

PRVOTNÍ VÝSLEDKY ULTRAZVUKOVÉHO ZKOUŠENÍ NÁSTŘIKU COLD SPRAY A SKLOLAMINÁTŮ V RÁMCI PROJEKTU NCK – POVRCHOVÉ ÚPRAVY

PRIMARY RESULTS OF ULTRASONIC TESTING OF COLD SPRAY AND FIBREGLASSES IN THE NCK PROJECT SOLVING – SURFACE TREATMENT

Jana Veselá a Pavel Mareš

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Abstrakt

Cold Spray (CS) je jednou z metod povrchových úprav kovů spadající do skupiny žárových nástřiků. V posledních 20 letech se pozornost výzkumu zaměřovala zejména na technologické aspekty výroby nástřiku zahrnující zařízení, nosné plyny, optimalizaci parametrů a monitoring nástřiku v průběhu depozice. Společně s rozvojem nové technologie nanášení materiálu na substrát byla pozornost věnována samotnému nástřiku z pohledu mechanických, korozních a únavových vlastností s využitím destruktivních zkoušek. S rostoucím počtem aplikací v oblasti vojenského, leteckého, energetického průmyslu zejména v oblasti opravárenství dochází k rozvoji nedestruktivního zkoušení kvality Cold Spray nástřiků. Cílem projektu NCK je ověřit schopnost technologie Cold Spray zajistit alternativní ochranu svarových spojů a využití v oblasti oprav geometrie komponent vodních a klasických elektráren, kdy v oblasti nedestruktivního zkoušení je hlavní pozornost věnována ověření přilnutí nástřiku k substrátu, měření tloušťky nástřiku a útlumu ultrazvuku v nástřiku jako jednoho z ukazatelů vnitřní kvality nástřiku Cold Spray.

Projekt NCK – Povrchové úpravy zahrnuje v oblasti nedestruktivního zkoušení také ultrazvukové zkoušení a měření tloušťky sklolaminátových komponent.

Abstract

Cold Spray is one of the methods of metal surface treatment in the heat spray group. In the last 20 years, the focus of research has been on the technological aspects of spray coating production, equipment, carrier gas, parameter optimization and deposition monitoring during deposition. Along with the development of a new material deposition technology, attention was paid to spraying itself in terms of mechanical, corrosion and fatigue properties using destructive tests. With a growing number of applications in the military, aerospace, power engineering and repair industries, non-destructive quality testing of Cold Spray sprays is being developed. The aim of the NCK project is to verify the ability of Cold Spray technology to provide alternative protection for welded joints and use in the repair of geometry components of water and conventional power plants, where the main focus in the field of non-destructive testing is to verify the adhesion of the spray to the substrate, to measure the spray thickness and ultrasound attenuation in the feed as one of the internal quality indicators of Cold Spray.

The NCK Project – Surface Treatment also includes ultrasonic testing and thickness measurement of fiberglass components in the field of non-destructive testing.

Úvod

První pozornost výzkumu a vývoje byla zaměřena na technologii nástřiku Cold Spray, na zařízení a samotný proces nástřiku zahrnující monitoring nástřiku, stanovení vhodných nosných plynů a materiálů určených k depozici s ohledem na požadavky dané aplikace. [1]

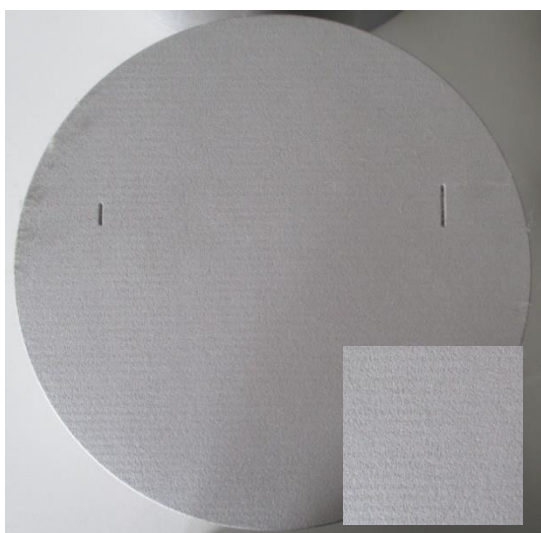
Společně s rozvojem nové technologie nanášení materiálu na substrát byla pozornost věnována samotnému nástřiku z pohledu mechanických, korozních a únavových vlastností s využitím destruktivních zkoušek. Hlavní pozornost je v posledních 10-15 letech věnována ověření přilnutí nástřiku k substrátu (adheze), přilnutí jednotlivých vrstev v samotném nástřiku (koheze), porozitě nástřiku CS, měření tloušťky nástřiku on-line, měření útlumu ultrazvuku v nástřiku. [2, 3]

Zkušební tělesa

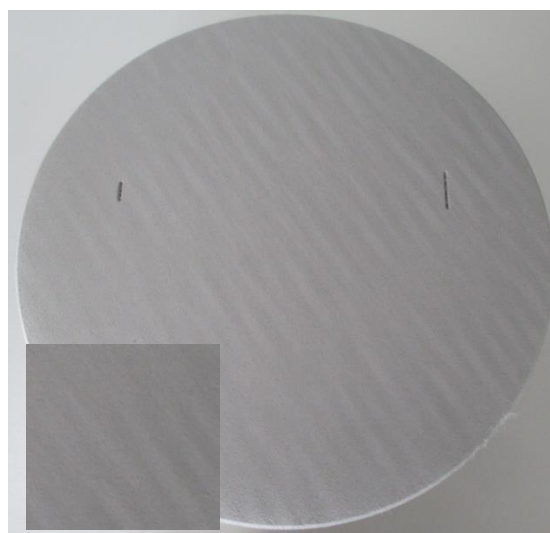
Vyrobeny dva typy zkušebních těles (ZT) s označením „penízek“ o průměru 25,4 mm, tloušťce 5 mm a „disk“ o průměrech 130 a 139 mm s tloušťkou 50 mm. Základním materiálem (ZM) zkušebních těles určených k depozici nástřiku CS jsou oceli 08CH18N10T a 22K. Byl proveden nástřik materiálu NiCr ve formě prášku v poměru 80/20 s velikostí částic 10–32 mikrometrů, případně 10–45 mikrometrů. Před aplikací nástřiku byly všechny zkušební tělesa tryskány korundem a jako nosný plyn pro nástřik byl zvolen dusík. Deponovaná tloušťka nástřiku byla 400 mikrometrů na ZT typu penízek a 700 μm na typ disk.

Disky určené k ultrazvukovému zkoušení (UT) mají na povrchu pro CS umístěny 2 EDM vruby délky 5 a 10 mm o hloubce 1 a 2 mm. Vruby slouží k ověření jejich detekovatelnosti po aplikaci nástřiku metodou UT a metalografické hodnocení zaplnění deponovaným NiCr. Na protějším povrchu byly vhodně umístěny náhradní vady typu FBH (vývrty s plochým dnem) o průměru 2 a 4 mm do hloubky 5 mm určené k ověření detekovatelnosti přes rozhraní základní materiál – nástřik CS.

Povrch nástřiku je hladký s pravidelnou vlnitostí způsobenou technologií nástřiku pomocí Lavalovy dýzy v navazujících pruzích. Srovnání povrchu dvou těles deponovaných dvěma různými nosnými plyny, obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1: Depozice NiCr (nosný plyn dusík)



Obr. 2: Depozice NiCr (nosný plyn helium)

Zkoušení ultrazvukem

Bylo provedeno konvenčního ultrazvukové zkoušení přístrojem Epoch 600 a přímými sondami podélných i příčných vln spolu s dvojitou sondou. Povrch zkušebních těles nebyl pro UT upravován a pro vyrovnání vlnitého povrchu byla za vazební médium použita vazelína. Prvotní měření disků 4 MHz sondou prokázalo prozvučitelnost CS nástřiku a možnost zkoušení z obou stran ZT. Vývrt FBH4 lze dobře detekovat, vývrt FBH2 obtížněji, pro srovnání jsou v tab. 1 uvedeny výšky echa při daném zesílení. Srovnávací měření bylo provedeno sondou s frekvencí 2,25 MHz, známou jako CentraScan sondou.

Dvojitá sonda se ukázala jako nevhodná k detekci vývrtů v discích, ale lze ji použít u malých tloušťek ZT typu penízek. Přímou sondou příčných vln byla měřena tloušťka nástřiku s výsledky v rozsahu 700-720 mikrometrů (22K) a 640–660 mikrometrů (08CH18N10T). Metalograficky byla na tělesech typu penízek měřena průměrná tloušťka nástřiku 628 mikrometrů (22K) a 635 mikrometrů (08CH18N10T).

Tab. 1: Nástřik Cold Spray – srovnání výsledků UT pro vývrt FBH2

Sonda	Ø FBH	08CH18N10T			22K		
		hl. vývrtu	% BSH	zesílení	hl. vývrtu	% BSH	zesílení
2 MHz	2 mm	5,35	6	59	5,22	5	59
2,25 MHz		5,1	16	50	5,07	16	50
4 MHz		4,56	14	57	4,62	7	57

Sklolamináty

Sklolamináty spadají do velké skupiny kompozitních materiálů. Jsou tvořeny skleněnými vlákny (tkaninou) vytvrzenými umělou pryskyřicí (polymerem). Vyznačují se velkou pevností, odolností vůči chemikáliím i počasí, nízkou hmotností i cenou. Jako pryskyřice se používají epoxidy, termosety (polyester, vinylester) nebo termoplasty. V literatuře se také používá i anglický název *fiberglass*, nebo zkratka GRP (*Glass Reinforced Plastic*).

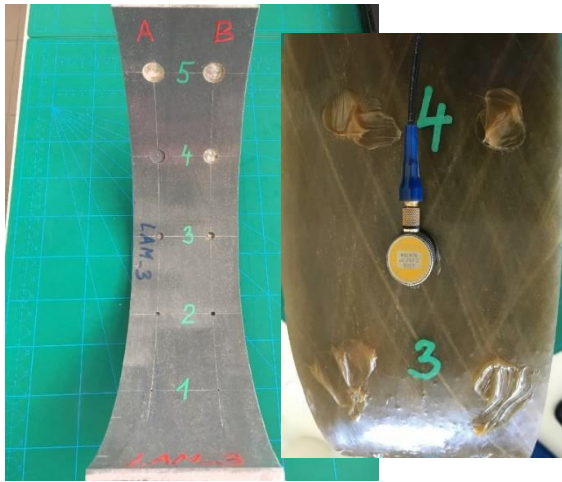
Sklolamináty jsou ve společnosti ČEZ, a. s., Klasické elektrárny používány u zařízení odsiřovacích jednotek, pro potrubní rozvody suspenze, technologické vody, kouřovody čistých spalin a nádrže technologické vody, nebo suspenze.

K provedení UT byly předány celkem 4 vzorky, z nichž 3 vzorky s označením LAM_1 až LAM_3 jsou části potrubí. Vzorek LAM_2 nemá na vnitřním povrchu chemicky odolnou vrstvu SiC, u vzorků LAM_1 a 3 je vrstva SiC na vnitřním povrchu barevně odlišitelná, zatímco u vzorku desky DER 411-45 nikoliv.

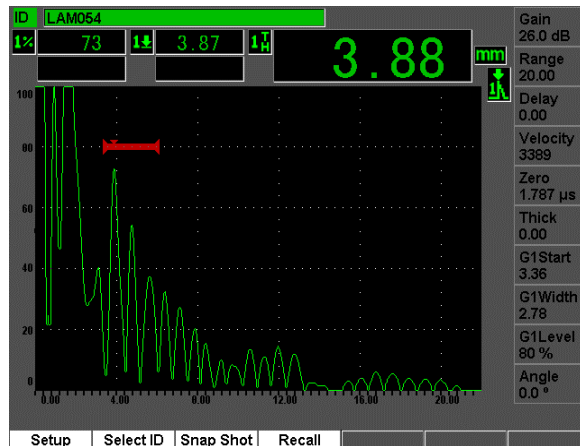
Vzorky potrubí byly axiálně rozříznuty a použity pro výrobu zkušebních těles s vývrty FBH o průměru 2, 5, 10, 16 a 20 mm ve dvou řadách do hloubky 1/3 a 2/3 tloušťky tělesa, obr. 3. Měření UT bylo provedeno impulsně-odrazovou technikou přístrojem Epoch 600 a přímými sondami se zkušebními frekvencemi 1 MHz a 2,25 MHz. Těleso typu desky DER bylo nutné zkoušet sondou o frekvenci 1 MHz z důvodu vysokého útlumu ultrazvuku.

Vnější povrch nebyl pro zkoušení upravován a nerovnosti pro dosednutí sondy byly kompenzovány vazelínou jako vazebním médiem. Vnitřní vrstva SiC nezpůsobuje významný útlum ultrazvuku, ani nebrání detekci poškození vnitřního povrchu, kde byly vývrty vyrobeny.

Pro každé jednotlivé zkušební těleso byla měřena rychlost šíření ultrazvuku podélných vln. Rychlost ultrazvuku se pohybovala v rozmezí 2235 až 3389 m/s.



Obr. 3: Zkušební těleso LAM_2 s vývrty



Obr. 4: LAM_3 – okraj FBH 16 (B4)

Sonda je schopna detekovat koncové echo (KE) pro danou tloušťku ZT, lokální narušení sklolaminátu simulované vývrty lze spolehlivě detekovat od náhradní velikosti vývrty o průměru 5 mm. Poškození sklolaminátu se projevuje poklesem KE i jeho nepřítomností. Delaminace v některé z vrstev materiálu se projevuje sledem opakovaných ech od vytvořeného rozhraní v místě delaminace a ztrátou koncového echa. Blíže lze pozorovat na vzorku LAM_3, kde na okraji vývrty FBH16 v poloze B4 došlo vlivem výroby vývrty k lokální delaminaci sklolaminátu (obr. 4).

Vývrty FBH5, 10, 16 a 20 jsou ve všech zkušebních tělesech dobře detekovatelné, zatímco vývrt FBH2 nelze se 100% jistotou detekovat.

Závěr

Prvotní výsledky ultrazvukového zkoušení nástřiků Cold Spray ukazují vhodnost metody k ověření přilnutí nástřiku k substrátu a možnost měření tloušťky nástřiku. U sklolaminátů byla ověřena prozvučitelnost a detekovatelnost umělých vad.

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 (2018): *Extended Storage Collaboration Program Canister Mitigation and Repair Subcommittee*. Industry Progress Report, 3002013130.
- [2] Glass, S.W., Larche, M.R., Prowant, M.S., Suter, J.D., Lareau, J.P., Jiang, X., Ross, K.A. (2018): *Cold spray NDE for porosity and other process anomalies*. AIP Conference Proceedings 1949, paper 020010. ISBN 978-0-7354-1644-4
- [3] Chakrapani, S.K., Dayal, V. (2019): *Destructive and Nondestructive Evaluation of Dry Spots in Thick Glass Fiber Reinforced Composites*. Applied Composite Materials, Vol. 26, No. 2, pp. 693-708. ISSN 0929-189X