Oponentský posudek disertační práce Ing. Jakuba Horvátha, IWE „Strukturní stabilita creepově odolných austenitických ocelí SUPER 304H a Tp347HFG

Předkládaná disertační práce je věnovaná studiu změn strukturního stavu austenitických ocelí SUPER 34H a Tp347HFG. Tyto oceli byly v relativně nedávné době vyvinuty především pro použití v tepelných elektrárnách pracujících s vyššími provozními parametry. Některé otázky spojené zejména s jejich strukturní stabilitou při dlouhodobé exploataci nejsou vyčerpávajícím způsobem vyřešeny. Práce si klade za cíl popsat procesy precipitace σ fáze u obou ocelí, modelovat kinetiku precipitačního procesu na základě chemického složení a fyzikálních zákonů a korelovat model s experimentálně získanými údaji kvantitativně popisujícími precipitaci σ fáze.

Přes veliké úsilí získávat elektrickou energii pomocí obnovitelných zdrojů, tepelné elektrárny stále zůstávají a i v budoucnosti budou v energetické soustavě nepostradatelné. Celosvětové úsilí je proto zaměřené na zvýšení jejich účinnosti, se silným zřetelem na ekologické aspekty jejich provozu. Jednou z možných cest jak zvýšit účinnost tepelných elektráren je zvýšit provozní teplotu a tlak páry. Tato snaha však také klade vyšší požadavky na používané materiály. Z výše uvedených důvodů je téma disertační práce aktuální a dobře zvolené.

Práce je členěna do šesti kapitol, v závěrečné části jsou připojeny bibliografické údaje. Po poměrně rozsáhlém úvodu, ve kterém jsou shrnuty důvody a motivace řešené problematiky, následuje teoretická část. V první kapitole teoretické části (kap. 2.1.) se autor věnuje obecné problematice creepu a creepové odolnosti ocelí s podrobnějším zaměřením na astenické oceli používané při vyšších provozních parametrech. Součástí této kapitoly je také problematika strukturního stavu těchto ocelí s podrobnějším rozborem precipitace σ fáze. V souladu se zaměřením práce jsou v následující části (kap. 2.2 a částečně kap. 2.3) popsány creepové a mechanické vlastnosti slitiny SUPER 304H a Tp 347HFG a současně uvedeny poznatky o precipitačních pochodech probíhajících ve slitinách při jejich tepelné exploataci. Závěrečná kapitola teoretické části je věnována problematice modelování precipitačních procesů v uvedených austenitických ocelích. Teoretická část práce se opírá o přiměřený rozsah prostudované, vesměs nejnovější, literatury. Správné zaměření a její přehledné zpracování svědčí o pečlivé teoretické přípravě doktoranda před samotnou experimentální prací a je dobrým základem pro kritický rozbor dosažených výsledků.

Cíle disertační práce jsou v kap. 3 formulované výstižně ve čtyřech jasných bodech.

V kapitole 4 autor popisuje detaily týkající se chemického složení a mechanických vlastností studovaných ocelí, způsobu izotermického žíhání zkušebních vzorků, přípravy metalografických výbrusů a popisu metod studia jejich struktury. Pro studium struktury byla použita světelná

mikroskopie, řádkovací elektronová mikroskopie spolu s energiově disperzní analýzou (EDS) a difrakcí zpětně odražených elektronů (EBSD). Pro určení mechanických vlastností byly použity zkouška v tahu a Charpyho zkouška rázem. Z popisu aplikované experimentální techniky je patrný rozsáhlý repertoár použitých experimentálních metod, které autor zvládl a následně vhodně aplikoval nejen pro kvalitativní popis struktury, ale v rozhodující míře pro její popis kvantitativní.

Rozhodující část kandidátské disertační práce leží ve výsledcích vlastních experimentů a jejich diskusi, které jsou obsahem druhé poloviny práce. Počáteční kapitoly (kap. 5.1.1 – 5.1.3) jsou věnovány výsledkům mikroskopických metod identifikace σ fáze, popisu jejich morfologie a určení korelace mezi pozorováními elektronové a světelné mikroskopie. Výsledky studia pak umožňují pomocí obrazové analýzy kvantifikovat kinetiku σ fáze a matematicky popsat závislost růstu objemového podílu σ fáze na Larson-Millerově parametru. Uvedené výsledky mikroskopického studia jsou stručným výběrem výsledků z publikací citovaných v kandidátské práci pod čísly 50 až 53, kterých je doktorand prvním autorem, resp. spoluautorem. V uvedených publikacích jsou jistě ucelenější informace, v oponované práci však postrádám například údaje, které z leptadel bylo použito ke zviditelnění fází. Pro kvantitativní hodnocení, ale i pro identifikaci fází, je tato informace důležitá, zejména když některá z leptadel σ fázi rozpouštějí. Výsledky mechanických zkoušek, doplněné o fraktografickou studii, prokazují pokles meze kluzu a tažnosti a výrazný pokles vrubové houževnatosti v důsledku precipitace σ fáze. V závěrečné části práce (kap. 6) jsou diskutovány dosažené experimentální výsledky, odvozeny a experimentálně verifikovány parametry získané modelováním kinetiky precipitace na základě chemického složení slitin a difúzních zákonů. Závěry práce vystihují dosažené výsledky a jejich diskusi.

Po formální stránce je práce velmi pečlivě vypracovaná, obsahuje jen minimum drobných chyb:

- str. 26, tabulka 5 …….je uveden C místo Cr
- str. 49, poslední řádek ….schází jednotka u doby izotermického žíhání
- některé obrázky převzaté z literatury jsou obtížně čitelné (obr. 24, 46b, 74), na obr. 92 neukazují šipky k částicím, které mají označovat.

K práci mám několik dotazů:

- Plošný, tj. i objemový podíl částic σ fáze v závislosti na Larson - Millerově parametru je vyjádřen exponenciální křivkou vykazující neustálý růst objemového podílu. V průběhu růstu objemového podílu během izotermického žíhání musí docházet k nasycení. Jak si vysvětlujete tuto závislost?

- Podle výsledků se σ fáze objevuje až po precipitaci karbidů $M_{23}C_6$ a tvoří se transformováním těchto precipitátů. Jak velká je inkubační doba, tj. počátek tvorby σ fáze a mohla by tato doba ovlivnit zjištěné kvantitativní závislosti plošného podílu na Larson - Millerově parametru?

- Poslední otázka je spíše do obecné diskuse, ale kladu ji hlavně proto, že doktorand pracuje také jako pedagog. V práci je používán pojem optická mikroskopie (optical microscopy). Domnívám se, že logický a správný název je světelná mikroskopie, resp. světelná optická mikroskopie – i elektronová mikroskopie má optiku.

Závěr

Předložená disertační práce je na dobré úrovni, prokazuje, že doktorand má velmi dobré znalosti ve studované problematice a je schopen samostatné tvůrčí vědecké činnosti. Cíle vytčené při řešení problematiky byly v plném rozsahu splněny a podle mého názoru význam předložené práce je nejen z pohledu vědeckovýzkumného, ale má i praktický přínos v tom, že přináší nové poznatky o možné degradaci vlastností studovaných ocelí při jejich dlouhodobém provozu. Doporučuji proto práci k obhajobě.

V Praze 12. října 2018

doc. RNDr. František Hnilica, CSc.