

OPONENTSKÝ POSUDEK

Disertační práce: Ing. Jakub HORVÁTH, IWE

**Obor- materiálové inženýrství
Fakulta strojní ČVUT v Praze, Ústav materiálového inženýrství**

Disertační práce se zabývá vysoce aktuálním tématem vlivu teplotního zatížení na strukturní a potažmo mechanické změny komplexně legovaných austenitických ocelí vybraných ze skupiny nových materiálů a v ČR použitých u elektrárenských kotlů. Od konce osmdesátých let 20. století probíhá v celosvětovém měřítku intenzivní vývoj v oblasti energetických zařízení, jehož hlavním cílem je nárůst účinnosti tepelných elektráren. Toho lze dosáhnout použitím tzv. nadkritických 600°C, 260barů) až ultra-super-kritických (nad 300barů a nad 600°C) parametrů páry. Realizaci zařízení pracujících při těchto teplotách mají umožnit nově vyvíjené ocele a niklové slitiny, které budou mít po celou dobu plánované životnosti požadované mechanické, korozní a creepové vlastnosti. Problém, na který je zaměřena tato práce, je požadavek na dobu životnosti a mechanické vlastnosti z pohledu lomové mechaniky, jehož popis se objevuje v literárních pramenech z posledních několika málo let, které konstatují prudký pokles nárazové práce u ocelí SUPER 304H a 347HFG po relativně velmi krátkých dobách pracovní teplotní expozice.

Vlastní cíl disertační práce je v práci uveden v kap. 3 a navazuje na velmi přehledně zpracovaný úvod do problému včetně shrnutí dostupných literárních údajů, ze kterého plyne i logika volby hodnocených ocelí. Cíle práce jsou definovány jasně, jednoznačně a logicky na sebe navazují. Jednotlivé cíle směřují k dosažení hlavního cíle práce, kterým je popis kinetické funkce vzniku sigma fáze v oceli SUPER 304H.

Disertační práce je napsána v předepsaném rozsahu, zahrnujícím 120 textových, obrázkových a tabulkových stran. Následný přehled použité literatury uvádí 60 titulů. Hodnotná a rozsáhlá je vlastní publikační činnost s 21 tituly včetně 3 impaktovaných publikací, 3 WoS a Scopus publikací. Jedná se zejména o zahraniční publikace.

HORVÁTH, Jakub, Petr KRÁL a Jiří JANOVEC. The Effect of Sigma-Phase Formation on Long-Term Durability of Welding Joints in SUPER 304H Steels. *Acta Physica Polonica A*. Warsaw, 2016, 130(4), 960-962. ISSN 0587-4246

HORVÁTH, Jakub, Petr KRÁL, Jiří JANOVEC a Václav SKLENIČKA. THE EFFECT OF SIGMA-PHASE FORMATION ON LONG-TERM DURABILITY OF SUPER 304H STEEL. *METAL 2015: 24TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON METALLURGY AND MATERIALS*. Brno, CZECH REPUBLIC: Tanger, 2015, s. 505-510. ISBN 978-80-87294-62-8

Členění disertační práce je standardní. Teoretická část práce spolu s literárními rešeršemi zaujímá úvodní 2 kapitoly. Navazující třetí kapitola definuje cíle práce, a to na základě předchozích kapitol. Ve 4. kapitole na str. 48 začíná vlastní experimentální část práce. Každá experimentální činnost je uvedena úplným popisem, který umožňuje experiment kdykoli a kýmkoliv zopakovat. Sumarizace experimentálních dat, získaných a publikovaných autorem v chronologickém pořadí podle postupu experimentů, ukazuje i na velký objem provedených prací. Velká pozornost je v práci věnována vlastní identifikaci sigma fáze, potvrzení shody s tabulkovým modelem a popisu morfologie jejího vzniku. Následně provedená korelace, s postupem identifikace sigma fáze optickou mikroskopií prováděnou po barevném leptání,

umožnila a ospravedlnila použití optické mikroskopie pro kvantifikaci obsahu sigma fáze a následnému vyhodnocení kinetiky precipitace sigma fáze.

Vytvořené precipitační křivky pro žíhaný i nežíhaný stav materiálu doplněné matematickou interpretací rozvoje plošného podílu sigma fáze v mikrostruktúře i kinetická rovnice, získaná jako časová derivace rovnice popisující plošný podíl, jsou původní získané závislosti, popisující precipitaci sigma fáze, což je naplněním jednoho z cílů disertační práce. Dokumentace vlivu nárůstu sigma fáze na mechanické vlastnosti byly doloženy u oceli SUPER 304H komparací experimentálně stanovených hodnot pro výchozí stavy a stavem po expozici 20 000 hodin při teplotě 675°C izotermického laboratorního žíhání

Zásadní přínosy disertační práce vidím v tom, že precipitační rovnice sigma fáze, získaná měření na oceli SUPER 304H, byla na základě toho, že se jedná o tepelně aktivovaný děj řízený difuzí modifikována na ocel Tp347HFG a ověřena na základě měření na teplotně exponovaných vzorcích této oceli. Tento provedený krok umožňuje inverzní použití výsledků pro obě ocele, tj. SUPER304H i Tp347HFG. jako hodnotící křivky převádějící nerovnoměrný provoz energetického bloku (odstávky, najíždění, teplotní výkyvy) na stabilní teplotu, která by způsobila stejnou degradaci. Vstupem by tak byla naměřená data obsahu sigma fáze z výřezu z přehříváku. Tato změřená hodnota se porovná s křivkou vzniku sigma fáze a jako výsledek vyjde teplota, která by stejnou degradaci způsobila při konstantním působení. Tato teplota je už přímo aplikovatelná do hodnocení zbytkové životnosti. Díky v práci doložené možnosti použít ke kvantifikaci sigma fáze ve struktuře pouze světelnou mikroskopii tak byl prací vytvořen velmi silný nástroj pro provozovatele zařízení z oceli SUPER 304H a Tp347HFG k predikci zbytkové životnosti těchto zařízení s obecně dostupným vybavením.

Z hlediska přínosů práce bych vyzdvihl ještě shrnutí možných aplikací výsledků práce, provedené v kap.6.

Jako oponent při hodnocení disertační práce konstatuji i slušnou kvalitu grafického provedení. Také textová část disertační práce je i přes zanedbatelné překlepy zpracována přijatelnou technickou angličtinou. Překlepy nemají žádný podstatný vliv na obsahovou náplň disertační práce, a proto uvádím jen následné připomínky ve snaze pro bližší osvětlení následujících nejasností:

- 1) Můžete pro obrázek 73 na straně 62 a odpovídající spektra na obrázku 74 vysvětlit jejich minimální rozdíl, přestože měřené částice na snímku vykazují prokazatelně jinou morfologii?
- 2) Jakým způsobem byl získán plošný podíl sigma fáze prezentovaný v tabulce 16 na straně 65?
- 3) V práci je uvedeno, že do oceli SUPER 304H je legována měď za účelem zvýšení žáropevnosti dané oceli. Může se autor vyjádřit k mechanismu nárůstu žáropevnosti a jak vysvětluje pozorované částice mědi na snímcích 85 a 89?
- 4) Pro matematickou úpravu obsahu precipitující sigma fáze je uvedena matematická aproximace v rovnici 14 potažmo rovnici 15, která nemá jednoduché matematické řešení. Jaká je přesnost této aproximace a jak byly vypočteny hodnoty v tabulkách 22 a 23?

Předložená práce řeší velice aktuální téma s přímou vazbou na provoz nového bloku / elektrárna Ledvice / a komplexně obnovených energetických bloků / elektrárna Tušimice II a Elektrárna Prunéřov II /, které tvoří základ české klasické energetiky. Výsledky práce jsou zpracovány tak, že jsou přímo použitelné provozovateli těchto zařízení.

Ze souboru prezentovaných poznatků vyplývá, že:

- Doktorand splnil stanoveného cíle, zejména hlavní cíl, kterým bylo stanovení kinetiky precipitace sigma fáze v oceli SUPER 304H. Pro popis precipitace byl použit měřený plošný podíl sigma fáze. Takto získaná data byla popsána matematickou rovnicí exponenciálního rozvoje. Pro popis kinetiky vzniku sigma fáze byla stanovena rovnice jako časová derivace matematického popisu vzniku sigma fáze. Tímto krokem je popsána i rychlost vzniku sigma fáze. Na základě Fickových zákonů rovnic difuze a popisu LMP parametru byla sestavena metodika pro přepočet precipitující sigma fáze pro ocel Tp347HFG.
- Praktický přínos disertační práce převažuje nad přínosem teoretickým, i když i ten není zanedbatelný, neboť odvození kinetické rovnice je původní.
- Použité metody řešení se jeví jako racionální a přímo související s dosažením vytyčených cílů
- Poznátky disertační práce jsou beze zbytku aplikovatelné pro hodnocení zbytkové životnosti tepelně namáhaných zařízení a ukazují na to, že precipitační změny mohou vést k technickému dožití trubkových teplosměnných ploch elektrárenských kotlů dříve než creepové dožití.
- Doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru
- Formální úroveň práce se mi jeví velmi dobrá

Celkové zhodnocení

Práce má velmi dobrou odbornou i formální úroveň a plně využívá špičková experimentální zařízení, aniž by je využívala samoučelně. Předkládá řadu původních poznatků ve studijním oboru materiálového inženýrství – degradace komplexně legovaných žárovevých austenitických ocelí. Kromě teoretického přínosu disertační práce ve formě odvození kinetického modelu precipitace sigma fáze, představujícího nový výsledek, je též podstatné přímé nasměrování na praktické využití výsledků disertační práce.

Předložená disertační práce splňuje všechny požadavky kladené na tento typ prací, doporučuji proto přijmout ji jako podklad k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit panu Ing. Jakubu Horváthovi, IWE vědeckou hodnost Ph. D. v daném oboru.

Prof. Ing. Karel Hrbáček, DrSc.

V Brně 7.10.2018