

APLIKACE ŽÁROVÝCH NÁSTŘIKŮ PRO KOLEJOVÁ VOZIDLA

APPLICATION OF THERMAL SPRAYING FOR RAIL VEHICLES

Jaroslav BRODSKÝ¹

Abstrakt

Článek se zabývá základními typy žárových nástřiků (včetně variant prášků, drátů). U těchto žárových nástřiků jsou definovány způsoby aplikace a využití. Pro konkrétní aplikace jsou představeny získané zkušenosti s využitím žárových nástřiků na komponenty kolejových vozidel. Na závěr je shrnutí vhodnosti využití žárových nástřiků pro konkrétní aplikace.

Klíčová slova

kolejové vozidlo, povrchová ochrana, žárový nástřik

Abstract

The article deals with the basic types of thermal spraying (including variants of powders, wires). These are defined thermal spraying methods of application and use. For specific applications are the experience with use of the thermal spraying on the components of rail vehicles. At the end is a summary of the suitability of the use of thermal spraying for specific applications.

Keywords

rail vehicle, surface protection, thermal spraying

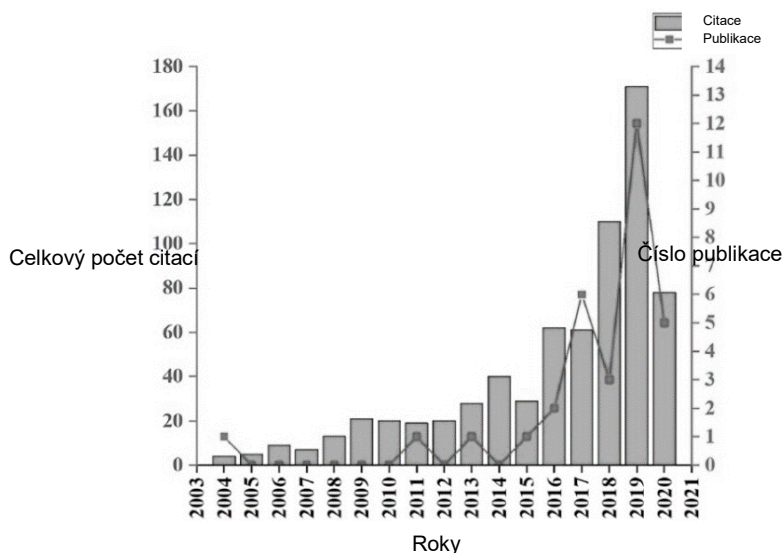
1 ÚVOD

Pro zajištění minimální životnosti komponent kolejových vozidel v délce 40 let je rozhodující návrh konstrukce, způsob zatížení, ale i povrchová ochrana. Povrchové ochrany jsou voleny dle způsobu opotřebení a trilogických vlastností, mechanického zatížení, ale hlavně podle působení vnějších vlivů. Toto je přesně definováno v rozmezí teplot, nadmořskou výškou, vlhkostí a vše se již nyní opírá o evropské standardy EN. Jednou z možných povrchových úprav jsou žárové nástřiky.

První zmínky o podobných aplikacích jsou již ke konci 19. století. Rozvoj v tomto odvětví renovace funkční plochy a navrácení původních funkčních vlastností komponent začal již během druhé světové války a pokračuje dodnes. Cílem je vytvořit na povrchu komponenty vrstvu, která zásadním způsobem mění kvalitu výrobku v provozních podmínkách.

Jak ukazuje obr. 1, tak množství článků a citací o technologii žárových nástřiků má vzrůstající charakter, který je dán rozšiřováním daných technologií do různých odvětví průmyslu včetně kolejového.

¹ Ing. Jaroslav Brodský, ŠKODA TRANSPORTATION a.s. Borská 2963, 301 00 Plzeň. Tel.: +420 378 186 428, e-mail: jaroslav.brodsky@skoda.cz



Obr. 1 Množství publikací a citací k žárovým nástřikům [1]

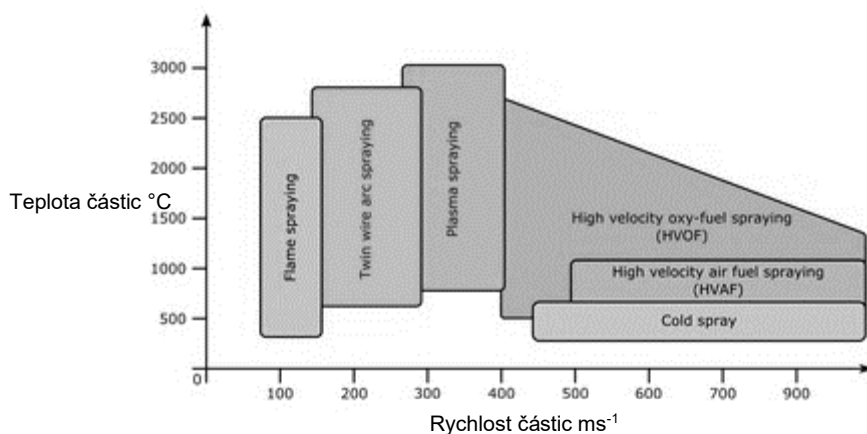
2 TYPY ŽÁROVÝCH NÁSTŘIKŮ

Celý proces aplikace žárového nástřiku a vytvoření samotného povlaku je možné rozdělit do několika po sobě jdoucích fází.

První fází je vytvoření technologického postupu technologie žárového nástřiku. Pokud je potřeba, tak se vytváří SW programy pro nanášení, podle tvaru a uspořádání komponent.

Druhou fází je očištění vstupní komponenty pomocí abrazivního tryskání (korundem, drtí atd.). Po otryskání jsou zakryta místa, na která nemá být žárový nástřik aplikován.

Třetí fází je aplikace žárového nástřiku na komponentu, která probíhá v následujících krocích: nanášení materiálu (prášku, drátu) do zařízení, formování a nanášení nataveného materiálu na komponentu a na závěr ochlazování povlaku na povlakovaném povrchu.



Obr. 2 Obrázek variant žárových nástřiků vzhledem k rychlosti nanášení a teplotám [2]

Jak je zobrazeno na obr.2, tak procesy žárových nástřiků lze rozdělit podle rychlosti nanášení nataveného materiálu a teplot na několik kategorií. Nejvyužívanější typy technologií žárových nástřiků jsou:

- FS (Flame Spraying), nástřik plamenem,
- TWAS (Twin wire Arc Spraying), nástřik elektrickým obloukem,
- APS (Atmospheric Plasma Spraying), nástřik plazmatem,
- HVOF (High Velocity Oxygen Fuel), vysokorychlostní nástřik plamenem.

2.1 Nástřik plamenem (FS)

Žárové stříkání plamenem je nejstarší technologií žárových nástřiků. Přídavný materiál ve formě prášku nebo drátu je veden do plamene, kde se nataví. Stlačený vzduch se používá z toho důvodu, že energie plamene na výstupu neumožňuje nataveným částicím dosáhnout dostatečné rychlosti. [3, 4]

Teplota plamene se pohybuje v rozmezí 2 700 – 3 100 °C podle zvolené atmosféry. Nízká teplota plamene omezuje tuto metodu pouze pro nástřik nízko tavitelných kovů, např. Al, Zn, Cu a jejich slitiny. Kovy s vyšší teplotou tání (Mo) se musí přivádět ve formě prášku a to tak, aby jejich setrvání v plameni bylo co nejdéle a došlo k dostatečnému natavení. [3, 4]

Výhodami nástřiku plamenem jsou jeho jednoduchost a snadná příprava podkladového materiálu, který nevyžaduje zvláštní úpravu. Tato metoda umožňuje připravovat vrstvy o tloušťce od desetin mm až po několik mm. Relativně nízká teplota plamene umožňuje použití metody i pro nástřik plastových prášků. Hlavní výhodou, díky které se metoda stále používá i přes nižší kvalitu povlaků, je velmi nízká ekonomická náročnost procesu. [3, 4]

2.2 Nástřik elektrickým obloukem (TWAS)

Tato metoda využívá dva dráty z vodivého materiálu, na jejichž koncích je vytvářen elektrický oblouk. Dráty se v elektrickém oblouku taví a natavený materiál je urychlován směrem k povrchu substrátu stlačeným vzduchem. [3, 4]

Teplota oblouku je v rozmezí 3 800 – 4 000 °C. Teplo se však na substrát přenáší jen nataveným materiálem a tepelné ovlivnění substrátu není velké. Dopadová rychlost částic se pohybuje mezi 100 – 240 ms⁻¹. Natavené částice mají nestejnou velikost, a výsledný povlak má proto vysokou drsnost a porozitu. [3, 4]

Hlavní výhodou metody nástřiku elektrickým obloukem jsou nízké požadavky na technologické vybavení (potřeba je stlačený vzduch a elektrická energie). Metoda je vhodná i pro nástřik velkých ploch. Jako přídavné materiály se používají převážně kovy, protože jsou vodivé. Pomocí plněných tyčinek se dají touto metodou připravit i povlaky z cermetů. [3, 4]

Nevýhodou je vysoká porozita vrstvy a špatná adheze k substrátu. [3, 4]

2.3 Nástřik plazmatem (APS)

Plazmatické nástřiky jsou jednou z nejuniverzálnějších metod žárových nástřiků díky vysokým teplotám dosažených v plazmatu. Plazma dosahuje teplot 6 700 – 24 700 °C. Přídavný materiál je pomocí nosného plynu vnášen katodou (vně nebo středem) do plazmatu, kde dojde k jeho natavení. [3, 4]

Natavené částice procházejí výstupní tryskou, kterou tvoří anodu a dochází k urychlování v proudu plynu. Dopadová rychlost částic se pohybuje mezi 40 – 600 ms⁻¹. Povlaky nanášené plazmatickými nástřiky mají díky vysoké dopadové rychlosti dobrou adhezi povlaku k substrátu. Tloušťka povlaků může být až několik mm. [3, 4]

Díky vysokým teplotám dosažených v plazmatu umožňuje tato metoda nanášet povlaky z materiálů s vysokými teplotami tání, jakými jsou keramika, cermety a žáruvzdorné slitiny. [3, 4]

2.4 Vysokorychlostní nástřik plamenem (HVOF)

Vysokorychlostní nástřik plamenem využívá pro hoření směs kyslíku s kapalným nebo plyným palivem. Vzniklé spaliny jsou urychlovány v konvergentně divergentní dýze na supersonickou

rychlost (až Mach 3). Pomocí nosného plynu je přídavný materiál ve formě prášku zaváděn do trysky. Dopadová rychlost nataveného materiálu se pohybuje kolem $400 - 1\,000\text{ ms}^{-1}$. [3, 4]

Teplota plamene se liší podle použitého paliva. Při použití plyných paliv se teplota pohybuje v rozmezí $1\,900 - 1\,950\text{ °C}$ a pro kapalná paliva mezi $2\,700 - 3\,100\text{ °C}$. Nízká teplota plamene neumožňuje depozici keramických povlaků, protože by nedošlo k dostatečnému natavení materiálu. Tato metoda je vhodná pro kovokeramické materiály a kovové materiály (na bázi niklu, kobaltu a železa). Nízká teplota plamene nezpůsobuje vyhořívání prvků během nástřiku a nedochází k výrazné oxidaci, či fázovým přeměnám. Vhodnou volbou depozičních parametrů se dá připravit povlak s vnitřním tlakovým pnutím, což dovoluje připravit povlaky o tloušťce několika mm. Zároveň jsou tím zlepšeny únavové vlastnosti povlakovaných součástí. [3, 4]

Nevýhodou vysokorychlostního nástřiku plamenem je náročnost technologického vybavení a velká hluchost procesu (přes 100 dB). [3, 4]

3 APLIKACE ŽÁROVÝCH NÁSTŘIKŮ PRO KOLEJOVÁ VOZIDLA

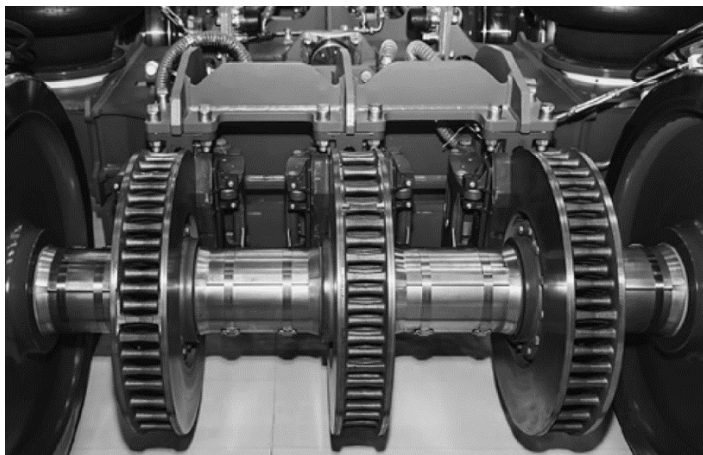
3.1 Současné používané povrchové ochrany na komponenty kolejových vozidel

Společně s žárovými nástřiky se využívají další typy současných povrchových ochrann. Jedná se převážně o různé typy nátěrů, galvanického zinkování, galvanických slitinových povlaků ZnNi, chromování, molybdenování, geometování a dalších.

Při cenovém porovnání těchto variant povrchových ochrann se pohybujeme ve velkém rozsahu cenové hladiny. U současně používaných povrchových ochrann (jako je nátěr) jsou náklady korunové, ale u žárových nástřiků mohou jít do tisíců.

3.2 Současné využití žárových nástřiků na kolejových vozidlech

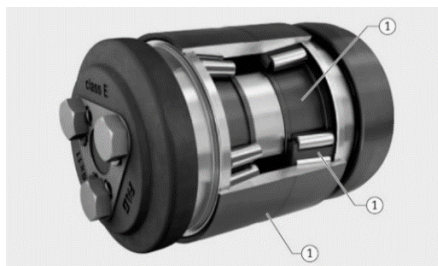
V současné době se žárové nástřiky standardně v hojné míře využívají již nyní na rotační součásti. Týká se to různých hřídelí, náprav, ložisek, nábojů kol, ozubených kol, kloubových spojení atd. Využití žárových nástřiků je možné pro nově vyráběné komponenty, ale v současné době se využívají převážně pro opravy a renovace existujících komponent.



Obr. 3 Běžná náprava s opravenými sedly [6]

Na obr. 3 lze vidět běžnou nápravu s opravenými sedly. Daný materiál je aplikován na sedla nápravy pomocí technologie nástřiku HVOF.

Na obr. 4 je vidět řez uzavřenou jednotkou nápravového ložiska, kde je nástřik aplikován na rotační část kroužků. Je zde použit materiál povlaku fosforečnanu zinečnatého.

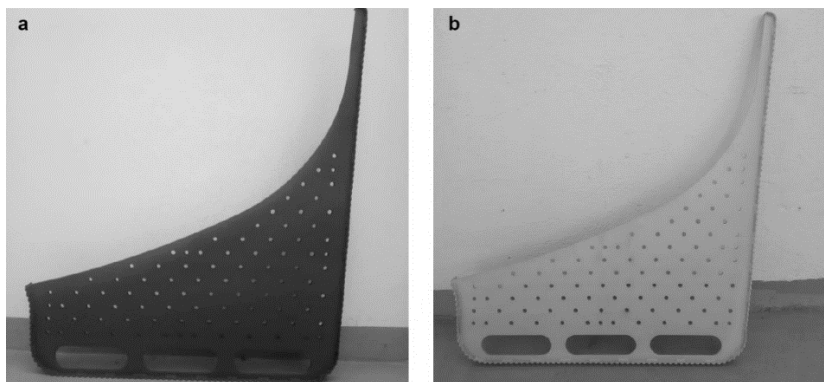


Obr. 4 Uzavřená jednotka nápravového ložiska [7]

3.3 Nové způsoby využití na kolejových vozidlech

Technologie žárových nástřiků se nově využívá na komponenty rámu podvozků, které složí pro tramvaje. Je to hlavně z důvodu, že na podvozky v městském provozu působí ve velké míře voda, sníh a ev. i sůl.

Aplikace se provádí na celé rámy podvozků, nebo pouze jejich částí. Využívá se technologie FS, nebo metalizace kovů (šopování). Metalizace kovu rámu podvozku se provádí zinkem, mědí či hliníkem.



Obr. 5 Čelní pochozí rošty lokomotivy [5]

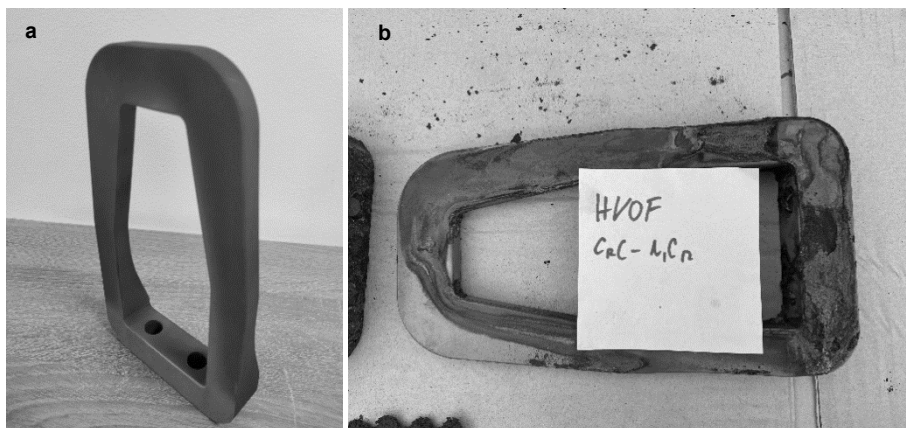
Vhodné využití je také na komponenty, které jsou podrobeny působení vnějších vlivů na čele vozidla, včetně případného otěru obuví. Na obr. 5 jsou ukázky aplikace na pochozí rošty lokomotivy, kdy je aplikována technologie TWAS s materiálem povlaku Zn15Al u komponenty b) a s materiálem povlaku Fe13Cr u komponenty a).



Obr. 6 Čelní pochozí rošt lokomotivy po zkoušce v klimatické komoře po 1 000 hodinách

Na obr. 6 je stav komponenty čelního pochozího roštu po zkouškách v klimatické komoře po 1 000 hodinách s technologií žárového nástřiku TWAS.

Na obr. 7 a) je zobrazena komponenta podchytky, kde je použita technologie HVOF s materiálem CrC-NiCr. Na obr. 7 b) je stav podchytky po zkoušce 1 000 hodin v klimatické komoře.



Obr. 7 Podchytka

U komponent, kde je proveden žárový nástřik, se provádí kusová zkouška v klimatické komoře, která má ověřit kvalitu provedeného žárového nástřiku. Následně se kontroluje přilnavost, provádějí se rozřezy a kontrola struktury. Paralelně se provádějí zkoušky opotřebení.

4 ZÁVĚR

Doba realizace projektu, stejně jako nízké materiálové a provozní náklady jsou jedním z nejdůležitějších faktorů při získávání zakázek v oblasti kolejových vozidel. Významné je také hledisko obsolescence a environmentální.

Na základě daných požadavků je snaha najít vzhledem k dlouhé životnosti kolejových vozidel nové povrchové úpravy, mezi které patří v současné době aplikace žárových nástřiků. V článku jsou představeny různé technologie žárových nástřiků a jejich využití na konkrétní komponenty kolejových vozidel.

Jak je vidět z rostoucích aplikací žárových nástřiků, ale i vývoje a publikačních činností, tak se tato technologie žárových nástřiků postupně bude stávat ekvivalentní technologií k současně aplikovaným standardním povrchovým ochranám. V rámci dalšího vývoje kolejových vozidel se hledají další možné aplikace pro využití žárových nástřiků (např. pro čelní části vozidel, spodní části podvozků atd.).

U komponent v údržbě, ale i v rámci návrhu nových konstrukcí je nutné sledovat a dobře volit vhodnou povrchovou ochranu. Nevhodná aplikace může způsobovat provozní i údržbové velké prostoje, které znamenají nemalé finanční ztráty.

Při plánování aplikace žárových nástřiků pro komponenty kolejových vozidel, je nutné dále řešit vzájemnou kompatibilitu stávajících povrchových ochranných a žárových nástřiků. Cílem je dosáhnout maximálních užitečných vlastností s využitím kombinace stávajících povrchových ochranných a žárových nástřiků.

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu číslo FV40165 „Zvýšení odolnosti komponent kolejových vozidel pomocí moderních technologií žárového nástřiku“.



Literatura

- [1] MEGHWAL, A., ANUPAM, A., MURTY, B. S., BERNDT, C. CH., KOTTADA, S. R., MING ANG, S. A. Thermal Spray High-Entropy Alloy Coatings: A Review. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2020, **29**, 857–893. DOI: 10.1007/s11666-020-01047-0
- [2] High Velocity Air Fuel (HVOF) Spraying. *TWI* [online]. Cambridge (UK) [cit. 22. 06. 2021]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/media-and-events/insights/high-velocity-air-fuel-hvaf-spraying>
- [3] PLEVOVÁ, K. *Kompletní charakterizace žárově stříkaného povlaku na bázi keramiky na hořčíkové slitině AZ91*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů.
- [4] DAVIS, J. R. *Handbook of Thermal Spray Technology*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 2004. ISBN 978-0-87170-795-6.
- [5] ŠULCOVÁ, P., VOSTŘÁK, M., ANTOŠ, J., LENCOVÁ, K. *Improving performance and service life of rail vehicles components by twin wire arc spraying*. Brno: 29th International Conference on Metallurgy and Materials (Metal 2020), 20.–22.05.2020.
- [6] *Die Hochleistungsbeschichtungen für Schienenfahrzeugkomponente von Karl Schumacher*. Karl Schumacher. Prospekt.
- [7] *Höheres Leistungsvermögen durch Beschichtungen Funktionale Beschichtungen für Automotive und Industrie*. Schaeffler. Prospekt. TP 186.