

Oponentský posudek disertační práce

na téma

Studium korozního poškození trubek žárovevního materiálu v energetice

Doktorand: **Ing. Robert Maršál**

Studijní program: P2346 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303V002 - Strojírenská technologie

Školitel: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc., prof. h.c.

Oponent: doc. Ing. Stanislav Lasek, Ph.D., FMMI, VŠB-TU Ostrava

Místo a doba předložení disertační práce: Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava, červen 2017

Posuzovaná disertační práce je zaměřena na rozbor poškození trubek výparníku z nízkouhlíkové žárovevní oceli (L290NB, C20, 12022.1) v oblasti spalovacích komor kotlů v Mittal Steel a.s. Na základě rozboru degradačních procesů a provozních podmínek trubek jsou v práci doporučena opatření pro zamezení nucených odstávek zařízení a ekonomických ztrát.

V úvodu autor popisuje základní funkce trubek (várnice) výparníku a parametry kotle se schematickým zobrazením. Významná je kap. 3 o technických parametrech kotlů o výkonu 100 a 200 t/h páry a předběžném poznání poškození trubek v oblasti hořáků spalovací komory s nadměrným tepelným zatížením v místech nehomogenity povrchu (např. svarové spoje).

Kap. 4 (str. 17) - Cíl disertační práce (Stanovit příčinu korozního napadení trubek kotlů v energetice a navrhnout doporučení k omezení porušení) je stručně formulován a je doplněn výčtem metod použitých pro analýzy a studie poškození, které lze interpretovat jako dílčí cíle. Jinak cíle disertační práce měly být zařazeny za rešerši (za kap. 5.1.9).

V rozsáhlé kap. 5 (str. 18-130) autor uvádí nejprve možné druhy koroze trubek výparníku (rovnoměrná, důlková, štěrbinová, vodíková, selektivní koroze, vlivem mědi, NaOH, fosfátu, vodní páry, kyslíku) a popisuje vlivy korozních produktů a nánosů na průběhy teploty a přenos tepla v těchto trubkách. Stručněji se zabývá creepovým poškozením, při kterém jsou uvedeny třídy hodnocení poškození struktury dokumentované na metalografických snímcích podle předpisu VGB-TW-507. Dále autor náležitě popisuje fosfátové režimy parovodních okruhů v energetice, zejména použití fosforečnanu sodného na úpravu pH. Přehledově se zabývá složením pracovního média v kotli a jeho vlivu na korozi a přiměřeně popisuje poškození várnice způsobené nekorektním chemickým režimem a vznikem okludovaných oblastí zvyšujících korozi. Pro zamezení porušení potrubí jsou předepsány nebo doporučeny

kontroly trubek a zařízení, analýzy vody a páry v energetických okruzích. Rovněž se zmiňuje o chemickém režimu v okruzích obsahujících slitiny mědi a úpravách kondenzátu.

Dále autor jmenuje metody a testy (analýzy, studie) použité při rozboru poškození trubek, většinou s odkazem na normy (kap. 5.2).

V rámci experimentální části (kap. 5.3, str. 46-130) doktorand představuje nejprve makroskopický pohled na porušení trubek s vyznačením vzorků pro stanovení nárazové práce a vrubové houževnatosti, doplněné o fraktografické studium na REM. Přitom bylo zjištěno, že v oblasti poškození dochází k významnému poklesu houževnatosti a ke změně mikro-mechanismu poškození (transkrystalického dutinového na křehké interkrystalické porušení). Dále je zde doloženo metalografické studium struktury v místech výskytu nadměrné koroze a v oblasti u lomu, kde vznikaly četné mikrotrhliny, připomínající creepové poškození. Pomocí bodové mikroanalýzy (EDX) byly zkoumány korozní produkty a nánosy na vzorcích s perforací (mimo svar, v oblasti svarového spoje a na korozní inkrustaci), kde byly zjištěny kvalitativně ve spektrech některé prvky (Fe, O, Na, Al, P a K, S, C, Mg, Ca, a Cu), oxidy železa, oxidy a sulfidy mědi, komplexní oxidy. Dále byly provedeny prvkové, strukturní a lokální mikroanalýzy vzorků usazenin odebraných z tlakového páro-vodního okruhu: z kotle, rotoru a kondenzátoru turbogenerátoru. Byly zde detekovány stejné prvky (jako výše uvedené + Zn, Ni) a několik fází (převážně oxidy Fe, Cu a grafit) i sloučenin s obsahem Na, Al, Si, O, Cl, např. $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, NaCl. Významné jsou také výsledky několikaletého sledování vodivosti, koncentrace P_2O_5 a pH kotelní vody, které prokázaly nedodržení normovaných mezí. Měření teploty zplodin v mnoha místech kotlů (K7, K10) potvrdila vysoké až nepřijatelné hodnoty. V místech s maximální teplotou a výskytem lomů, byly na dalších vzorcích potvrzeny metalograficky četné interkrystalické mikrotrhliny (creepové W-trhliny), od vnitřní plochy trubky s korozním úbytkem tloušťky stěny.

Poměrně rozsáhlý závěr (kap. 6, str. 131-140) obsahuje souhrn práce, diskuzi některých výsledků, dále zahrnuje nápravná opatření, přínos práce pro daný vědní obor a praxi i doporučení k dalšímu výzkumu. Tento závěr je také přeložen do angličtiny (kap 7, str. 141).

Hlavní příčinou porušení podle autora je nadměrné tepelné zatížení trubek, zrychlující oxidací trubek v prostředí páry v kombinaci s creepovým poškozením. Při poškození trubek může podle podmínek spolupůsobit vodíková koroze, nekorektní úprava vody, nedodržení předepsaného rozmezí pH, koroze hydroxidem sodným.

Seznam použité literatury je omezen na 30 odkazů, obsahuje převážně skripta a technické zprávy, chybí zde citace na zahraniční časopisy i normy, využívané v rámci disertační práce. Výsledky rozborů v experimentální části jsou většinou převzaté z citovaných prací [10, 21, 27].

Publikace autora k tématu disertační práce (r. 2014-2017, počet 6) byly hlavně na konferencích (4 x) a tři jsou zahrnuté do databází (Scopus, Web of Science). Opakovaná citace [10] měla být rozepsána na 8 protokolů, pro upřesnění autorů a konkrétního přínosu studenta.

Disertační práce splnila cíl za pomoci výsledků a poznatků z citovaných prací. Při řešení problému byly zvoleny vhodné postupy z oblasti analýzy poškození.

Na druhé straně, v práci byly opomenuty creepové vlastnosti poškozených trubek z oceli 12022.1 (mez tečení, pevnost při tečení). U rozboru poškození měla být také uvedena mechanické napětí a teploty ve stěnách trubek.

Na základě korektního rozboru poškození trubek výparníku jsou správně doporučena opatření (operativní, strategická, konstrukční) pro zamezení koroze potrubí za účelem zvýšení životnosti a snížení provozních nákladů v praxi. Některá opatření jsou již realizována v teplárně společnosti TAMECH Czech s.r.o. Pro rozvoj vědního oboru má význam rozšíření poznání degradačních procesů kotlových trubek (várníc) za uvedených podmínek.

Disertační práce je napsána přehledně, tabulky mají rozdílné formátování, grafické závislosti a fotografie jsou kvalitní (kromě Obr. 15, str. 31-32). V textu vyskytuje poměrně velký počet drobných chyb (přes 70) - překlepů, chybějících písmen, nesouladu koncovek navazujících slov apod. Příklady formálních chyb anebo opomenutí:

- Na str. 6 u jednotek chybí indexy; str. 9, Tab. 1, obsahy Cu, Cr a Ni mají být max. 0,25%;
- na str. 20 u Obr. 9 je napsáno „Rovnovážný diakram Fe-C“, má být „diagram Fe-C“;
- na str. 23 „v energetických zařízení (?)“, chybí „ch“;
- str. 34 (3. ř., kap. 5.1.4) množství „koncertovaného“ fosforečnanu (koncentrovaného);
- str. 39, 10. ř. zdola – slovo „vyplívající“ (vyplývající);
- str. 44, kap. 5.2 „Fraktografické hodnocení lomových ploch dle ČSN EN ISO 12737 (?) – Stanovení lomové houževnatosti K_{Ic} (jiná norma);
- str. 59, 3. ř. shora „vnitrokrystalického“ štěpného lomu, (interkrystalického), viz str. 58, 68, a 125-129,
- u většiny snímků, slovo „Zvětšeno nX “ mělo být vedle vpravo u popisu obrázků nebo zarovnáno pod popisem;
- str. 101, obr. 104 má být „historických“;
- str. 133, 4. ř. zdola - Mikroskopickým rozbohem bylo „vyvráceno“ creepové poškození trubek“(?), nebo potvrzeno?;
- na str. 136, 4. ř. zdola – „logaritmických“ kroků, (logických);
- str. 134. 4-5 ř. shora „Koroze vodíkem ...způsobila oslabení stěny trubek...., (způsobila trhliny, lomy).

Disertační práce je charakterizována následujícími bibliografickými údaji: textová část s předepsanými náležitostmi obsahuje 155 stran, včetně 139 obrázků a 26 tabulek. Práce je přehledně rozdělena do 11 kapitol, včetně úvodu a závěru, zahrnuje také seznamy zkratk, použité literatury, publikace autora a překlad závěru do angličtiny (10 stran). Teoretická část jako literární rešerše je v rozsahu 35 stran (kap. 3 - 5.1), experimentální část zahrnuje 85 stran (kap. 5.2 -5.3.7). K disertační práci je také přiložena elektronická verze na CD-ROM.


Otázky k obhajobě disertační práce:

1. Jaké jsou hodnoty teploty a mechanická napětí ve stěnách trubek, kde nastává jejich poškození perforací?
2. Jaké jsou hodnoty creepových vlastností (R_T , R_{mT}) oceli 12022 v oblasti poškození trubek?
3. Který materiál je vhodné vybrat pro várnice v oblasti kotle s nejvyšším tepelným namáháním pro zvýšení jejich životnosti?

Závěr

Disertační práce Ing. Roberta Maršála souvisí s řešením problému perforativního poškození kotlových trubek (z oceli 12022) výparníku spalovacích komor parních granulačních kotlů. Zabývá se hlavně vlivy teploty spalin a složení páro-vodního tlakového okruhu na korozi, celkově obsahuje solidní rozbor porušení. Práce zahrnuje výsledky četných analýz chemického složení korozních produktů, metalografické snímky struktury a porušení trubek v provozu. Cíle disertační práce byly splněny a její výsledky přispěly k rozšíření poznatků o poškození kotlových trubek a pro doporučení nápravných opatření. Posuzovaná disertační práce splňuje požadavky a podmínky podle Studijního a zkušebního řádu pro studium v doktorských studijních programech VŠB-TU Ostrava a související předpisy, proto **disertační práci doporučuji k obhajobě i přes uvedené připomínky.**

V Ostravě-Porubě, dne 25.8.2017



.....
doc. Ing. Stanislav Lasek, Ph.D.