

Posudek doktorské disertační práce ing. Roberta Maršála

Studium korozního poškození trubek žárupevného materiálu v energetice

Disertační práce se zabývá studiem korozního poškození trubek ve výparníku spalovacích komor kotlů. Disertační práce je velmi rozsáhlá, cca 160 stran, a obsahuje podrobné experimentální výsledky studia.

Členění práce odpovídá zaměření studie a obvyklému členění disertačních prací.

V Kapitole 2 je stručně popsána funkce kotle se znázorněním režimu ohřevu vody a páry - označení obrázku v textu je opačné.

V Kapitole 3 je uveden souhrn současného stavu problematiky, od složení materiálu trubek, přes lokalizaci místa poruch a jejich fotodokumentaci až po kritéria napájecí vody a primární závěry zjištěné z rozboru stavu poškození trubek. Závažné je konstatování přítomnosti uvolněných iontů mědi. Autor v teoretické části práce používá řadu cizích termínů bez smyslu a některé věty nejsou srozumitelné, nemají správnou gramatiku, chybí slovesa ve větách, chybná pádová shoda, atd.. „*Dá se říci, že na znehodnocení oceli se podílí superpozice degradujícího mechanismu výše uvedených aktivátorů.*“

Kapitola 5 je nesystematicky dělena na jednotlivé podkapitoly. V podkapitole 5.1.1 jsou uvedeny možné korozní mechanismy, nicméně se autor nedržel odborné terminologie podle ČSN ISO 8044 - termíny jako koroze mědi, koroze oxidací (každá koroze je oxidace), vodíková koroze, koroze NaOH, fosfátová koroze, koroze chemickou úpravou vody nejsou správné. Na druhou stranu chybí správné označení některých z uvedených typů korozních mechanismů. Příklad popisovaný jako vodíková koroze nastává pouze za vysokých teplot a tlaků a tato skutečnost tu není vůbec zmíněna.

3.34

vodíková křehkost

proces, který způsobuje snížení houževnatosti nebo tvárnosti kovu v důsledku absorpce vodíku

3.35

puchýřování

proces, jehož výsledkem jsou viditelné vypouklé vady na povrchu předmětu, vzniklé místní ztrátou soudržnosti pod povrchem

3.42

vodíkové praskání

HIC

rovinné praskání vyskytující se v uhlíkových a nízkolegovaných ocelích v důsledku indukovaného napětí, když atomární vodík difunduje do kovu a v místech záchyty se slučuje na molekulární vodík

3.43

vodíkové praskání za napětí

HSC

praskání, které je výsledkem přítomnosti vodíku v kovu a tahového napětí (zbytkového, vnějšího nebo obou)

3.52

vysokoteplotní koroze

korozní koroze za vysokých teplot

korozní koroze působením plynů nebo úsad, která nastává za zvýšených teplot v podmínkách, kdy už kapalné elektrolyty neexistují

3.53

korozí za horka

korozí působením plynů nebo úsad, které v průběhu *vysokoteplotní korozí* (3.52) vytvářejí kapalnou fázi

Popis různých mechanismů korozí je nesystematický, zmatečný, nedorozumí se zavedených klasifikací, míchá dohromady různá korozní prostředí.

Dále jsou v této Kapitole uvedeny popisy mechanických poškození materiálů (5.1.2), technologie úpravy vody v energetice (5.1.3), především fosforečnanem sodným (5.1.4), a chemické režimy v kotlech a jejich vliv na korozní poškození (5.1.5 - 5.1.9). Z kationtů kovů se může významně projevit právě jen měď (5.1.5), a to nejen v kovové formě, ale i v iontové formě. V této Kapitole se projevuje skutečnost, že přestože se předmět studia týká elektrochemických dějů, neabsolvují studenti VŠB-TU Ostrava studující tento obor dostatečné studium chemie včetně nesystematického zápisu chemických vzorců uváděných sloučenin. Absolvent VŠB-TU Ostrava by neměl označovat materiály jako „nerozové“. Věta „Tam kde jsou okruhy zařízení ze slitiny mědi, je omezena koncentrace amoniaku z hlediska korozního působení na měď odzinkování mosazi“ - také nedává smysl, protože při odzinkování mosazi, ať již z označení vyplývá, dochází k úbytku zinku ze slitiny.

Rozhodně nelze souhlasit s tvrzením: *Se zvyšující se koncentrací znečišťujících látek (zejména chloridů) způsobuje jejich přítomnost nízké pH a vzniká nebezpečí vodíkové korozí* (str. 33). Vliv vyšší koncentrace chloridů ve vztahu k pH se projevuje na povrchu oceli, v korozních důlcích, a nikoliv ve vodním prostředí.

Část 5.2 podrobně popisuje metodiku experimentálních prací včetně uvedení norem pro některé zkoušky a metody hodnocení. Ale i v této části se vyskytují nepřesnosti - ČSN ISO 8407 neuvádí postup pro chemickou analýzu tuhých fází, ale předepisuje postup intervalového moření pro stanovení hmotnostních úbytků korozních vzorků. Pro oceli se používá obvykle roztok kyseliny chlorovodíkové, kdy jsou všechny korozní produkty železa rozpuštěny, a není mi jasné, jak by bylo možné dále analyzovat fáze úsad a korozních produktů.

V podkapitole 5.3 jsou uvedeny dosažené výsledky experimentálních prací. Experimentální část disertační práce je velmi pečlivě zpracována: identifikace míst korozního poškození; ploch, kde dochází k iniciaci korozního napadení; popis korozních produktů. Popis je doplněn velmi přesnými fotografiemi a nákresy.

U korozně poškozených trubek byla provedena chemická analýza složení materiálu, zkoušky mechanických vlastností - rázem v ohybu - a vyhodnocení lomových ploch. Zásadním zjištěním byla detekce vyššího obsahu vodíku v materiálu trubky v místě trhlin, což ukazuje na mechanismus korozního poškození trubek. Byly identifikovány rozdílné mechanismy poškození trubek v oblasti svarových spojů a v oblasti ohybů. Velmi kvalitně jsou provedeny metalografické výbrusy dokumentující výskyt mikrotrhlin v oblasti poškození trubek. Spektrální analýza prokázala složení vrstev korozních produktů na vnitřním povrchu trubek s typickým poškozením. Ovšem je rozdíl mezi elektronovým (mikroskopem), který byl použit pro analýzu, a elektronovým (rádiem).

Dále byly hodnoceny i vrstvy úsad a korozních produktů z dalších částí tlakového okruhu. I na těchto površích byl zjištěn výskyt mědi. Jedním z možných zdrojů mědi v systému může být i mazivo Cu 800 WÜRTH.

Velmi náročně zpracování velkého objemu dat z analýz vody a páry ukázalo, že sledované parametry vykazují velký rozptyl, především hodnota pH kotelní vody. Údaje také ukazují, že byly překračovány limity obsahu kyslíku a P_2O_5 .

Studie se kromě analýz korozních produktů na poškozených trubkách, hodnocení mechanismu jejich poškození a analýz napájecí vody, zabývala i měřením teploty různých výškových pásem kotlů K7 a K10 při různých provozních stavech. U grafu na Obrázku 109 chybí jednotky na Z ose. Provedená měření ukazují, že v místech, kde dochází k vyššímu tepelnému namáhání stěn kotlů, může docházet k degradaci materiálu a následně vzniku netěsností. Mikroskopické hodnocení odebraných vzorků z těchto trubek prokázalo přítomnost trhlinek. Z jejich lokalizace bylo usuzováno na lokální přehřátí trubek v důsledku tvorby porézní vrstvy korozních produktů na vnitřním povrchu trubek.

Závěrem studie je konstatování, že příčinou poškození spalovacích kotlů je poškození vnitřních stěn kotlových trubek, kde jsou nejvíce tepelně namáhány. U kotlů dochází k současnému působení dalších faktorů, jako je nevhodné složení napájecí vody v důsledku nevhodného dávkování fosforečnanu vápenatého prostředku. Kromě rozboru příčin poškození kotlů jsou ve studii uvedena i opatření pro omezení vzniku poruch na základě analýzy provozních podmínek. Výsledkem práce je přínos pro technologickou praxi v energetice a již přímo realizované úpravy jednotlivých kotlů.

Podkladová literatura k disertační práci zahrnuje 30 odkazů, převážně česky publikovaných. I když se jedná o dosti specifický problém, existuje dostatek zahraničních publikací, které by bylo vhodné prostudovat.

Téma i cíle disertační práce jsou velmi aktuální, vedou k praktické aplikaci výsledků v technické praxi. Výsledky studia autora byly průběžně prezentovány v 6 odborných příspěvcích v odborných časopisech a na mezinárodních konferencích.

Disertační práce měla jasně vymezený cíl, který byl splněn. Popis experimentů a metod řešení je přesný a dobře doložený fotodokumentací. Použité metody byly adekvátní a přinesly potřebné výsledky. Disertační práce dokumentuje velmi rozsáhou experimentální činnost a přinesla nové velmi zajímavé výsledky, které budou předmětem dalšího výzkumu. Velmi přesné a pečlivě provedené jsou metalografické výbrusy, které dokumentují výsledky zkoumání.

Formální úprava práce je velmi dobrá, přes velký počet obrázků srozumitelná. Jazyková a terminologická úroveň disertační práce je na nižší úrovni než odborná.

Otázky:

- 1) Jako konstrukční opatření je navržena výměna trubek z mědi a slitin mědi za trubky z korozivzdorné oceli. Jaký typ korozivzdorné oceli by byl vhodný?
- 2) Jaký vliv mají odstávky na poškození kotle?
- 3) Jedním z navrhovaných opatření je endoskopická kontrola výparníkových trubek a komor. Lze získat potřebné údaje i jinými metodami?

Disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 29.8.2017

ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.



