

ODVRTANÝ VZOREK Z KRITICKÉ ČÁSTI TLAKOVÉHO SYSTÉMU KOTLE A JEHO INFORMAČNÍ POTENCIÁL

THE INFORMATION POTENTIAL OF DRILLED OUT SAMPLE FROM CRITICAL AREA OF HIGH PRESSURE BOILER PART

Ladislav Horváth ^{a)}, Jakub Horváth ^{b)}, Pavel Konopík ^{c)}, Eva Chvostová ^{c)} a Martin Rund ^{c)}

^{a)} UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, 156 10 Praha – Zbraslav

^{b)} ČVUT FS, Ústav materiálového inženýrství, Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2

^{c)} COMTES FHT a.s. Průmyslová 995, 334 41 Dobřany

Abstrakt

Rozvoj metodik získávání materiálových hodnot pomocí mikrovzorků umožňuje komplexní posouzení kritického místa tlakového systému kotle ze vzorku materiálu, získaného vývrtem. Příspěvek popisuje způsob provedení odběru, získaný vzorek obsahující svarový spoj dvou ocelí a rozsah zkoušek, který vzorek této velikosti umožňuje.

Abstrakt

The development of methodologies for obtaining material values by means of micro-samples enables a comprehensive assessment of the critical area of the boiler pressure system from a sample of material obtained by drilling. The paper describes a method of taking a sample, a sample containing a welded joint of two steels and a range of tests that allows a sample of this size.

Úvod

Stále rostoucí tlak na ukončení provozu kotlů spalujících fosilní paliva bude nutit jejich provozovatele k co nejnižším investicím do výměn částí tlakového celku v době do ukončení jejich provozu a zároveň předejít haváriím, které by k nim přitáhly pozornost investigativních novinářů a ekologických hnutí. Hodnocení zbytkové životnosti u tlakových zařízení, u kterých ocelové části prošly výraznými precipitačními změnami a jsou korozně i creepově poškozené, je bez zjištění skutečných mechanických vlastností degradovaného materiálu velmi nepřesné. To může dokonce způsobit i to, že velikost odhadnuté chyby označí za dožití i takové zařízení, které je možné ještě bezpečně provozovat po dobu v řádu měsíců nebo let. Objem materiálu potřebného pro materiálové zkoušky ovšem velmi často překračuje objem materiálu v místě špiček napětí nebo míst s lokálními extrémy teplot. Výsledky získané na klasických zkušebních tělesech tak velmi často dávají vyšší hodnoty mechanických vlastností, než jsou skutečně v kritických místech. Jedna z cest, která by mohla v této oblasti pomoci je odběr malých objemů materiálu a následné vyhodnocení materiálových vlastností prostřednictvím mikrovzorků. Zvládnutí všech činností spojených s odběrem a vyhodnocením mikrovzorků na úrovni technického servisu pro provozovatele tlakového zařízení má široký prostor využití kromě klasické energetiky u zařízení chemického a petrochemického průmyslu, kde jsou často podmínky provozu výrazně horší než u klasických kotlů na fosilní paliva. Předmětem tohoto příspěvku je popis první části posouzení, tj. popis způsobu odběru vzorku a zpracování programu jeho vyžitelnosti.

Zařízení zvolené pro experiment

Pro odběr vzorku byl zvolen kotel na spalování čpavkových par. Jedná se o zařízení, kde ve spalovací komoře reagují čpavkové páry za přítomnosti katalyzátoru se vzduchem na kysličník dusnatý a vodu. Jedná se o exotermickou reakci, při které se teplota plynu pohybuje okolo 920°C. Takto vzniklý plyn je veden do trubkového výměníku spaliny – voda. Kritickým místem je právě horní trubkovnice, resp. spoj teplosměnných trubek s trubkovnicí. V této oblasti se

jedná o složitý systém, kde hydrodynamické chování vody na spodní části trubkovnice řídí nestacionární teplotní pole jak z pohledu polohy tak i času a výkonu kotle [1], [2]. Přestože se jedná už o třetí obdobné zařízení instalované na stejném místě, nepodařilo se uspokojivě tento kritický uzel, který určuje zbytkovou životnost prakticky celého kotle, vyřešit. Jedním z důvodů je i nedostatek dat o degradačních změnách ocelí v této oblasti. Trubkovnice je z materiálu 1.7335. Teplosměnné trubky jsou z materiálu 1.5415. Detail kritického místa je na obr. 1, charakteristická indikace vady na obr. 2. Modelování procesů pod trubkovnicí na obr. 3.

Zvolený způsob odběru vzorku

Omezující podmínky pro odběr vzorku z kritického místa (nutnost bezpečného uzavření vzniklého otvoru, nepoškození okolních částí, garance tepelného neovlivnění okolí, garance silového neovlivnění okolí) vedly k volbě odvrtání vzorku korunovým vrtákem, odbroušení teplosměnné trubky pod trubkovnicí, její zaslepení u protilehlé trubkovnice a zakolíkování a zavaření otvoru v horní trubkovnici po odebraném vzorku. Po dohodě se specializovanou firmou, která měla vrtání provádět, bylo touto firmou navrženo provést uchycení základu vrtací soupravy k horní části trubkovnice pomocí elektromagnetu, který je součástí soupravy. Trubkovnice je feromagnetická z ocele 1.7335. Vnější průměr vrtáku je dán omezením, podle kterého musí zůstat dostatečná zbytková tloušťka materiálu trubkovnice u okolních vývrtů pro teplosměnné trubky tak, aby bylo možno vzniklý otvor následně zaslepit a zavařit. Svařovací postup pro zaslepení byl schválen výrobcem kotle. Teplota během celého odběru byla měřena dvěma termočlánky typu K, z nichž jeden byl napojen na digitální teploměr a druhý na datalogger (obr. 4).

Velikost vzorku a jeho využití

Odvrtáním vznikne vzorek o rozměrech uvedených na obr. 5. Vzhledem k probíhajícímu reklamačnímu řízení bylo rozhodnuto odvrtaný vzorek rozříznout na dvě poloviny ve směru jeho podélné osy. Jednu polovinu uložit jako svědečný vzorek pro případ zpochybnění výsledků získaných kontrolami provedenými na druhé polovině. Pro polovinu, která byla uvolněna pro materiálové zkoušky byl vytvořen návrh rozřezového plánu a stanovení počtu a typu zkušebních těles, které je možné z odvrtaného objemu vyrobit.

Charakteristiky, které je možné získat vyhodnocením vzorků

Tahové vlastnosti ($R_{p0,2}$, R_m , A_g , A , Z) – zelené vzorky

Základem jsou mikro-tahové vzorky (M-TT) [3], které umožňují popsat rozložení materiálových vlastností jak trubkovnice, tak teplosměnné trubky a díky tloušťce 0,5 mm je možná jejich orientace i napříč tloušťkou stěny. Výhodou pak je jednoznačné určení základních charakteristik (mez kluzu $R_{p0,2}$, mez pevnosti R_m , plastické prodloužení při maximálním zatížení A_g , tažnost A a kontrakce Z) bez nutnosti jakýchkoliv korelačních vztahů (za předpokladu přesného měření síly a deformace opticky pomocí DIC – Digital Image Correlation). Rozměr odvrtaného tělesa dovoluje umístění v podélném a tečném směru. Díky malé velikosti M-TT vzorku lze uvažovat i o umístění a měření vlastností svaru a TOO.

Vrubová houževnatost (resp. KV, FATT) – modré vzorky

Pro vyhodnocení rázové energie (KV), případně vrubové houževnatosti (KCV) a přechodové teploty FATT [4, 5] lze použít miniaturizovaná tělesa pro tříbodový ohyb (4x3x27 mm), známé jako mini-Charpy, příp. tzv. KLST (Kleineprobe). Zde je nutné počítat s posunem chování při přechodu z houževnaté do křehké oblasti, které je ale možno s velkou pravděpodobností predikovat.

Lomová houževnatost (K, J, CTOD) – červené

Parametry lomové houževnatosti (K, J, CTOD) [6] lze měřit tělesy KLST s únavovou trhlinou, případně miniaturizovanými CT tělesy. Zde je dle charakteru šíření trhliny (štěpné, tvárné, přechodové) nutné vhodně interpretovat získané vlastnosti ve vztahu ke standardním tělesům. Variantně by bylo možné uvažovat i o popsání závislosti mezi přírůstkem únavové trhliny v tělese (da) pro určitý přírůstek cyklů (dN) jakožto funkci rozkmitu faktoru intenzity napětí (delta K). Pro tyto zkoušky (tj. zkoušky šíření únavové trhliny) se používají miniaturizovaná CT tělesa. Tato měření se nyní nachází ve finální fázi vývoje.

Únava (mez únavy, Wöhlerova křivka, Manson-Coffinova křivka) – fialová

Miniaturizovaná tělesa pro VCÚ (vysokocyklová únava) jsou v rozřezovém plánu a pro NCÚ (nizkokyclová únava) se používají obdobná, ale s paralelní délkou tělíčka [7]. Metodika zkoušení se neliší od standardních zkoušek, ale je nutné mít správně navržený měřicí řetězec (vhodné uchycení, sousost, pro NCÚ měření deformace pomocí DIC).

Korozní hodnocení a analýza seškrabů

Vyhodnocení také předpokládalo posouzení korozního napadení na úrovni mikroskopie a provedení RTG strukturních analýz seškrabů, materiálů trubkovnice, trubky a svaru.

Metalografické hodnocení a měření mikrotvrdostí

V rámci vyhodnocení vzorku se předpokládalo i metalografické (světelná i elektronová) vyhodnocení strukturního stavu a popis svarového spoje včetně měření mikrotvrdostí přes svarový spoj.

Závěr

Byl připraven a technicky zajištěn poměrně široký soubor experimentálního zjištění materiálových charakteristik a stavu korozního poškození. V současné době probíhá diskuse s výrobcem kotle, na základě které, může ještě dojít ke změnám navrženého rozsahu zkoušek. Základním sdělením tohoto příspěvku je informace o tom, že odběr materiálu pro výrobu mikrovzorků i následné zkoušky se posunuly z oblasti výzkumu do kategorie servisních činností pro provozovatele zařízení.

Poděkování

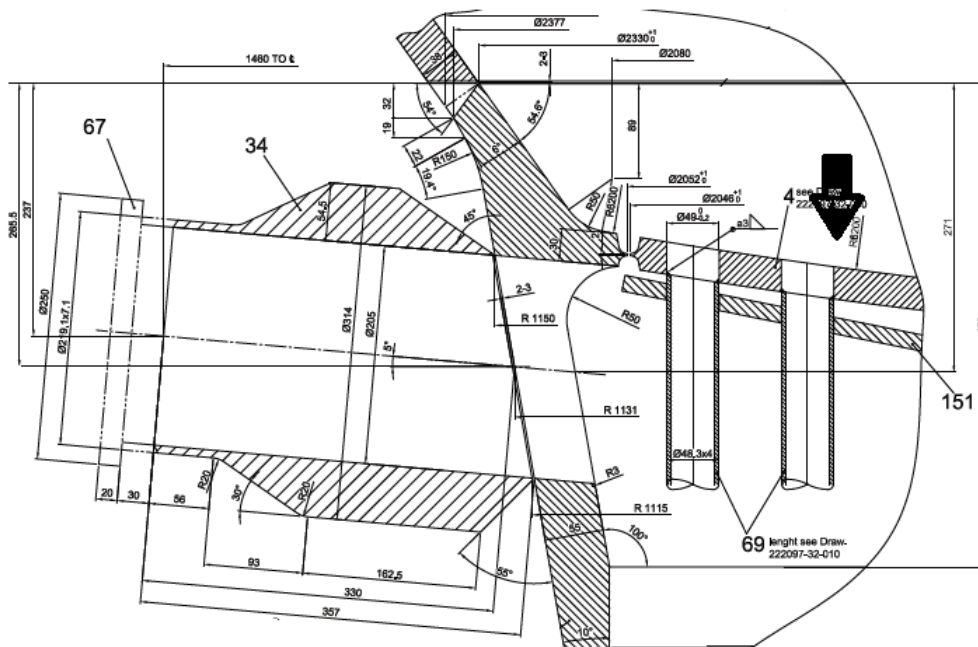
Práce byly řešeny s finanční podporou MPO, Projekt FV40166 „Hodnocení degradovaných ocelí pro stavbu turbín a přehříváků elektrárenských kotlů pro potřebu predikce zbytkové životnosti a lokálních oprav“.

Literatura

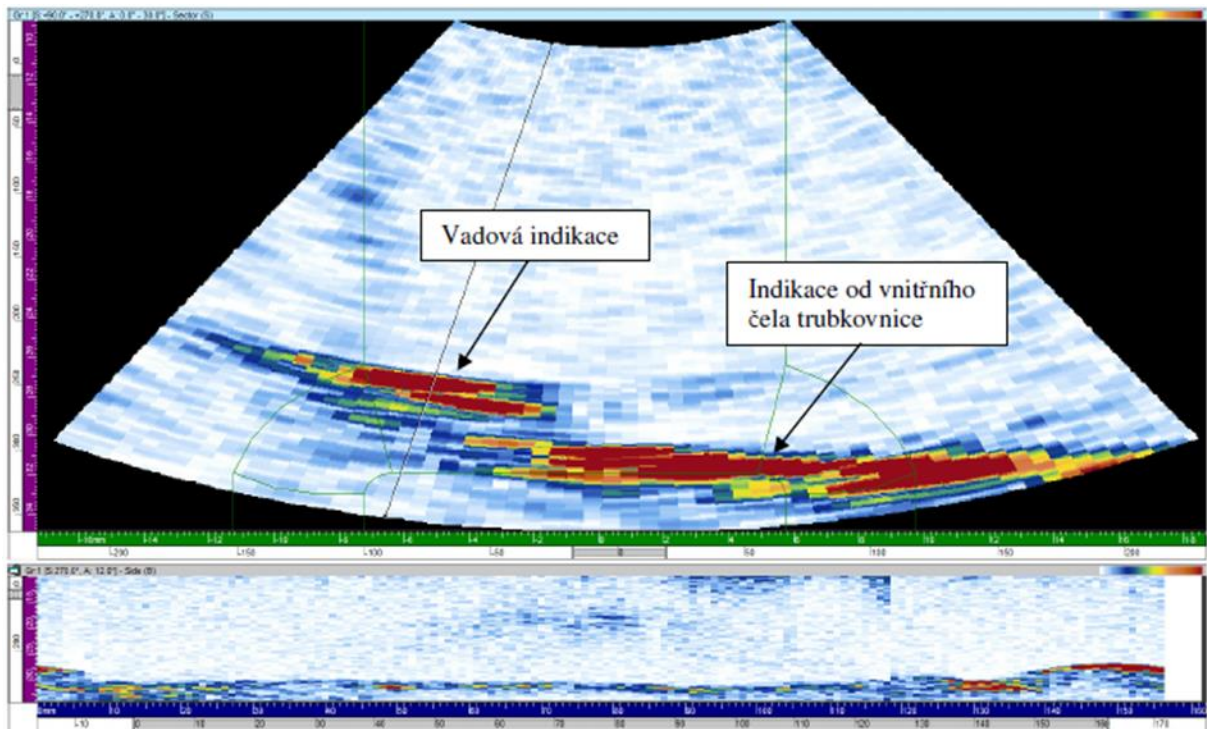
- [1] Hrivňák, I. (26. 2. 2002): *Materiálový rozbor teplovýmenej rúrky z vyvíjača pary KD3, kotol 107*. Technický dopis Katedry materiálového inžinierstva Materiálovotechnickej fakulty STU, Trnava.
- [2] Horváth, J., Horváth, L. (2019): *Podklady pro zadání soudně znaleckého posudku na zjištění příčiny vzniku netěsností mezi trubkovnicí a trubkami výměníku E3204 kotle KD6*. Zpráva, 1012-S771-19.3.2019, VAMET, s.r.o., Praha.
- [3] Džugan, J., Procházka, R., Konopík, P. (2015): *Micro-tensile test technique development and application to mechanical property determination*. STP1576-EB Small Specimen Test Techniques: 6th Volume, pp. 12-30.
- [4] Konopik, P., Džugan, J., Procházka, R. (2013): *Evaluation of local mechanical properties of steel weld by miniature testing technique*. Materials Science and Technology Conference & Exhibition 2013, Vol. 4, pp. 2404-2411. ISBN 978-0-87339-762-9
- [5] Konopik, P., Džugan, J., Bucki, T., Rzepa, S., Rund, M., Procházka, R. (2017): *Correlation between standard Charpy and sub-size Charpy test results of selected steels*

in upper shelf region, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 179, paper 012039, doi: 10.1088/1757-899X/179/1/012039.

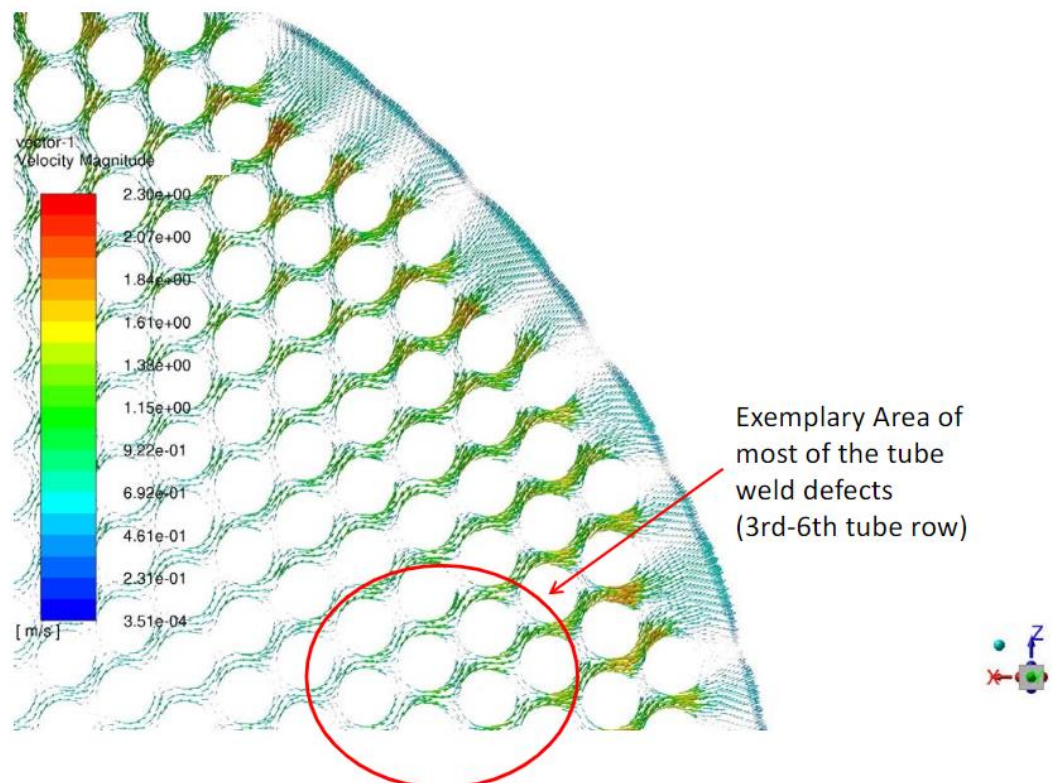
- [6] Konopik, P., Dzugan, J., Rund, M. (2015): Determination of Fracture Toughness in the Upper Shelf Region Using Small Sample Test Techniques. *Proceedings of 24th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2015*, TANGER Ltd., Brno, CD-ROM. ISBN 978-80-87294-58-1
- [7] Prochazka, R., Dzugan, J., Konopik, P., Rund, M. (2017): Investigation of High Strength Stainless Steel Using Small Specimen Test Techniques – Tensile and Fatigue Properties. *Proceedings of the 7th International Conference on Mechanics and Materials in Design M2D2017*, FEUP-INEGI, Albufeira (Portugal), USB flash drive (pp. 191-202). ISBN 978-989-98832-7-7
- [8] Steuten, B., Vogt, A. (2019): *Report CFD Investigation*, Document, 222096A-70-001-DB590, ARVOS GmbH Germany.



Obr. 1: Detail kritického místa



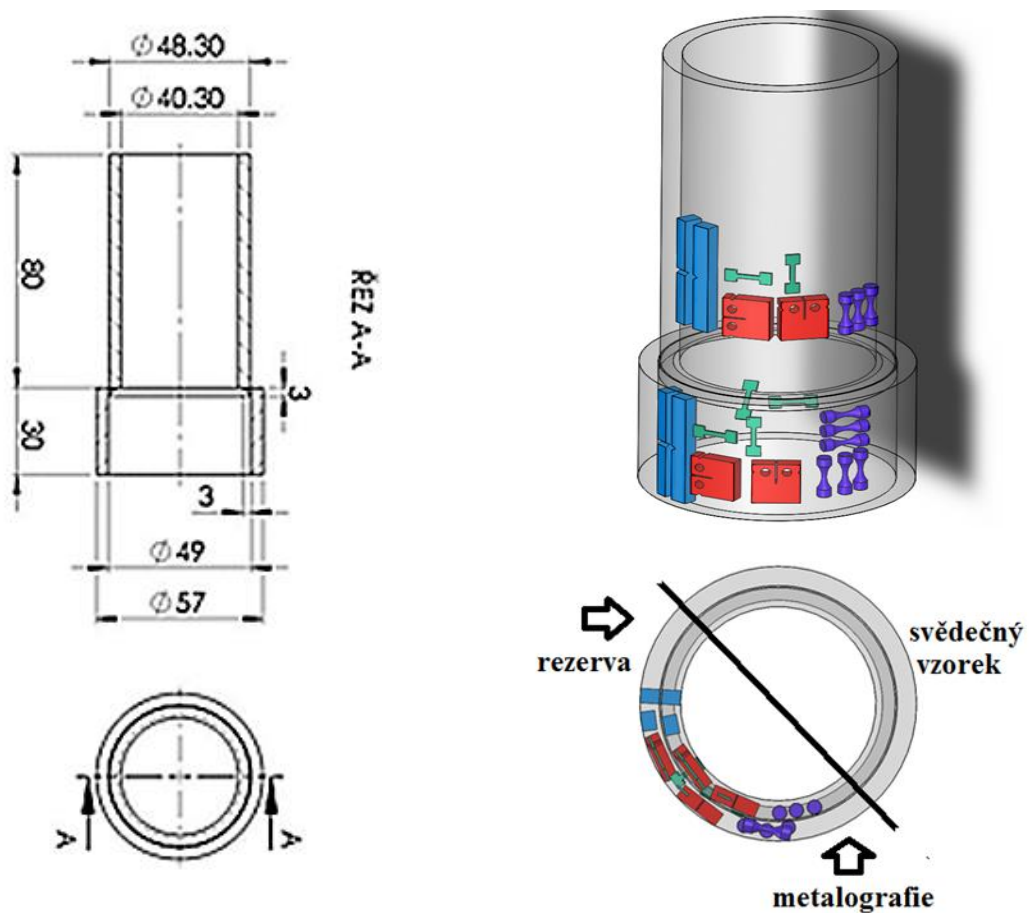
Obr. 2: Phased Array kontrola svarů teplosměnných trubek s trubkovnicí s vyznačením vadové indikace



Obr. 3: Modelování rychlostního pole pod trubkovnicí [8]



Obr. 4: Vyznačená plocha vývrty, použitý vrták a místo vývrty osazené termočlánky



Obr. 5: Vytěžitelnost získaného objemu materiálu