

# KVALIFIKACE POSTUPŮ VE VZTAHU K ŽÁROVĚ STŘÍKANÝM SOUČÁSTEM PRO OBLAST JADERNÉ ENERGETIKY

## QUALIFICATION OF THERMAL SPRAYING PROCEDURES FOR NUCLEAR INDUSTRY

Marek Palán, Petr Ducháček a Zdeněk Čančura

ČEZ, a. s., Technika jaderných elektráren, Řízení zvláštních procesů a technické kvality

### Abstrakt

Žárové stříkání je využíváno jako technologie zajišťující dosažení lokální změny vlastností v oblasti stříkaného povrchu ve vztahu k uvažovanému účelu a použití součásti či stříkaného povrchu. Příspěvek se zabývá kvalifikací postupů žárového stříkání pro oblast jaderné energetiky. Pro kvalifikaci bylo využito normativního schématu skládajícího se z následujících typů dokumentů vycházejících z příslušných norem. Specifikace povlaku (ČSN EN 17001), Specifikace postupu žárového nástřiku (ČSN EN 17002) a Kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem (ČSN EN 15648). Při kvalifikaci postupů žárového stříkání byl rozsah nedestruktivních kontrol, a zejména rozsah destruktivních zkoušek, volen s ohledem na předpokládaný účel a použití konkrétního žárového nástřiku. Celá kvalifikace byla provedena v souladu s požadavky vyhlášky č. 358/2016 Sb. a NTD A.S.I. Sekce I, verze 2020.

### Abstract

Thermal spraying is used as a technology ensuring the achievement of a local change in the properties in the area of the sprayed surface in relation to the intended purpose of using the component or sprayed surface. The paper deals with the qualification of thermal spraying procedures for the field of nuclear energy. A normative scheme consisting of the following types of documents based on the relevant standards was used for qualification. Coating specification (ČSN EN 17001), Thermal spraying procedure specification (ČSN EN 17002) and Qualification of procedures in relation to sprayed parts (ČSN EN 15648). The scope of non-destructive inspections and particularly the scope of destructive tests was during the qualifying of thermal spraying procedures chosen with regard to the intended purpose of using the particular thermal spraying. The entire qualification was performed in accordance with the requirements of Decree No. 358/2016 Coll. and NTD A.S.I. Section I, version 2020.

### Úvod

Technologie žárového stříkání spadá do oblasti zvláštních procesů, tzn., jedná se o proces, u něhož nelze výsledný výstup snadno nebo ekonomicky ověřit (validovat) ve smyslu ISO 9000:2015, bod 3.6.11. Ve srovnání s dalšími zvláštními procesy, zejména svařováním, je žárové stříkání proces, kde je míra rozsahu a propracovanosti normativní základny na nižší úrovni. Tato skutečnost je způsobena zejména tím, že dosud je v průmyslu více než normativní přístup, uplatňován individuální přístup jednotlivých výrobních organizací, případně jsou uplatňovány požadavky různých oborových předpisů. Nižší míra normalizace je zároveň způsobena menším využíváním technologie žárového stříkání v průmyslu obecně.

Při provádění žárového stříkání je nezbytná znalost procesních parametrů ovlivňujících výslednou kvalitu žárového nástřiku. Za tímto účelem je důležitá, před zahájením žárového stříkání, ať už v procesu výroby nebo údržby, komplexní znalost vlastností žárového nástřiku ve vztahu k uvažované aplikaci tak, aby bylo zajištěno plnění projektantem nebo konstruktérem stanovených požadavků (například korozní odolnost, otěruvzdornost, tvrdost, mikrotvrdost). Z hlediska technologie žárového stříkání se jedná především o celistvostní vlastnosti nástřiku

(nepřítomnost strukturních trhlin, delaminace struktury, deadheze mezifázového rozhraní), přilnavost nástřiku k substrátu (základnímu materiálu), a další vlastnosti (kontaminace mezifázového rozhraní, pórovitost žárového nástřiku).

Za účelem ověření dosažení požadovaných vlastností žárového nástřiku, jsou zároveň stříkány zkušební kusy, které svým charakterem co nejvíce odpovídají součásti, pro kterou je uvažována aplikace žárového nástřiku. Následně jsou tyto zkušební kusy podrobeny destruktivním zkouškám. Tento proces je označován jako kvalifikace postupů žárového stříkání.

Z pohledu kvalifikace postupů žárového stříkání je na úrovni evropských norem (EN) nastaveno a zavedeno procesní schéma kvalifikace, které je ve své principu obdobné jako v případě dalších zvláštních procesů, jako je svařování a pájení.

### **Kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem**

Kvalifikace postupů žárového stříkání je ve smyslu normy ČSN EN 15648 označována jako Kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem. Proces kvalifikace je rozdělen na dvě fáze. V první fázi jsou navrženy procesní parametry a stanoveny požadavky na žárový nástřik. V druhé fázi je ověřováno, zda je na základě provedeného žárového stříkání navrženými procesními parametry dosaženo výsledků, které naplňují požadavky stanovené pro žárový nástřik.

Z normativního hlediska je v první fázi vypracován dokument, označený jako Specifikace postupu žárového nástřiku, kde jsou specifikovány důležité procesní parametry ovlivňující kvalitu výsledného žárového nástřiku. Rozsah a formát záznamu procesních parametrů je uveden v normě ČSN EN 17002. Na rozdíl od svařování, je před zahájením procesu kvalifikace zpracován ještě jeden dokument, označený jako Specifikace povlaku. Tento dokument jednoznačně specifikuje základní informace o žárovém nástřiku ve smyslu podmínek použití, jeho návrhu, požadavků na vlastnosti a způsob jejich zkoušení. Přesné požadavky na obsah a formát dokumentu uvádí norma ČSN EN 17001. V okamžiku, kdy jsou odladěny procesní parametry a jsou zpracovány oba dokumenty, tj. Specifikace povlaku a Specifikace postupu žárového nástřiku, je možné zahájit samotný proces kvalifikace postupů žárového stříkání.

Kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem je prováděna v souladu s požadavky normy ČSN EN 15648. Tato norma uvádí, jakým způsobem a za jakých podmínek je prováděna kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem.

### **Rozsah kontrol a zkoušek pro kvalifikaci postupů**

Při kvalifikaci postupů ve vztahu ke stříkaným součástem, je rozsah nedestruktivních kontrol a destruktivních zkoušek volen s ohledem na předpokládaný účel a použití konkrétního žárového nástřiku. Žádná z norem blíže nespecifikuje, jaký minimální rozsah kontrol a zkoušek by měl být proveden vzhledem k uvažovanému účelu a použití žárového nástřiku.

Základními destruktivními zkouškami, které by měly být provedeny bez ohledu na účel a použití žárového nástřiku, je provedení metalografického výbrusu s následným hodnocením celistvostních vlastností žárového nástřiku, jako je přítomnost strukturních trhlin, delaminace struktury, deadheze mezifázového rozhraní, aj. Bohužel, pro provedení a vyhodnocení metalografického výbrusu, neexistuje žádný normativní předpis na úrovni evropských norem, který by stanovoval metodické pokyny, a bylo by možné jej využít pro oblast žárového stříkání. Parametrem významně ovlivňujícím užité vlastnosti žárového nástřiku je jeho přilnavost k substrátu. V tomto případě existuje norma ČSN EN ISO 14919, která definuje podmínky zkoušky pro stanovení přilnavosti žárového nástřiku v tahu. Důležité je rovněž měření tloušťky povlaku mikroskopickou metodou, jehož postup je uveden v normě ČSN EN ISO 1463. Z dalších zkoušek, které se obvykle váží k účelu a použití žárového nástřiku se jedná například o hodnocení pórovitosti obrazovou analýzou na světelném mikroskopu, v tomto případě opět neexistuje normativní předpis pro provedení a vyhodnocení, zkoušky tvrdosti a mikrotvrdosti, kde jsou využívány normy ČSN EN ISO 6507-1 a ČSN EN ISO 6507-2, aj.

Je třeba si uvědomit, že výsledky kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem nedefinují účel a rozsah použití žárového nástřiku, ale pouze poskytují informaci o tom, jakých vlastností žárového nástřiku bylo dosaženo ve vztahu k použitým procesním parametrům žárového stříkání. Požadavky vztahující se k účelu a použití daného žárového nástřiku musí být vždy stanoveny projektantem nebo konstruktérem.

### **Současný legislativní rámec v oblasti jaderné energetiky**

Vyhláška č. 358/2016 Sb., Příloha 2, část A, bod 6.1.3, klasifikuje obecně nástřiky mezi tzv. nerozebíratelné spoje. Vyhláška č. 358/2016 Sb. dále definuje požadavky na provádění nerozebíratelných spojů, tedy i nástřiků. Tyto základní požadavky jsou v obecné rovině převedeny do Normativně technické dokumentace Asociace strojních inženýrů ČR, kde jsou zařazeny v NTD A.S.I. Sekce I. V NTD A.S.I. Sekce I jsou blíže specifikovány technické požadavky pro oblast žárového stříkání, zejména formou odkazů na evropské normy. Jak bylo uvedeno výše, v současné průmyslové praxi nejsou často uplatňovány požadavky těchto evropských norem, a tudíž se stává, že ne vždy jsou v jiných průmyslových sektorech, než je jaderná energetika, všechny požadavky těchto norem uplatňovány.

### **Reálná kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem pro oblast JE**

Pro oblast jaderné energetiky je prováděna kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem. Byly vytipovány uvažované aplikace, u kterých se předpokládá v nejbližších letech provádění žárových nástřiků, zejména v oblasti renovací dílů. Na základě uvažovaných aplikací byly zvoleny nejvhodnější kombinace metod žárového stříkání a přídavných materiálů pro žárové stříkání. Pro účely kvalifikace byly využity metody žárového stříkání elektrickým obloukem (AS), plasmou (APS), plamenem (RFS) a vysokorychlostní stříkání plamenem (HVOF).



Obr. 1: Zkušební kus po nevyhovující kapilární kontrole



Obr. 2: Zkušební kus po vyhovující kapilární kontrole

Ačkoliv je obecně uváděno, že materiál substrátu výrazně neovlivňuje přilnavost žárového nástřiku, případně jiné vlastnosti, byla za účelem potvrzení/vyvrácení této teorie provedena kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem ve vztahu ke třem skupinám materiálů substrátu, a to, uhlíková ocel, litina a austenitická korozivzdorná ocel. Výsledky potvrzují, že

při použití odlišných materiálů substrátu nedochází k významnému ovlivnění výše vyjmenovaných vlastností.

Na uvedených fotografiích jsou zobrazeny dílčí stavy vybraných zkušebních kusů v průběhu provádění kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem. Obr. 1 ukazuje na důležitost nedestruktivních kontrol před zahájením žárového stříkání, kdy byly na zkušebních kusech identifikovány trhliny a tento zkušební kus byl následně vyřazen z procesu kvalifikace. Na obr. 2 je zkušební kus po vyhovující kapilární kontrole. Obr. 3 a obr. 4 ukazují zkušební kus po provedeném žárovém nástřiku a jeho obrobení.



Obr. 3: Zkušební kus s provedeným žárovým nástřikem



Obr. 4: Zkušební kus obrobeným žárovým nástřikem

## Závěr

Pro kvalifikace postupů ve vztahu ke stříkaným součástem je pro oblast jaderné energetiky využíváno procesní schéma založené na evropských normách ČSN EN 17001, ČSN EN 17002 a ČSN EN 15648, na které se odkazuje NTD A.S.I. Sekce I.

V současnosti probíhá dokončení několika kvalifikačních postupů ve vztahu ke stříkaným součástem pro pokrytí standardně prováděných žárových nástřiků, zejména v oblasti údržby.