

VaV PROJEKTY CVŘ PRO OBLASTI NEDESTRUKTIVNÍCH METOD A POVRCHOVÝCH ÚPRAV

R&D PROJECTS FOR NON-DESTRUCTIVE METHODS AND SURFACE TREATMENT

Jaroslav Brom, Pavel Mareš, Jana Veselá, Jan Patera, Roman Mohyla a Michal Chocholoušek

Centrum výzkumu Řež s.r.o. (CVŘ)

Abstrakt

V článku jsou uvedeny informace o VaV projektech CVŘ řešených v rámci projektu národního centra pro energetiku, dílčího projektu DP6 „Vývoj diagnostických metod pro charakterizaci klíčových komponent energetických celků“, pracovního balíčku PB1.14 „Perspektivní diagnostické metody“, a dílčího projektu DP7 „Materiály a materiálové technologie pro moderní energetické aplikace“, pracovního balíčku PB1.15 „Povrchové úpravy komponent v JE a KE“. Jsou uvedeny popisy projektů, výstupy projektů a stávající stav.

Abstract

The article presents information on R&D projects of the Research Centre Rez developed within the project of National Centre for Energy, sub-project DP6 “Development of diagnostic methods for characterization of own energy components”, working package PB1.14 “Perspective diagnostic methods”, and sub-project DP7 “Materials and material technologies for modern energy applications”, work package PB1.15 “Surface treatment of components in NPP and FPP”. Project descriptions, project outputs and current status are presented.

1. PB1.14 „Perspektivní diagnostické metody“

Hlavním řešitelem pracovního balíčku PB1.14 je CVŘ.

1.1. Cíle PB1.14

Cílem VaV (výzkum a vývoj) v rámci tohoto pracovního balíčku je:

- Výzkum a vývoj metodiky pro validaci použití SW CIVA na simulování trhlin v materiálech z feritické a austenitické oceli.
- Výzkum a vývoj použití vysokoteplotního ultrazvukového zkoušení technikou phased array (HT PAUT) za provozních teplot do 350 °C.
- Výzkum a vývoj nelineární spektroskopie akustických vln (NEWS) a magnetické paměti materiálu (MMM) pro zkoušení materiálů z feritické a austenitické oceli.
- Výzkum a vývoj v oblasti použití Smart sensorů v energetice.

1.2. Přínosy PB1.14

- V možnosti používání SW CIVA ke zpřesnění stanovení rozměrů trhlin ve svarových spojích při reálných měřeních, při kvalifikování inspekčních postupů a pro trénink defektoskopických pracovníků.
- V detekování a měření velikosti trhlin pomocí HT PAUT za zvýšených teplot. To umožňuje např. zkrácení délky odstavek při realizaci zkoušení za zvýšených teplot při odstavování bloku nebo k možnosti monitorování stavu trhlin za provozu.
- V detekování indikací typu trhliny pomocí metody NEWS umožní v době odstavek zmonitorování velkého rozsahu potrubního systému nacházejícího se na komponentě mezi ultrazvukovými snímači. Následné nasazení metody MMM umožní vytipování problémových míst před provedením jejich kontrol objemovými nedestruktivními metodami.

- Ve stanovení požadavků na smart sensory a vyhodnocovací aparatury pro jednotlivé aplikace (jako např. měření vibrací, tepelné účinnosti, tloušťek apod.) a jednotlivé typy strojních zařízení (jako jsou např. rotační stroje, výměníky, potrubí apod.) a v možnosti použití bezdrátové diagnostiky komponent.

1.3. Popis podprojektu validace SW CIVA

Pomocí série zkušebních těles se známou konfigurací necelistvostí bude navržen a ověřen postup simulace UT v SW CIVA s vymezením podmínek pro validované použití tohoto SW.

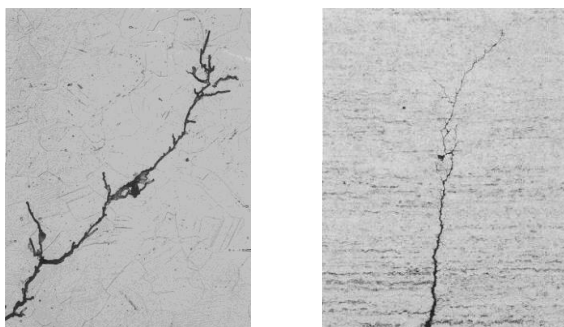
Na zkušebních tělesech z materiálu 12022.1 a X6CrNiTi18-10 s definovanými trhlinami budou realizována měření ultrazvukovou metodou technikou phased array (PAUT).

Následně proběhnou simulace nedestruktivního zkoušení, které budou probíhat přesně podle parametrů samotného zkoušení. Po provedení simulací budou porovnány výsledky měření PAUT a simulace. Srovnávat se bude zejména amplituda a tvary echo signálů od jednotlivých umělých vad.

Nakonec bude proveden opačný postup, kdy pomocí SW CIVA, s nastavením dle předchozích experimentů, bude provedena simulace trhlín na tělese s tloušťkou 12 mm a s tloušťkou 35 mm. Výstupem budou simulované výsledky NDT zkoušení, který se porovnají s reálným zkoušením. Rozdíl amplitud a tvar ech signálů se musí pohybovat v předem stanovených kritériích (tolerance odchylek budou definovány v rámci projektu).

Výstupy tohoto VaV podprojektu budou dva:

- ověřená technologie – validace SW CIVA,
- užitný vzor zkušebních těles s trhlinou vyrobených drátořezem.



Obr. 1: Vzory trhlín pro výrobu defektů ve zkušebních tělesech pro validaci SW CIVA



Obr. 2: Příklad trhlíny v tělese vyrobené drátořezem

1.4. Popis podprojektu vysokoteplotního PAUT (HT PAUT)

V první fázi proběhne kalibrace citlivosti a rychlosti šíření zvuku vybrané PA sondy na měřkách pro daný typ materiálu 12022.1 a X6CrNiTi18-10. Vstupní měření vždy bude provedeno za pokojové teploty a následně bude opakovaně prováděno při teplotách mezi 100 °C až 350 °C na obou materiálech měrek.

V druhé fázi bude provedeno měření k ověření detekovatelnosti vrubů EDM (Electrical Discharge Machining) v základních materiálech 12022.1 a X6CrNiTi18-10 při teplotách shodných s teplotami kalibrace na měrkách. V případě detekce vrubů bude provedeno vyhodnocení získaných indikací, stanovení rozměrů s ohledem na zkušební teplotu. Měření bude probíhat pro oba typy materiálů a pro různé rozměry vrubů EDM.

Ve třetí fázi bude provedeno měření v rozsahu fáze 2 v oblasti svarového spoje pro detekci a určení rozměrů vrubů EDM.

Součástí výstupu je zpráva popisující průběh ověřování technologie HT PAUT pro teploty dosahujících maxima 350 °C, pro materiály 12022.1 a X6CrNiTi18-10.

Průkazem ověřené technologie budou inspekční postupy pro zkoušení materiálů 12022.1 a X6CrNiTi18-10 technikou HT PAUT.

1.5. Popis podprojektu NEWS a MMM

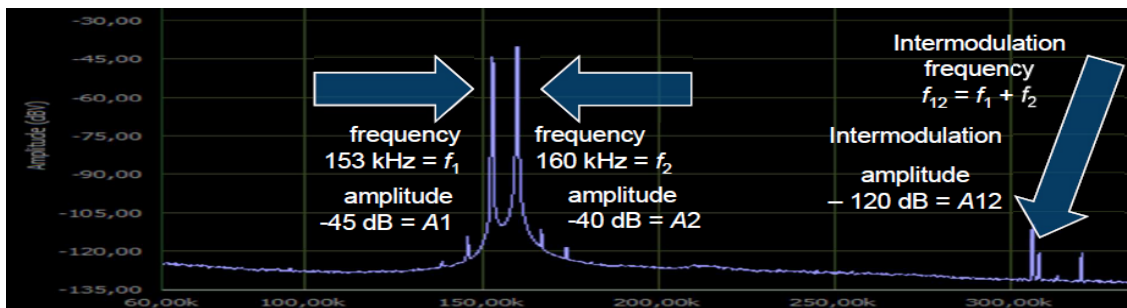
Vývoj ověření technik NEWS a metody MMM pro zkoušení svarových spojů proběhne v následujících krocích:

- měření na zkušebních tělesech bez svarového spoje,
- měření na zkušebních tělesech se svarovým spojením bez trhliny,
- detekce a stanovení rozměrů as-real trhliny jinými NDT metodami (zejména PAUT),
- měření nelineární odezvy na zkušebních tělesech se svarovým spojením s trhlinou – detekce as-real defektů,
- měření na zkušebních tělesech, která vzniknou svařením zkušebních těles pro lepší simulaci trasy potrubí (větší délka zkušebních těles),
- měření bez a se zatížením v místě defektu,
- měření bez a přes izolaci (pouze MMM),
- na 1 ks zkušebního tělesa bude ověřován vliv magnetizace na výsledky měření metodou MMM.

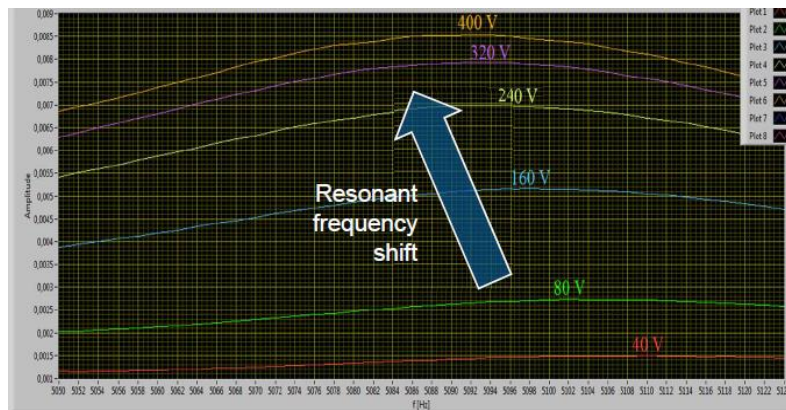
Výstupem podprojektů NEWS a MMM budou ověřené technologie zkoušení svarových spojů technikami NEWS a metodou MMM.

V podprojektu NEWS budou zkoušeny následující techniky:

- NWMS (metoda dvoufrekvenčního směšování – míchání dvou různých budících signálů o frekvencích f_1 a f_2 uvnitř zkoušeného materiálu),
- NRUS (nelineární rezonanční metoda – měření frekvenčních charakteristik vzorku v určitém frekvenčním intervalu při zvyšující úrovni budícího signálu),
- SSM (metody vyslání dvou pulzů, jednoho o nízké amplitudě, který je považován za lineární, a druhého o vysoké amplitudě, který je považován za nelineární).



Obr. 3: Obrázek demonstrující principy NWMS techniky



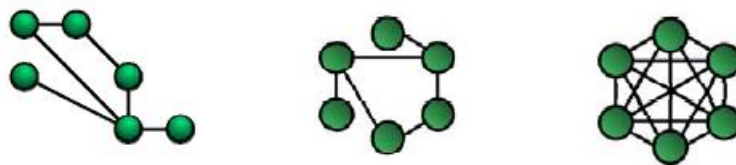
Obr. 4: Obrázek demonstrující principy NRUS techniky (úroveň budícího signálu 40–400 V)

1.6. Popis podprojektu Smart sensory

Tento podprojekt je aplikovaným výzkumem využití zkušeností EPRI – jejich transfer na podmínky českých KE a JE.

Výstupem tohoto podprojektu bude dokumentace „Vytvoření standardu pro používání Smart sensorů v ČEZ za účelem diagnostikování stavu vybraných strojních typů“.

V rámci tohoto podprojektu bude dále provedeno pro komunikační protokol WirelesHart vyzkoušení 2 typů bezdrátových smart sensorů (měření vibrací a teplot) a adaptéru na přenos dat signálu 4-20 mA. Pro otestování kompatibility komunikačního protokolu WirelesHart budou voleny Smart sensory a zařízení gateway od různých výrobců. Bude zkoušen vliv technologických překážek na funkčnost přenosů. Vyzkoušení proběhne nejdříve na zařízení CVŘ, následně v technologii partnera projektu (na pilotní uhelné elektrárně ČEZ). Data budou ukládána na počítač (OPC server) ve formátu dohodnutém s partnerem projektu, aby je následně šlo přenášet a využívat v databázích partnera projektu.



Obr. 5: Příklady topologie typu Mesh, která bude zkoušena

2. PB1.15 „Povrchové úpravy komponent v JE a KE“

Hlavním řešitelem PB1.15 je VZÚ Plzeň, CVŘ řeší dílčí činnosti. Níže jsou diskutovány činnosti CVŘ.

2.1. Cíle a přínosy PB1.15

Cílem pracovního balíčku je vývoj a testování povrchových úprav kritických komponent elektráren (jaderných, klasických, vodních), nanášených pomocí technologií žárového nástřiku. Projekt bude zaměřen na ověření potenciálu využití metody nástřiku plamenem, elektrickým obloukem, plazmatem a zejména pomocí technologie Cold Spray (CS). Hlavním cílem projektu je návrh a výběr vhodné technologie nástřiku a materiálu povlaku pro opravy konkrétních komponent. Dalším cílem dílčího projektu je zmapování využitelnosti chybějících postupů a technologií nedostupných v ČR – zejména technologie tzv. studeného nástřiku – Cold Spray. Součástí řešení dílčího projektu budou vyvíjeny a ověřovány pokročilé metodiky NDT pro provádění periodických kontrol takto stříkaných komponent.

Přínosem dílčího projektu bude, kromě samotného návrhu oprav konkrétních aplikací, i prohloubení porozumění spoluřešitelů a komerčního partnera v oblasti technologií žárových a studených nástřiků, které může být uplatněno i v jiných než v projektu navrhovaných aplikacích.

2.2. Program vývoje metodiky nedestruktivního zkoušení nástřiků CS

Cíle nedestruktivního zkoušení jsou uvedeny v pořadí:

měření tloušťky nástřiku – vnitřní a vnější nástřik.

měření přilnutí nástřiku k substrátu – vnitřní a vnější nástřik.

vnitřní nástřik – detekce defektů vycházejících z nástřiku do substrátu, detekce z vnějšího povrchu.

vnější nástřik – detekce a stanovení rozměrů defektů v substrátu komunikujících s jeho vnitřním povrchem, detekce z vnějšího povrchu.

Vývoj bude prováděn při použití nedestruktivní metody ultrazvukového zkoušení:

- a) Konvenční UT impulsní technikou s využitím přímé sondy příčných vln o vysoké frekvenci – bude aplikováno pro cíle 1) a 2).
- b) Technika Phased Array (PAUT) s využitím PA úhlových sond – bude aplikováno pro cíle 3) a 4).

Výstupem výše uvedeného vývoje bude návrh inspekčního postupu nedestruktivního zkoušení povlaků CS.

2.3. Popis programu vývoje metodiky na mechanické zkoušení trubkových polotovarů s povlaky

VaV metodiky hodnocení mechanických vlastností materiálu ze vzorků z trubkových polotovarů v porovnání se vzorky zhotovenými dle vybraných norem proběhne na vzorcích vyrobených z trubek z materiálu 1.4541 o rozměrech 219,1 x 12,5 mm, 114,3 x 4,5 mm a 125 x 14 mm.

Z naměřených závislostí napětí-deformace bude možné vyhodnotit vliv povlaku na pevnost dvojice substrát-povlak. Vzhledem k různé tloušťce použitých trubek a stejné tloušťce vrstvy bude možné vyhodnotit vliv poměru materiálů substrátu a povlaku a porovnat s hodnotami základních materiálů substrátu a povlaku. Na základě průběhů napětí-deformace budou hledány korelace v oblasti do $R_{p0,2}$ nebo R_m substrátu. Na vybraných tělesech bude provedena po zkoušce tahem metalografická analýza zaměřená především na rozhraní substrát-povlak.



Obr. 6: Polotovary s přípravkem připravené pro zhotovení povlaku technologií CS

2.4. Popis programu pro zjištění mechanických vlastností a metalografie pro substrát z materiálu 22K a 08CH18N10T a povlak zhotovený technologií Cold Spray

- 1) Nejdříve proběhnou zkoušky tahem základního materiálu dle ČSN EN ISO 6892-1 a 2 při pokojové teplotě a teplotě 350 °C na kruhových tělesech o průměru 6 mm.
- 2) Následně budou provedeny zkoušky na kruhových tělesech o průměru 4 mm s povlakem CS o tloušťce 1 mm v následujícím rozsahu.
 - Zkoušky tahem dle EN ISO 6892-1 za pokojové teploty na tělesech bez a s tepelným zpracováním.
 - Zkoušky tahem dle EN ISO 6892-2 při teplotě 350 °C na tělesech bez a s tepelným zpracováním.

- Metalografické analýzy systému substrát-povlak. Tyto analýzy se budou provádět po deformačních zkouškách. Metalografické analýzy budou zahrnovat fraktografii lomových ploch a hodnocení adheze a přilnavosti vrstvy k substrátu po vnesení deformace. K těmto analýzám bude používána elektronová a světelná mikroskopie.
- 3) Pro porovnání výše uvedených výsledků s mechanickými vlastnostmi samotného materiálu povlaku CS bude na plochých tělesech z materiálu povlaku CS proveden obdobný rozsah zkoušek uvedený v bodech 1 a 2.

Výstupem bude technická zpráva sumarizující a analyzující změřené výsledky.

2.5. Popis programu zjištění „zatékavosti“ povlaku zhotoveného technologií Cold Spray

Pro hodnocení „zatékavosti“ budou použita trubková tělesa s jedním „V“ vrubem a třemi vývrty o průměrech 1, 2 a 3 mm. Tělesa budou vytvořena z trubek vyříznutých z potrubí technické vody nedůležité na JE Temelín. Nástřik s tloušťkou 1 mm bude proveden kolmo a pod úhlem 45° a ze dvou různých vzdáleností.

Výstupem bude zpráva z metalografických analýz s hodnocením schopnosti povlaku CS penetrovat do umělých vad.



Obr. 7: Těleso pro zkoušení „zatékavosti“ povlaku zhotoveného technologií CS

2.6. Popis programu na ověřování korozní odolnosti povlaků pomocí potenciometrických zkoušek

Elektrochemické zkoušky korozní odolnosti povlaku a substrátu mají za úkol hodnotit schopnost odolávat degradaci ve vodném prostředí. Pro hodnocení korozní odolnosti bude použit záznam potenciodynamických křivek v rozsahu od korozního potenciálu do transpasivní oblasti. Jako korozní prostředí bude použit vodný roztok NaCl o koncentraci 35 ppm. Po elektrochemickém měření bude zdokumentován stav povrchu pomocí světelného mikroskopu.

Hlavním výstupem měření korozní odolnosti bude záznam potenciodynamických křivek jednotlivých vzorků a hodnota korozního potenciálu, ze kterých lze určit rozsah korozní odolnosti povlaku a přibližný korozní úbytek materiálu.

3. Závěr

Výše uvedené VaV aktivity byly zahájeny v 04/2019. Do dnešní doby proběhlo zpřesnění jednotlivých podprojektů, probíhá výroba polotovarů a zkušebních těles. Výstupy budou sloužit partnerovi projektu (ČEZ, a. s.) a budou základem pro případné navazující projekty v rámci národního centra pro energetiku.

Presentovaný článek byl finančně podpořen Technologickou agenturou České republiky – projekt TN01000007/Národní centrum pro energetiku.