

## Posudek na disertační práci

Autor práce: **Ing. Petr DUCHÁČEK, IWE**  
Název práce: **Materiálové vlastnosti heterogenních svarových spojů pro energetiku**  
Školitel: Doc. Ing. Jiří Janovec, CSc., ČVUT - FS, ÚMI  
Konzultant: Ing. Marie Svobodová, Ph.D., UJP Praha, a.s.  
Oponent: Doc. Ing. Jan SIEGL, CSc., katedra materiálů ČVUT - FJFI,

### Obsah a cíle práce

Autor se ve své disertační práci zabýval vlastnostmi heterogenních svarů dílců energetických zařízení. Provozní spolehlivost a životnost těchto spojů je jedním ze základních parametrů, předurčujících bezpečný provoz těchto energetických zařízení. Pozornost byla zaměřena především na studium a hodnocení degradačních procesů heterogenních svarových spojů a po jak v klasických, tak jaderných elektrárnách.

V poměrně rozsáhlé rešeršní části disertační práce (47 stran) uvádí autor souhrn stávajících informací o vlastnostech vybraných materiálů používaných v energetických aplikacích, pozornost byla zaměřena zejména na problematiku svarů a jejich vlivu na výsledné mechanické i korozní vlastnosti. Na základě uvedených poznatků byly vytýčeny hlavní směry a cíle práce, ve které se autor věnoval především dvěma typům heterogenních svarů. Šlo jednak o svar 15CH1M1F – P91 pro klasickou energetiku, jednak o svar 22K – 08Ch18N10T používaný v jaderných elektrárnách.

V návaznosti na vytčené cíle byl navržen rozsáhlý experimentální program, jehož splnění si vyžádalo použití řady různých speciálních experimentálních technik a také spolupráci několika dalších pracovišť (UJP Praha, a.s., SVÚM a.s., ÚJV Řež a.s., KMAT FJFI ČVUT v Praze, ÚMI FS ČVUT v Praze a UKMKI VŠCHT Praha. Experimentální část disertační práce (popis experimentálních technik, výsledky a diskuse) je pro větší přehlednost rozdělena na dvě varianty (Varianta 1 se zabývá svarem 15CH1M1F – P91, Varianta 2 svarem 22K – 08Ch18N10T).

V průběhu experimentů byly sledovány oba typy svarů, kromě přípravy vzorků byla pozornost věnována studiu strukturních charakteristik, analýze chemického složení difuzí ovlivněných oblasti svaru. Dále bylo provedeno měření tvrdosti a mikrotvrdosti, zkoušky tahem, rázem v ohybu a creepem. V případě svaru 22K – 08Ch18N10T byly

experimenty doplněny o NDT zkoušky (VT,RT a CT) a posléze měřením instrumentované nanotvrdosti a fraktografickou analýzu.

Zatímco pro studium charakteristik svaru 15CH1M1F – P91 byly použity modelové laboratorní vzorky, ke studiu svaru 22K – 08Ch18N10T byly použity vzorky odebrané z provozních poruch nátrubku N5 z parogenerátoru PG1 v JE Temelín.

Všechny výsledky byly zpracovány v kapitolách 8 a 10 a podrobně diskutovány v kapitolách 11 a 12.

### **Hodnocení práce**

Splnění zadaných cílů disertační práce bylo velmi náročné především z experimentálního hlediska a vyžadovalo značně velkou kapacitu na přístrojové techniky. Disertant sice nemohl všechny experimenty zvládnout samostatně, ale prokázal schopnost zadávat a řídit rozsáhlý experimentální program. Navíc zvládl vyhodnocování a interpretaci získaných výsledků realizovaných experimentů. Výsledky práce jsou rozděleny do dvou oblastí zmařených na sledované rozdílné typy heterogenních svarů. Použité metody řešení plně odpovídají studované problematice.

V rámci diskuse bylo v případě heterogenního svaru 15CH1M1F – P91 prokázáno, že v důsledku modelovaných degračních procesů (změna mikrostruktury, creepu atd.) dochází k měřitelným změnám mikrotvrdosti. Z toho plyne, že hodnocení heterogenních svarových spojů v klasických elektrárnách lze jako parametr použít měření mikrotvrdosti.

Na základě získaných výsledků a jejich diskuse shrnul autor způsoby nápravných opatření k řešení problematiku heterogenních svarových spojů 22K – 08Ch18N10T. Uvedená opatření jsou podrobně diskutována z hlediska jejich výhod a nevýhod. Jsou navrženy možnosti řešení vycházející z kombinace jednotlivých konstrukčně-technologických variant.

V závěru práce je doporučeno, aby pro hodnocení kvality heterogenních svarových spojů bylo používáno měření mikrotvrdosti HV0,1 (viz příloha B). Jedná se o doplnění normy ČSN EN ISO 9015-2.

Na základě všech uvedených skutečností lze konstatovat, že doktorand splnil všechny cíle práce stanovené v kapitole 6.

- Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky vychází ze 107 publikací a odpovídá požadavkům, kladeným na disertační práci.
- Teoretický přínos práce vidím spíše v rozboru problémů a přípravě experimentů. Zajímavý je i rozbor rozboru crepové problematiky a konstant Larson-Millerova vztahu.
- Podstatně výraznější je praktický přínos disertační práce. Výsledky hodnocení obou druhů svarů jsou aplikovány na provozní podmínky. Pro svar 22K – 08Ch18N10T jsou shrnuta a diskutována opravná opatření a je navržena jejich optimalizace. Navíc byl vypracován návrh doplňku normy ČSN EN ISO 9015-2 pro hodnocení kvality heterogenních svarových spojů. Zjednodušená verze tohoto návrhu je uvedena v příloze B.
- Celkově lze konstatovat, že disertant prokázal potřebné znalosti v daném oboru. To je patrné jak z návrhu experimentálního programu, tak z diskuse získaných výsledků.
- Formální úroveň práce je na velmi dobré úrovni, našel jsem jen minimální množství chyb a překlepů (např. str. 60 JOEL místo JEOL, špatný text u obrázku 11.8 na str. 125).

K předložené disertační práci mám několik drobných víceméně formálních připomínek a dotazů, které však nesnižují úroveň práce:

- str. 60 a 91: SEM mikroskop JEOL (ne JOEL)
- str. 92: líců vs lící (obojí je sice možné, ale lépe je používat jeden tvar)
- str. 121: 3. věta odstavce 11.2 není zcela srozumitelná, asi něco chybí?
- str. 121: 2. řádek odspoda – výraz „křehké štěpné“ fazety na (obr. 11.7d) je poněkud neobvyklý
- str. 125: u obr. 11.7 je špatný text
- str. 130: ... v němž byly některé *etapy růstu* trhliny ....
- str. 136: aby bylo možné *hodnotit indikace od trhlin z pohledu jejich výšky*???? – Prosím o vysvětlení
- Str. 137: není zcela jasné jak iniciace a šíření únavových trhlin souvisí se vznikem SCC, které oproti únavových procesů běžně vzniká i bez cyklického zatížení. Prosím o vysvětlení

- str. 144: v prvním odstavci se věta o výrazném zhrubnutí oduhličených zrn vyskytuje 2x. TEM analýza v kapitole 11 popsána není.
- Příloha B: B3 – druhá věta je špatně (asi je míněno „*V případě, že je rozdíl sousedních hodnot mikrotvrdosti > 100HV0,1, ...*). V návrhu by patrně měl být uveden podrobný způsob hodnocení naměřených hodnot a četnost měření.

### **Závěr**

Předloženou disertační prací prokázal doktorand podle mého názoru schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Konkrétní zadaný vědecký úkol úspěšně vyřešil a disertační práce obsahuje původní výsledky a poznatky. Některé z nich již byly publikovány v časopisech i na konferencích. Významný je i návrh doplnění normy ČSN EN ISO 9015-2. Pokud bude návrh podrobně zapracován a schválen, mohl by přispět ke zvýšení provozní spolehlivosti a bezpečnosti heterogenních svarů v JE.

Předložená práce tedy splňuje obsahové i formální požadavky kladené na doktorské disertační práce, proto ji doporučuji k obhajobě.

V Praze, 21. ledna 2022

doc. Ing. Jan SIEGL, CSc.