje zkušební vzorky s plným provařením tloušťky /profilu a jejich vystavení creepovému namáhání, s periodickým přerušováním v průběhu zátěže. Při každém takovém přerušování byly vzorky vyjmuty ze zatěžovacího stroje a bylo provedeno měření PAUT. U vzorků blízcích se konci životnosti, nebo po uplynutí zvolené doby byly ze vzorků odebrány výřezy, vyleštěny standardní metalografickou technikou a provedena mikrostrukturní analýza. Nálezy metalografického rozboru byly srovnávány s výsledky / nálezy PAUT. Zpráva detailně popisuje volbu materiálu, výrobu vzorků, vývoj zkušební metody a studii experimentální části zahrnující creep, mikrostrukturu a PAUT výsledky. Výzkum je určený k lepšímu pochopení možností techniky PAUT k detekci raného stádia creepového poškození. Z projektu také vyplynul další výsledek ve formě tvorby metodologie pro standardní vzorky určené k UT zkoušení.

Porovnání chování obou typů materiálu P91 (odolného creepu vs citlivého ke creepovému poškození) při vyčerpání 80% životnosti z pohledu creepového poškození je ve velikosti dutin, četnosti jejich výskytu a jejich růstu, obr. 1 a obr. 2.



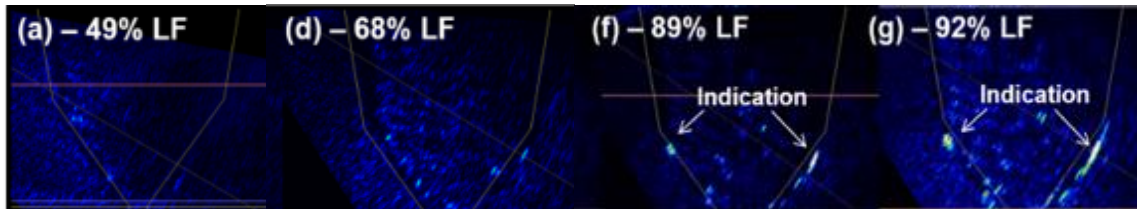
Obr. 1: Metalografické hodnocení (laserový konfokální mikroskop) obou typů oceli P91 (odhadovaná životnost 80 %) – zdroj EPRI



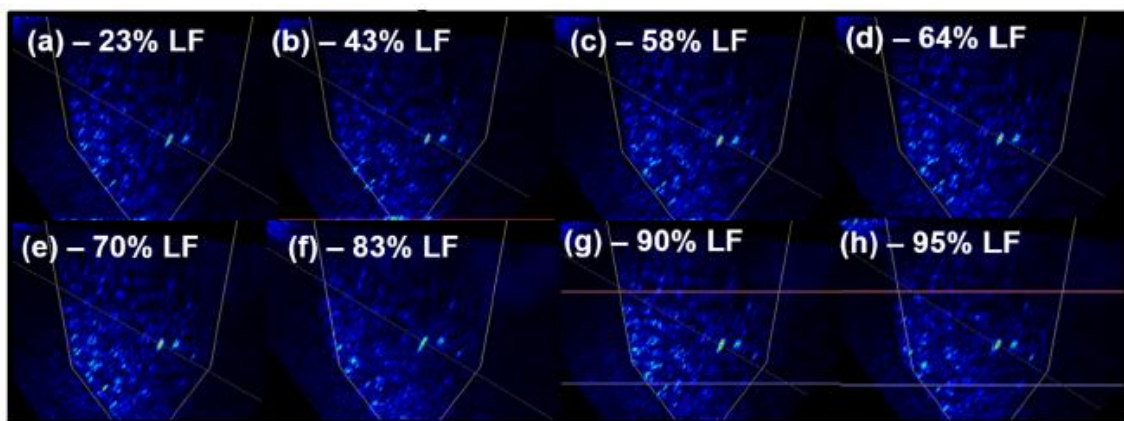
Obr. 2: Metalografické hodnocení (skenovací elektronový mikroskop) obou typů oceli P91 (odhadovaná životnost vzorků 95 %) – zdroj EPRI

Srovnání výsledků PAUT na obou typech vzorků oceli P91, vzorky se liší tvbou, přineslo zjištění, že u odolné oceli lze detekovat creepové poškození typu makrotrhlin při 89-92 % vyčerpání životnosti, obr. 3.

U oceli citlivé k creepovému poškození nejsou indikace detekovány v rozsahu 23-95 %, přestože jsou již metalograficky zjistitelné, obr. 4.



Obr. 3: Ocel P91, tvba odolná creepovému poškození – výsledky PAUT – zdroj EPRI

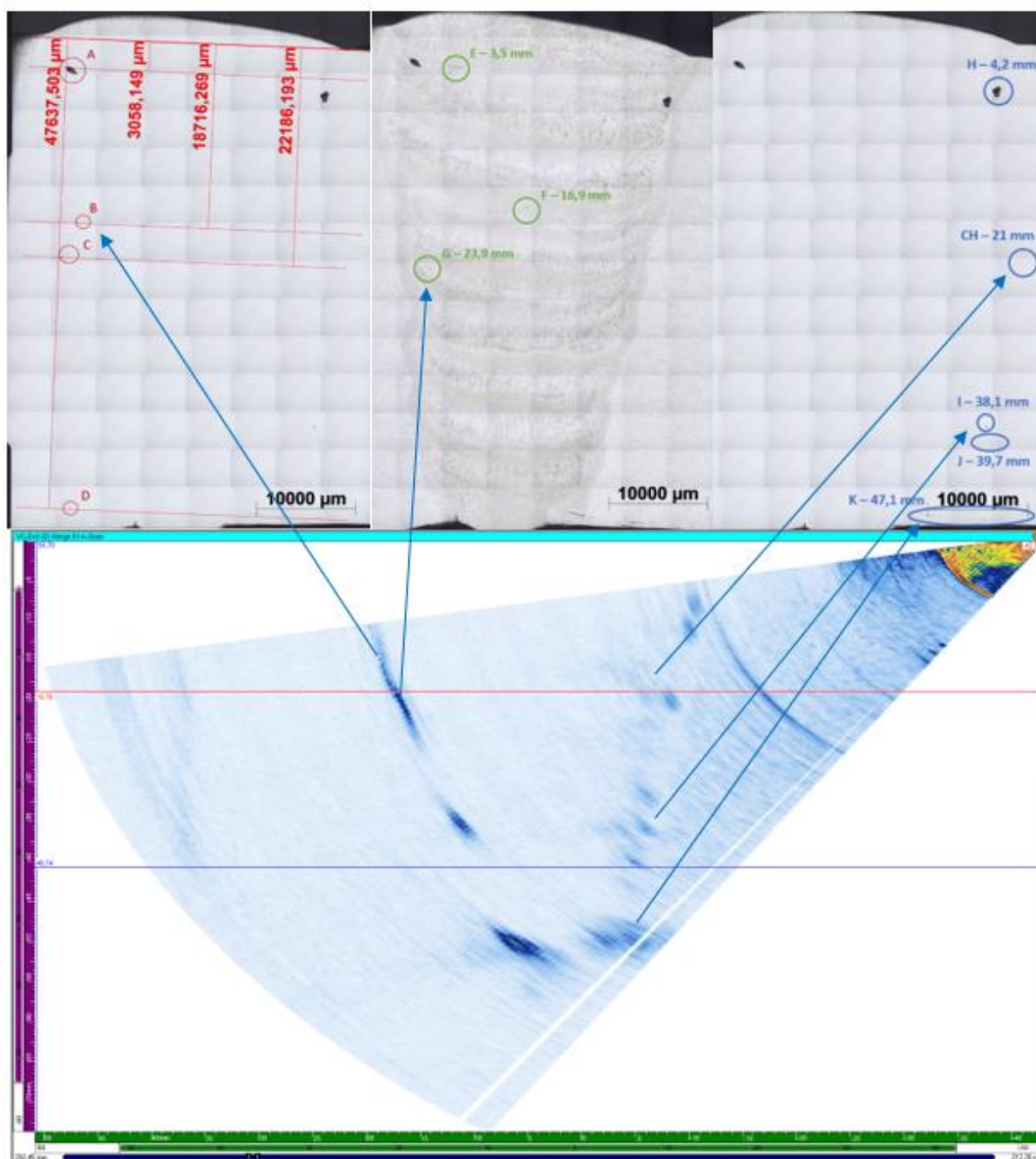


Obr. 4: Ocel P91, tvba citlivá k creepovému poškození – výsledky PAUT – zdroj EPRI

Vzorek PK15

Vzorek parovodu PK15 z oceli 15128.9 byl podroben PAUT pro detekci možného creepového poškození svarového spoje přístrojem Dynaray 128/128 PR a PA sondou AM-10MHz s předsádkou AM-55SW, s využitím enkodéru Olympus. Vyhodnocení bylo provedeno v softwaru Ultravision 3.8R30. Popis vzorku a výsledky prvotní analýzy NDT a metalografie jsou uvedeny ve [2] a [3].

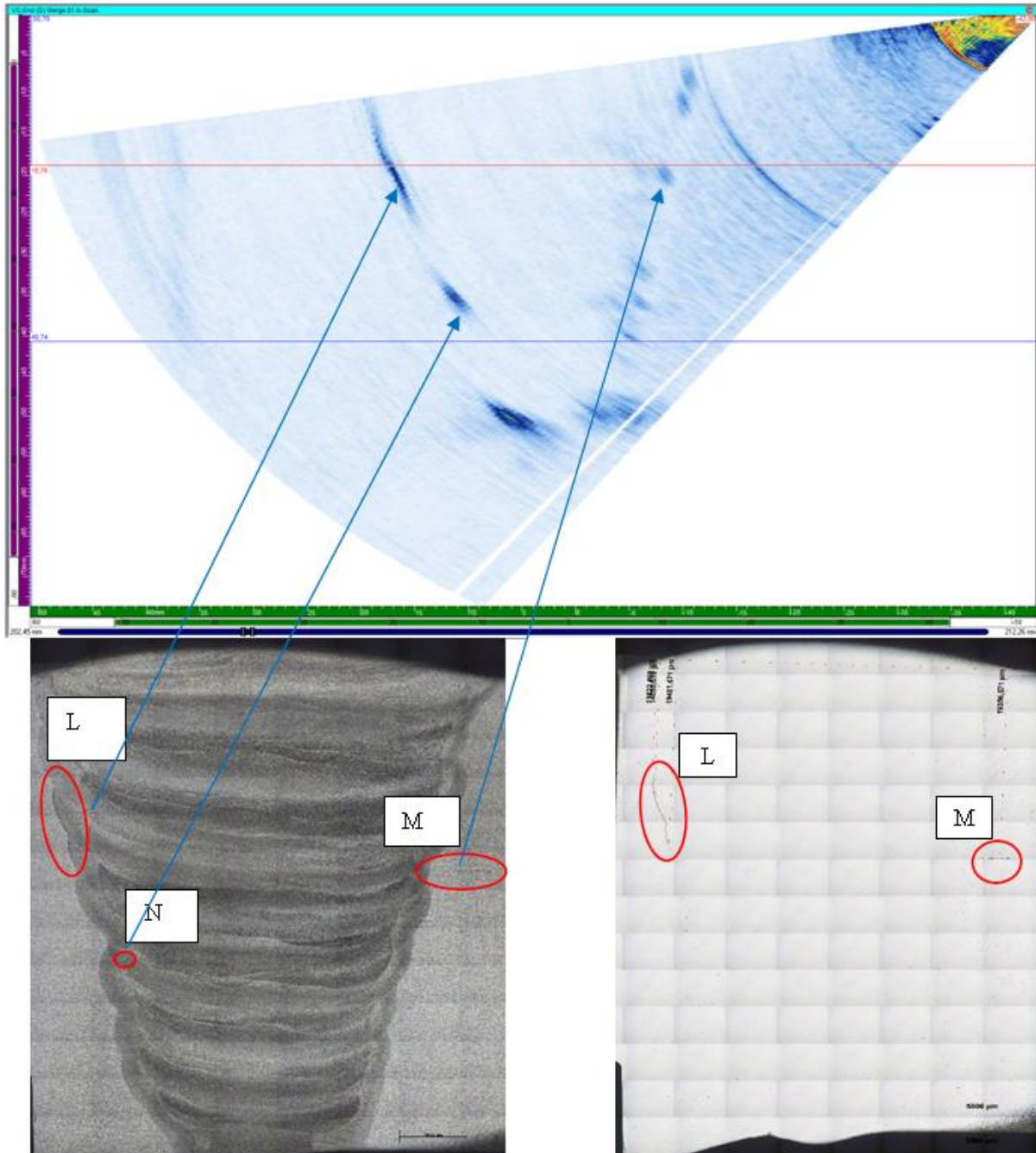
Pro srovnání výsledků UT a metalografie byl použit D-sken, zobrazení v rozsahu délky svaru 202–212 mm. Obecně lze konstatovat, že rozdíl v hloubkách indikací mezi výsledky metalografie a PAUT se pohybuje od desetin milimetru do maximálně 5 milimetrů. Příčinou rozdílu je rozdílnost odměřování technikou PAUT a mikroskopickým odměřováním od roviny teoreticky určené při metalografii. Na řezu v pozici 209 mm bylo provedeno metalografické vyhodnocení a detekovány různé typy vad, v obr. 5 označeny písmeny B, G, CH, I, J a K.



Obr. 5: Srovnání výsledků metalografického řezu v pozici 209 mm s výsledky PAUT

Vada B metalograficky vyhodnocená jako creepové kavity v hloubce 18,7 mm byla PAUT detekována v hloubce 17,4 mm. Vada G metalograficky hodnocena jako mikrostrukturní heterogenita svaru v hloubce 23,9 mm byla PAUT zachycena v hloubce 20,5 mm. Vadě CH metalograficky vyhodnocené jako creepové kavity v hloubce 21 mm, s téměř rovnoběžnou orientací vůči vnějšímu povrchu by odpovídala indikace vyznačená v hloubce 19,3 mm. Vzhledem k orientaci vady a šířce zkoumané oblasti jsou tyto typy vad téměř nedetekovatelné. Vada I byla metalograficky hodnocena jako nečistota v hloubce 38,14 mm a PAUT byla zachycena v hloubce 37 mm. Vady J a K byly metalograficky hodnoceny jako creepové kavity tvořící trhliny v hloubce 39,7 a 47,1 mm, u nichž PAUT detekoval indikace v hloubkách 39,7 a 48,1 mm. Již při předchozích analýzách bylo zjištěno, že jsou vady orientované rovnoběžně s povrchem obtížně detekovatelné. V těchto případech zřejmě došlo k částečnému odrazu ultrazvukového svazku od vhodně orientovaných částí trhlín rozvíjejících se z creepových kavit, což umožnilo jejich detekci.

Rozbor řezu v pozici 205 mm, oblast konce magistralní trhliny v místě ztavení, potvrdil výskyt vad označených písmeny L, M, N. Trhlina označená písmenem L byla rovněž detekována PAUT, obr. 6. Vada M metalograficky vyhodnocená jako creepové kavity v hloubce 19,7 mm byla detekována PAUT v hloubce 17,4 mm. Vada N metalograficky hodnocena jako mikrostrukturní heterogenita svaru v hloubce 29,4 mm byla během PAUT zachycena v hloubce 34,5 mm. Tento rozdíl může být dán změnou úhlu ultrazvukového svazku při průchodu svarovým spojem. Vzdálenost této vady od konce magistralní trhliny je stejná pro výsledky metalografie i výsledky PAUT.



Obr. 6: Srovnání výsledků metalografického řezu v pozici 205 mm s výsledky PAUT

Podařilo se detekovat vady creepového charakteru označené B, CH, J a K, kde největší délka rozvoje creepových kavit dosáhla délky trhliny cca 3 mm v poloze K.

Závěr

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.

Vysoká vyhledávací citlivost ultrazvukového zkoušení technikou Phased Array byla metalograficky potvrzena, stejně jako schopnost PAUT detekovat creepové poškození svarového spoje. Přesnost polohy vady je ovlivněna průchodem i deformací ultrazvukového svazku v oblasti svarového spoje s ohledem na jeho mikrostrukturu. Je doporučeno provádět měření v několika vzdálenostech od osy svaru, aby bylo zajištěno pokrytí celého objemu svarového spoje.

S ohledem na požadavky vysoké citlivosti techniky zkoušení pro detekci rané fáze degradace materiálu creepem bude technika PAUT zaměřena na aplikaci Depth Dynamic Focus (DDF) a využití nové techniky Total Focusing Method (TFM).

Poděkování

Práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0108 a CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_008/0000293.

Prezentované výsledky byly realizovány v rámci Institucionální podpory Ministerstva průmyslu a obchodu.

Literatura

- [1] Veselá, J. (2021): *Ultrazvukové zkoušení creepového poškození svarů*. Odborná zpráva, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [2] Veselá, J., Mareš, P., Špirit, Z. (2020): Prvotní výsledky diagnostiky creepového poškození svarového spoje ultrazvukem. *15. konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách*, Západočeská univerzita v Plzni, online, str. 131-136. ISBN 978-80-261-0959-4
- [3] Mareš, P., Veselá, J., Špirit, Z. (2020): *Srovnání výsledků PAUT a metalografie na vzorku PK15 ED*. Odborná zpráva, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.