

Titl.:
Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta strojní
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Oponentní posudek disertační práce
Ing. Zdeňka Čančury, o názvu:
**Výzkum rizik heterogenních svarových spojů na JE
a vývoj kvalifikovaných postupů jejich oprav**

Školitel: Doc. Ing. Jan Kalous, CSc.

Disertační práce k získání akademického titulu doktor v oboru Materiálové inženýrství a strojírenské metalurgie se zabývá problémy souvisejícími s heterogenními svarovými spoji na JE s následnými jejich opravami. Vlastní disertační práce se věnuje rozбором možných poruch a s tím souvisejícími opravami svarových spojů č. 23 primárních kolektorů parogenerátorů jaderné elektrárny typu VVER 440 MW.

a) **Zhodnocení významu disertační práce pro obor materiálu a strojírenské metalurgie.**

Přínosem disertační práce pro obor metalurgie je stanovení důsledků degradačních procesů v průběhu výroby a provozu spoje mezi feritickou ocelí a austenitickým svarovým kovem. Porovnáním stavu heterogenního svarového spoje č. 23 primárních kolektorů parních generátorů na JE Dukovany před provozem a po dlouhodobém 30 ročním provozu autor potvrdil, že v oblasti provozních teplot parogenerátorů (290 °C) dochází v nauhličené austenitické oblasti I. návaru spoje pouze k precipitaci karbidických fází (karbid chromu) spoje. Důležitý je závěr, který potvrzuje, že k difúzi intersticiálních prvků (C, N) došlo především při svařování a při tepelném zpracování, tj. za teplot vyšších než je provozní teplota studovaného svarového spoje.

Autor v práci potvrdil, že důsledek pracovní teploty se na šířku pásma oduhličení feritické oceli (K22) nijak podstatně neprojevil. Autor zjistil skutečnost, že svarový spoj je v průběhu dlouhodobého provozu (30 let) po stránce metalurgické tj. z hlediska neměnnosti šířky pásma, ve kterém proběhla difúze uhlíku a dusíku, dostatečně strukturně stálý. Došlo pouze k precipitaci karbidů v austenitickém svarovém kovu v místě fúzní zóny (zóny stavení) austenitického návaru s feritickou ocelí K22.

Důležitost disertační práce pro obor materiálu lze spatřovat v **potvrzení minimalizace procesu difúze uhlíku (dusíku) pod spodní hranicí tepelně aktivovaných dějů, vyjádřených teplotou 300 °C (290 °C)**. Znamená to, že koeficient difúze uhlíku je za teplot nižších než 300 °C (290 °C) nižší než řádu $10^{-10} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

b) Vyjádření k postupu řešeného problému, k použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle.

Cílem disertační práce bylo **vědecky zdůvodnit** postup opravy svarového spoje mezi ocelí K 22 a 08CHN10T s tím, že svarový spoj musí splňovat podmínky dané platnými normami, standardy a předpisy. K dosažení vytýčeného cíle řešitel stanovil tři

experimentální programy. V rámci řešených programů uskutečnil posouzení heterogenních svarových spojů vítkovického a ruského provedení.

K posouzení spojů ve výchozím stavu použil při řešení **prvního experimentálního programu** dostupných metod, ze kterých, podle mého názoru, je prvořadé stanovení důsledků opakovaných tepelných zpracování na kvalitu přechodu mezi ocelí 22K a austenitickým svarovým kovem EA 395.

Důležité jsou zkoušky nízko-cyklové únavy spoje 23. při pracovní teplotě na vzduchu (lépe v demiralizované vodě) za pracovní teploty a zkoušky odolnosti proti koroznímu praskání ve vodním prostředí při pracovní teplotě.

V rámci **druhého experimentálního programu** řešitel logicky stanovil vliv dlouhodobého působení prostředí na změnu materiálových vlastností na spoji svařeném ve Vítkovicích a.s. Přitom hodnotil náchylnost materiálu prvního austenitického návaru na mezi-krytalovou korozi. Uskutečnil zkoušky pomalou rychlostí deformace (ve shodě s ČSN ISO 7539-7). Důležité jsou výsledky zkoušek kinetiky růstu únavových trhlin (CT vzorky) a lomové houževnatosti v prostředí vody o teplotě 290 °C. Zkoušky uskutečnil na vzorcích ve výchozím stavu a ve stavu po simulaci různé doby provozu.

Třetí experimentální program pojednával o návrhu vyhovujících postupů svařování pWPS, WPQR a WPS heterogenních svarových spojů. S využitím poznatků z řešení prvního a druhého experimentálního programu stanovil optimální technologii svařování WPQR.

Důležitý je poznatek podle kterého lze stanovit velikost smrštění v oblasti svarového spoje. Numerickou analýzou určil velikost posunu primárního kolektoru parogenerátoru způsobeného rozdíly smrštění austenitických svarových spojů v porovnání s feritickou ocelí K22. Studii doplnil výpočtem zbytkových napětí. Stanovil kritická místa, která jsou v místě přechodu materiálu 22K do svarového kovu EA 395 jak na vnitřním tak i na vnějším povrchu.

c) **Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu** disertanta.

Podle mého názoru lze z hlediska spolehlivosti, životnosti a bezpečnosti provozování studovaného svarového spoje spatřovat v **potvrzení minimalizace procesu difúze uhlíku (dusíku) pod** spodní hranicí tepelně aktivovaných dějů, vyjádřených **teplotou 300 °C (290 °C)**. Znamená to, že svarový spoj se neporuší v důsledku tvorby oduhličené oblasti se sníženými vlastnostmi

d) **Systematicčnost, přehlednost a jazyková úroveň disertační práce.**

Disertační práce je uvedena v kapitolách, pojednávajících především o výsledcích řešení třech experimentálních programů. Pojednání o výsledcích je v závěrečné kapitole. Práce je zpracována na 148 stranách, včetně 117 obrázků, 57 tabulek, 1 přílohy a seznamu literatury (97 odkazů).

Zpracování předkládané disertační práce je po stránce systematické, jazykové úrovni a přehlednosti příkladné. Úroveň zpracování tabulek a obrázků je na nejvyšší úrovni.

e) Vyjádření k publikacím disertanta

V údajích, pojednávajících o vybraných publikacích autora, disertant uvádí 17 údajů o publikacích uveřejněných především v rámci přednášek na konferencích, seminářích a kontrolních jednáních o záměru řešeného projektu.

Účastnil se konferencí a seminářů v ČR s tím, že spolupracuje s vybranými externími a výzkumnými institucemi.

Závěr oponentního posudku

S náplní disertační práci Ing. Zdeňka Čančury, o názvu: Výzkum rizik heterogenních svarových spojů na JE a vývoj kvalifikovaných postupů jejich oprav, ~~předloženou ke státní doktorské zkoušce~~, **souhlasím.**

Práci hodnotím pozitivně z důvodů, že je podle mého názoru zpracovaná na požadované úrovni a vytýčené cíle disertační práce byly splněny. Výsledky disertační práce byly úspěšně využity při opravách heterogenních svarových spojů č. 23 primárních kolektorů parních generátorů na jaderné elektrárně v Dukovanech. Problém, který je řešen v písemné zprávě, je po stránce vědecko-výzkumné aktuální s tím, že výsledky práce lze aplikovat ve sféře užití.

Celkové hodnocení

Disertační práci Ing. Zdeňka Čančury, o názvu: Výzkum rizik heterogenních svarových spojů na JE a vývoj kvalifikovaných postupů jejich oprav doporučuji k obhajobě (dle zákona č.111/1998 Sb. § 47).



V Plzni, dne 16.9.2015

Prof. Ing. Václav Pilous, DrSc., DrSc.h.c.

Oponentní posudek disertační práce Ing. Zdeňka Čančury IWE na téma „**Výzkum rizik heterogenních svarových spojů na JE a vývoj kvalifikovaných postupů jejich oprav.**“

Opravy vad svarů jaderných zařízení patří mezi velmi rizikové operace a každá práce, která se touto problematikou zabývá je velmi potřebná. Heterogenní svarové spoje na jaderných zařízeních patří mezi svarové spoje, které vyžadují zvlášť velkou pozornost. Proto je nutné vyzvednout velký význam této práce pro řešení oprav těchto svarů, nejen z hlediska bezpečnosti jaderných zařízení, ale i prodlužování jejich životnosti, což má velký ekonomický efekt. Disertant se ve své práci zaměřil na heterogenní svarové spoje primárních kolektorů parních generátorů jaderných zařízení typu VVER 440.

Hlavním cílem této disertační práce bylo vypracování kvalifikovaných postupů oprav heterogenních svarových spojů parních generátorů. Logicky bylo provedeno členění jednotlivých etap řešení tak, aby bylo dosaženo požadovaného cíle.

V úvodu disertační práce je naznačen důvod výběru tématu. Heterogenní svarové spoje svou specifičností představují jedny z nejkritičtějších částí jaderných zařízení a proto řešení této problematiky je věnována mimořádná pozornost. Dále disertant uvádí konkrétní svarový spoj, u kterého řešil výzkum rizik s cílem navrhnout technologický postup jeho opravy. Dále popisuje umístění tohoto svarového spoje a uvádí schémata jejich provedení na jaderné elektrárně Dukovany. Jedná se v podstatě o dvě varianty provedení (Vítkovické a ruské provedení). Jsou uvedeny použité přídavné materiály, jejich chemické složení a mechanické hodnoty. Dále jsou podány informace o provedených provozních měřeních, zatížení a kontrolách.

Dále následuje stěžejní část disertační práce – **experimentální program**, který je rozdělen do tří částí.

Experimentální program č. 1 se zabýval porovnáním heterogenních svarových spojů vítkovické a ruské provenience. Byl proveden kompletní materiálový rozbor, dále byly provedeny zkoušky na nízkocyklovou únavu, lomovou houževnatost, odolnost proti koroznímu praskání a vliv opakovaného tepelného zpracování. Výsledky zkoušek ukázaly na některé rozdíly, které byly způsobeny rozdílným chemickým složením materiálu 22K, případně přídavného materiálu, ale celkově to výrazně nezpůsobilo výrazné rozdíly v celkových výsledcích. Významněji se pouze projevilo opakované TZ, které způsobilo výskyt interkrystalického porušení.

Připomínky:

- 1) Na obr. 4 str. 20 je znázorněn průběh teplotních změn při najíždění reaktoru. V průběhu najíždění je uváděn teplotní šok při TZ. Značí-li TZ tepelné zpracování je otázka jak mohlo být prováděno v průběhu najíždění reaktoru. Je-li to něco jiného, nutno vysvětlit
- 2) Ve shrnutí výsledků experimentálního programu č.1 je na str. 119 obr. 105 je uvedeno, že zbytkové napětí po tepelném zpracování na teplotu $640^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ bude při této

teplotě nulové a po ochlazení na teplotu okolí 700 MPa. To neodpovídá skutečnosti, protože je nepravděpodobné, že při by žíhání na snížení napjatosti došlo ke snížení na 0 MPa a dále po ochlazení ke zvýšení na 700 MPa.

Experimentální program č.2 se zabýval změnou materiálových vlastností vlivem dlouhodobého působení provozního prostředí u heterogenního svaru vítkovického provedení. Zkoušky byly prováděny na originálních materiálech a byla simulována doba provozu 30,40 a 60 let. Výsledky ukázaly, že při tahových zkouškách docházelo k porušení v základním materiálu při teplotě 24⁰C a v první vrstvě návaru při teplotě 290⁰C. Materiál prvního návaru také vykazuje nízkou odolnost vůči mezikrystalické korozi.

Experimentální program č.3 se zabýval vypracováním postupu svařování heterogenního svarového spoje s vhodnými přídatnými materiály. V rámci této části programu byly také provedeny numerické analýzy pomocí programu SW SYSWELD. Řešení vlastního postupu svařování je zcela v souladu se získanými poznatky z předchozích dvou experimentálních programů. Navržené kladení svarových housenek minimalizuje zbytkové napětí ve svarovém spoji a zároveň zmenšení dilatací. **Není zcela jasně ukázáno, proč výběr vady byl v takovém rozsahu, protože v úvodu kapitoly chybí přesné definování vady a její polohy u konkrétního svaru.** Pokud byla nutnost tak velkého výběru, potom uvedené řešení se jeví jako optimální.

Byla získaná celá řada nových poznatků, které jsou důležité jak nová řešení heterogenních svarů, tak zejména pro opravy stávajících heterogenních spojů na provozovaných jaderných zařízeních. Výsledky experimentálních prací jednoznačně vyzvedávají nutnost kontroly používaných přídatných materiálů a jejich volbu s ohledem na prostředí ve kterém pracují a dále pak bezpodmínečné dodržování pracovních postupů.

Disertant ve své práci postupoval velmi systematicky a cílevědomě, tak aby naplnil stanovený cíl a je možné konstatovat, že se mu to zcela zdařilo. Prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce v daném oboru. Práce je velmi přehledná, textová i obrázková část velmi kvalitně provedená a jazykové úrovni textu nelze nic vytknout. Po formální stránce se autor zhostil svého úkolu velmi dobře.

Publikační činnost disertanta je poměrně rozsáhlá. Jedná se především o články na konferencích a výzkumné zprávy, které jsou zaměřené především na problematiku heterogenních svarů, jejich kontroly a oprav.

Závěr: **Doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě**

V Plzni 18.9.2015


Zpracoval: Ing. Jiří Barták, CSc., IWE