



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**



## **Zkušební protokol č. 18/12133/21**

**Dodavatel:**

ČVUT v Praze, Fakulta strojní  
Ústav strojírenské technologie  
Technická 4, 166 07 Praha 6

IČO: 6840 7700

DIČ: CZ 6840 7700

Telefon: + 420 224 352 630

**Odběratel:**

Povodí Ohře, závod Chomutov  
Spořická 4949, Chomutov 430 46

Kontaktní osoba: Ing. Petr Kaška

Vypracoval: doc. Ing. L. Kolařík, Ph.D.; doc. Ing. Jiří Janovec, CSc.

Datum vyhotovení: 23. 10. 2018

Počet stran: 5

Počet příloh: 0

## Úkol:

Na základě další komunikace a jako doplnění zkušebních protokolů č. 18/12133/12 a 18/12133/20 byl v rámci předložené zprávy proveden návrh na opravu komor oběžného kola a napojení opancéřování savky MVE Nechranice TG1 a TG2.

## Rekapitulace provedených měření:

### TG2:

Na základě provedených měření chemického složení ze dne 6.6. 2018 byly u TG2 identifikovány následující základní materiály (viz zkušební protokol 18/12133/12):

- Komora oběžného kola – ČSN 42 2904
- „Pancéřování“ sací trouby 1- ČSN 17 247
- „Pancéřování“ sací trouby okolo vstupního otvoru – ČSN 17 345
- „Pancéřování“ sací trouby 2 (ve spodní části, nad částí pokryté barvou) - X3CrNi13-4
- Svarový spoj mezi materiálem komory oběžného kola a pancéřováním sací trouby 1 je vyroben pomocí přídatného materiálu (typově např.) ESAB OK 63.80 (nikoliv dle WPS č. 240614, elektrodou OK 67.45)

V oblasti svarového spoje mezi tělesem komory oběžného kola (Základní materiál 1 = ČSN 42 2904) a opancéřováním sací trouby 1 (Základní materiál 2 = ČSN 17 247), bylo nalezeno 19 oblastí zvýšeného kavitačního poškození. Tato poškození jsou vyvolána narušením proudu vody nerovnostmi, zejména nerovnoměrným převýšením svarového spoje. Další zdroj rozvoje kavitačního opotřebení je trhlinka, jejíž spodní okraj je místy vylomen a narušuje tak hladkost povrchu. Trhlinka byla vizuálně indikována téměř po celém obvodu svaru. Porušení převážně prochází svarovým kovem v jeho horní části, tj. blíže ke straně tělesa komory. Místy však přechází až do středu svaru. Místy z trhliny vychází další kolmé trhliny zasahující 40 – 60 mm do základního materiálu v axiálním směru. Na oběžném kole bylo detekováno narušení povrchu pouze v rozsahu místního snížení lesku a narušení stop po broušení a to v oblasti uchycení lopatek (viz obrazová příloha č. 1 ke zkušebnímu protokolu 18/12133/12).

Největší vady se tedy nacházejí v místě svarového spoje, na přechodu ZM1 a ZM2. Pro tuto oblast bude tedy v další části zprávy navržen způsob opravy.

### TG1:

Na základě provedených měření chemického složení ze dne 23. 8. 2018 byly u TG1 identifikovány následující základní materiály (viz zkušební protokol 18/12133/20):

- Komora oběžného kola – ČSN 42 2904
- „Pancéřování“ sací trouby 1(pod svarovým spojem) - ČSN 17 247
- „Pancéřování“ sací trouby 2 (ve spodní části, nad částí pokryté barvou) - ČSN 17 345
- Svarový spoj mezi materiálem komory oběžného kola a pancéřováním sací trouby 1 je vyroben pomocí přídatného materiálu (typově např.) VDM FM 31 (tj. z oceli X1NiCrMoCu32-28-7)

V oblasti svarového spoje na přechodu mezi tělesem komory oběžného kola (ZM1 = ČSN 42 2904) a opancéřováním sací trouby 1 (ZM2 = ČSN 17 247) bylo nalezeno 31 oblastí kavitačního porušení povrchu stěny. V porovnání s kavitačním opotřebením turbíny TG 2 byly oblasti většího plošného

rozsahu, ale menší hloubky. Vizualně byla nalezena jedna trhлина přibližné délky 40 mm. Tato oblast je orientována naproti vstupu do prostoru pod rotorem. Kavitační porušení bylo nalezeno také na jedné z lopatek oběžného kola (viz obrazová příloha č. 1 ke zkušebnímu protokolu 18/12133/20).

I zde bylo nejvíce vad nalezeno v oblasti svarového spoje, na přechodu ZM1 a ZM2. Pro tuto oblast bude tedy v další části zprávy navržen způsob opravy (materiály jsou v obou případech u těchto exponovaných částí v podstatě totožné, i když u TG2 je ocel ČSN 17 247 částečně místně nahrazena ocelí ČSN 17 345, které jsou ale typově podobné).

Rozsah lokálních poškození (kavity a trhliny) u turbíny TG1 byl podstatně menší než u turbíny TG2. Pravděpodobným důvodem bylo použití přídatných svařovacích materiálů s vysokým obsahem niklu (např. VDM FM 31).

### **Návrh opravy**

#### **Základní popis:**

Z provedených měření chemického složení, lze konstatovat, že ani v jednom případě (TG1, TG2) chemické složení svarového kovu (problémové oblasti s největším výskytem vad) neodpovídá doporučenému přídatnému svařovacímu materiálu (ESAB OK 67.45) v navržené specifikaci svařovacího postupu opravy – WPS č. 240614, který byl předán zadavatelem.

Provedenými měřeními bylo zjištěno chemické složení základních materiálů na povrchu zkoumané oblasti, nicméně nebylo možné ověřit tloušťky a podkladový základní materiál. Dále se místně vyskytovali oblasti s dalšími lokálně provedenými opravami, kde svarový kov vykazoval různá chemická složení, odpovídající přídatným svařovacím materiálům typu ESAB OK 61.30, VDM FM31 apod. Jedná se tedy o opravu svarového spoje mezi ZM1 (ČSN 42 2904) a ZM2 (ČSN 17 247) + s místními nehomogenními oblastmi.

#### **Návrh postupu:**

Vzhledem k charakteru místa opravy a znesnadněné přístupnosti a operativnosti se optimální jeví použít k opravě navařováním metodu 111 (označené podle ČSN EN ISO 4063 – tj. ruční obloukové svařování obalenými elektrodami) nebo metodu 141 (ruční svařování neodtavující se elektrodou v inertní ochranné atmosféře) při použití čistého Argonu. První metoda je pro dané prostředí operativnější, oprava může být provedena rychleji a cena bude s největší pravděpodobností nižší. Druhá zmíněná metoda však může poskytnout vyšší stupeň ochrany svarové lázně a tím celkově zvýšenou kvalitu.

Příprava opravovaných míst byla dle původní WPS (č. 240614) navržena správně: tzn. zjištěné vady je potřeba postupně vybrousit (nebo lépe vydrážkovat) až do úplného odstranění (do kovově čistého materiálu), resp. kavity vybrousit do plynulého tvaru. Poté by bylo vhodné provést vizuální kontrolu (VT) připravených ploch, a v případě potřeby ji doplnit kapilární zkouškou (PT).

Navařování je vhodné provádět v poloze PC (podle ČSN EN ISO 6947) lineárně a jednotlivé svarové housenky návaru provádět bez rozkyvu elektrody resp. svařovacího hořáku (tzn. tažené).

Po navaření (opravě jednotlivých vad) je potřeba navařený materiál přebrousit do plynulého tvaru a žádoucího profilu, vzhledem k funkčnosti zařízení. Následně opět provést NDT kontrolu (VT, PT) opravených vad.

Z hlediska použitých ZM je žádoucí minimální vnesené teplo během svařování. Před svařováním by svarové (resp. návarové) plochy měly být vysušeny (případně lze aplikovat mírný předehřev – max. 80-

100 °C). V případě větších hloubek vybroušených vad je vhodné při aplikaci vícevrstvých návarů předepsat teplotu interpass dle zvoleného přídatného materiálu (max. však 200 °C). Parametry svařování (proud, napětí, rychlost svařování) by měly být voleny tak, aby max. tepelný příkon nepřesáhl max. 1,5 kJ/mm. (Tzn. používat spíše menší průměry elektrod: 2,5 – max. 3,2 mm a přídatných drátů pro metodu 141: průměr 2,5 mm).

Zmíněný postup v podstatě z větší části odpovídá předložené WPS č. 240614 (nicméně je důležité dodržet technologickou kázeň – optimálně zajistit kvalifikovaným pracovníkem svářečského dozoru) a provádět průběžné a finální NDT kontroly s patřičnými výstupními protokoly.

#### Návrh přídatných materiálů:

Vzhledem k výše uvedeným zjištěním a doporučením je možné volit několik typových variant přídatných materiálů, pro výše zmíněnou opravu. Jednotlivé varianty jsou ukázány v tabulce č. 1.1.

Tab. 1.1 – Varianty PM pro různé metody svařování  
(včetně orientačního chemického složení v hmot. %)

Číslo varianty	111 - MMA	141 – TIG
1	<b>ESAB OK 67.45</b>  Chemické složení: C < 0,11%, Cr 18,5%, Ni 8,5%, Si 0,5%, Mn 6%, Fe ost.  Teplota interpass do 150 °C Před použitím přesušit: 200°C/2h	<b>ESAB OK TIGROD 16.95</b>  Chemické složení: C < 0,2%, Cr 18,5%, Ni 8,5%, Si 1,2%, Mn 6,5%, Fe ost.
2	<b>ESAB OK 68.82</b>  Chemické složení: C < 0,12%, Cr 29%, Ni 9,75%, Si 1%, Mn 0,95%, Fe ost.  Teplota interpass do 150 °C Před použitím přesušit: 300°C/2h	<b>ESAB TIGROD 312</b>  Chemické složení: C < 0,15%, Cr 30,5%, Ni 9,5%, Si 0,5%, Mn 1,8%, Fe ost.
3	Ekvivalentní PM jako pro TIG (omezený sortiment)	<b>VDM FM 31</b>  Chemické složení: C < 0,015%, Cr 27%, Ni 31%, Mo 6,5%, Cu 1,2%, N 0,2%, Fe ost.  Teplota interpass do 120 °C

S pořadovým číslem varianty přídatného materiálu (PM) se bude postupně zvyšovat odolnost proti koroznímu napadení, odolnost proti kavitaci a odolnost proti vzniku trhlin, stejně jako plastické vlastnosti svarového kovu (což je vzhledem k heterogenitě opravovaných materiálů žádoucí). Zároveň se však bude zvyšovat i cena PM. Mechanické vlastnosti svarem opravených míst varianty 2 a 3 budou podobné, nicméně vyšší (cca 2x) než u varianty č. 1.

### Závěr

Všechny tři zmíněné varianty (v kombinaci s dodržení postupu přípravy a provedení, včetně dodržení teplotního cyklu procesu) mohou vést k dobrým výsledkům opravy, nicméně mohou se lišit v konečné délce životnosti opraveného zařízení (opět v souladu s pořadovými čísly).

V případě potřeby je možné tyto závěry zpracovat do podoby pWPS, případně i zajistit kvalifikační zkoušky postupu pro vytvoření kvalifikovaného postupu opravy (WPS). Nicméně to by bylo vhodné provádět po konzultaci a ve spolupráci s výrobcem (resp. realizátorem opravy).

  
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
**FAKULTA STROJNÍ**  
12133 - Ústav strojírenské technologie  
CZ - 166 07 Praha 6, Technická 4  
DIČ: CZ68407700

-1-