

## Oponentní posudek diplomové práce

**Jméno studenta:** Marek Melzer – S17N0048P

**Název práce:** Vliv cyklického zatěžování při vysokých teplotách na žárovevné vlastnosti a mikrostrukturu oceli COST F

**Oponent diplomové práce:** Doc. RNDr. Josef Kasl, CSc. FEng.

Tématem hodnocené diplomové práce je studium vlivu cyklického zatěžování (únavy) a kombinace cyklického a statického (creepu) zatěžování při teplotě 600 °C na změny mechanických vlastností a struktury u žárovevné oceli X14CrMoVNbN10-1 (COST F) používané zejména pro výrobu rotorů parních turbín.

Práce je rozdělena na 16 částí. Po obecném úvodu obsaženém v kapitole 1 jsou kapitoly 2 až 6 věnovány teoretickému rozboru problematiky. Část 7 popisuje cíle práce a návrh experimentálního programu. Jako cíl práce je deklarováno ověření stability precipitátů během dvou typů experimentů popsanych v části 9 a 10. Dále následuje popis postupu prováděných činností. Osmá část je věnována experimentálnímu materiálu. Kapitola 9 je zaměřena na popis únavových zkoušek při teplotě 600 °C. Byly provedeny únavové zkoušky s řízenou deformací, a to do 25 %, 50 % životnosti a do lomu s amplitudou deformace 0,3 a 0,4 %. Z textu není zcela jasné, kolik vzorků bylo zkoušeno („sada“). Čtyři z nich byly vybrány k dalším rozborům. Kapitola obsahuje i výsledky fraktografického rozboru dvou vzorků zkoušených do lomu. Část 10 je zaměřena na popis experimentu kombinace únavového a creepového zatěžování. Zkoušeny byly dva vzorky, u nichž po jednom zátěžovém dynamickém cyklu následovalae výdrž při konstantním napětí po dobu 10 minut. Vzorky se lišily tím, že jednou probíhalo statické zatížení v tahu a podruhé v tlaku. V této části je uveden snímek z ŘEM dokladující přítomnost kavit na hranicích latěk/subzrn. Spekulativně se vyvozuje další lomové chování materiálu. Kapitola 11 je zaměřena na měření tvrdosti výchozího stavu a šesti vzorků vybraných k dalším rozborům. Kapitola 12 je věnována metodice kvantitativního hodnocení částic sekundárních částic pomocí ŘEM za využití zobrazovacího signálu sekundárních a odražených elektronů (zřejmě v modu COMPO). V této části nejsou zcela důsledně definovány všechny veličiny. Výsledkem ED mikroanalýzy bylo konstatování, že v materiálu byly nalezeny částice karbidů typu  $M_{23}C_6$  bohaté na chróm a hrubší primární karbidy NbC. Částice Lavesovy fáze ( $Mo_2Fe$ ) nebyly detekovány. Hlavní část práce je obsažena v kapitole 12, která se zabývá kvantitativním hodnocením změn několika velikostních parametrů částic karbidů typu  $M_{23}C_6$ . Výsledky jsou pro měřené vzorky prezentovány řadou distribučních křivek/histogramů jednotlivých parametrů. Zjištěné výsledky jsou shrnuty v tabulce 13 a na obr. 36. Bylo prokázáno, že ekvivalentní průměr částic  $M_{23}C_6$  po únavových zkouškách vzrostl oproti výchozímu stavu (o 11 až 33 %). Ještě vyšší nárůst byl nalezen pro kombinaci zatěžování únava plus creep v tahu (44 %). Oproti základnímu stavu došlo po zkouškách k poklesu počtu částic. Volba šířky velikostní třídy v histogramech neměla na výsledky podstatný vliv. Kapitola 14 je věnována diskusi. Kapitola 15 pak shrnuje zjištěné výsledky a kapitola 16 obsahuje literární odkazy (celkem 27 citací).



Formální vlastnosti práce: práce je logicky a přehledně strukturována. Nicméně obsahuje obrovské množství překlepů, gramatických chyb (zejména čárky v souvětích) a nejednotnosti v zápisech (veličin a jejich jednotek, citací, obrázků a tabulek). U některých tabulek je špatné číslování v textu. Tyto chyby jsou koncentrovány zejména v teoretické části, nicméně vyskytují se v celé práci. Rovněž se vyskytuje velké množství stylistických neobratností. V práci (str. 7 – 9) se používají poněkud kuriózní termíny popisující zejména části rotoru a lopatek parní turbíny. Zjevně vznikly mechanickým překladem z anglického jazyka. Příště by bylo dobré tyto termíny konzultovat s někým, kdo tuto terminologii ovládá.

K práci mám další následující připomínky a z nich případně vyplývající otázky:

- a) „Teoretická část“ obsahuje jen jeden odkaz na zkoušenou ocel COST F. Neexistuje další dostupná literatura pro tuto ocel zejména s ohledem na únavové zkoušky a creep? **(Otázka 1)**
- b) V teoretické části postrádám přehled současných představ a modelů pro popis kombinovaného zatěžování žáropevných ocelí creepem a únavou – nosnému tématu práce. Jeden odstavec vztažený k popisu jednoho experimentu je zcela nedostatečný.
- c) Proč byly zvoleny amplitudy deformace 0,3 a 0,4 %? Jaký mod porušování se předpokládal? **(Otázka 2)**
- d) Výsledky fraktografického rozboru jsou velmi stručné. Není vysvětleno, do jaké míry popis lomových ploch ovlivnila jejich oxidace. Obr. 16b spíše upomíná pseudokřehké transkrystalické porušování, obr. 19b by mohly být vyvinuté masivnější striační linie tvárné separace. Oba mechanismy se mohou u tohoto typu oceli na lomové ploše při únavovém zatěžování vyskytovat; závisí na délce trhliny od ohniska resp. na hodnotě součinitele intenzity napětí v dané poloze. Pro dokumentované snímky tento parametr není uveden. Rovněž není jasné, zda na lomové ploše byly nalezeny projevy kavitačního poškození, tj. zda porušování probíhalo čistě v únavové části nebo v přechodové části. **(Otázka 3)** Čistě creepová oblast zřejmě nepřichází v úvahu.
- e) Na str. 28 je uvedeno, že únavové zatěžování probíhalo s asymetrií cyklu  $R = -1$  (viz též obr. 20). Z obr. 22 je patrné, že tlaková a tahová napětí jsou pro pozdější cykly rozdílná. Neplatí tedy již, že  $R = -1$ . Správně mělo být v textu i na obr. 20 uveden parametr asymetrie deformace  $R_e$ . Jak si vysvětlujete toto chování? **(Otázka 4)**
- f) Na obr. 21 jsou uvedeny příklady kavít. Jaká byla hustota kavít a jejich orientace v materiálu? Nemůže jít o artefakt vyvolaný elektrolytickým leštěním vzorku? Potvrdila se jejich přítomnost na lomových plochách? **(Otázka 5)**
- g) Jak vysvětlujete zjištěné rozdíly v tvrdosti nalezené pro vzorky zatěžované únavou a creepem v tahu a v tlaku? **(Otázka 6)**
- h) Při realizaci tzv. zrychlených creepových testů (ACT) provedených kombinací nízkocyklové únavy a relaxace materiálu při teplotě 600 °C a při amplitudě napětí 400 MPa při dobách řádově hodiny (v posuzované diplomové práci doba exploatace několik dní) byla v materiálu oceli F (na identickém vzorku, jaký byl použit v DP) detekována přítomnost jemných částic Lavesovy fáze. Jaké je vysvětlení pro nepřítomnost Lavesovy fáze v experimentu v rámci diplomové práce? **(Otázka 7)**
- i) K závěru (kapitola 15) je možné uvést, že obsahuje z podstatné části jen zopakování toho, co bylo provedeno. Skutečné závěry jsou obsahem jen dvou krátkých odstavců konstatujících naměřená fakta, avšak nikoliv jejich interpretace.
- j) Jaké konkrétní poznatky přinesly výsledky práce pro provoz rotorů parních turbín (jejich částí) vyrobených z oceli COST F. **(Otázka 8)**

**Závěr:**

Diplomant splnil zadané práce a dosáhl předepsaného cíle. Na vypracování diplomové práce vynaložil jistě značné úsilí a prokázal, že je schopen orientovat se v dané problematice a řešit základní výzkumné problémy. Nedostatkem práce je velmi velké množství formálních chyb a určitá neobratnost při komplexním zpracování a formulaci výsledků. Po správném zodpovězení vznesených dotazů při obhajobě práce během státních závěrečné zkoušky navrhuji klasifikaci:

Navrhovaná výsledná klasifikace (*nehodící škrtněte*)

~~výborně~~  
~~velmi dobře~~  
~~dobře~~  
~~nevyhovět~~

Místo, dne: Plzeň, 2.6.2019

Podpis: