

## Oponentský posudek

**Disertační práce:** Ing. Josef Volák  
**Hodnocení mechanických vlastností pomocí miniaturních zkušebních těles typu „Small Punch“ a včasná lokalizace provozních defektů pomocí akustické emise**

**Studijní obor:** Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

**Vypracoval :** Doc. Ing. Jiří Janovec, CSc  
Ústav materiálového inženýrství  
Strojní fakulty ČVUT v Praze

Cíl předkládané disertační práce není jednoznačně v práci uveden, je součástí kap. 1 – Práce se zabývá stanovením základních mechanických charakteristik materiálů jako jsou tahové charakteristiky, přechodová teplota z rázových zkoušek, únavové a creepové charakteristiky pomocí semi-destruktivních metod využitím zkoušek miniaturních těles při využití minimálního objemu odebraného materiálu převážně na základě penetračních zkoušek. Tyto zkoušky jsou doplněny měřením akustické emise za účelem získání informací o rozvoji poškození materiálu.

Vlastní cíl práce představuje dnes vysoce závažné téma stanovení spolehlivých a přesných materiálových charakteristik stanovených na ekonomicky únosných a provozně odebíratelných minivzorcích. Jde především o stanovení mezí pevnosti a kluzu  $R_m$  a  $R_{p0,2}$ , přechodové teploty  $FATT_{50}$ , meze únavy  $\sigma_c$  a meze pevnosti při tečení  $R_{mT}$ . To při používání semidestruktivních zkoušek, pro které se vzorky odebírají pomocí nových odběrových zařízení jako jsou SSam TM-2 firmy Rolls-Royce a modernější elektrojiskrové zařízení či vodního paprsku..

Disertační práce souvisí a navazuje na disertační práci Ing. Pavla Konopíka - Kompatibilita výsledků hodnocení mechanických vlastností konstrukčních materiálů, obhajované na ZČU v Plzni na jaře r. 2014. Přínosem této disertační práce je porovnávání výsledků zkoušek uvedených mechanických vlastností na podstatně širší škále hodnocených materiálů než bylo prezentováno u Ing. Konopíka. Vedle řady ocelí byly hodnoceny i hliník a jeho slitin. Jde o hledání použitelných materiálových charakteristik pro hodnocení provozní bezpečnosti a především zbytkových životností strojních zařízení dlouhodobě provozovaných, u kterých došlo k degračním profesům a odběr standardních zkušebních vzorků představuje značné finanční náklady, někdy je dokonce nemožný.

Proto je v práci dále vysoce přínosný příspěvek aplikace akustické emise, se schopností monitorovat vznik trhlin. Včasná detekce počínajícího růstu trhlin umožňuje rychlý odběr minivzorků v místech se zvýšenou lokální degradací materiálu.

Je zřejmé, že vzhledem k rozdílnému chemickému intervalu jednotlivých taveb stejných značek ocelí, vzhledem k širokému sortimentu materiálů a tím i jejich mechanických charakteristik, není možné očekávat a navíc definovat jednotný universální přístup. Proto příspěvek této disertační práce vidím v možnosti vyhodnotit stanovené korelace mezi výsledky minitestů a standardních zkoušek při snaze vytvoření mezinárodní platné normy, specifikující podmínky metodiky zkoušení minivzorků, tzn. vytvoření široké argumentační báze pro přípravu standardu EN pro SPT.

Disertační práce je napsána v poněkud širším rozsahu, zahrnujícím 156 textových, obrázkových a tabulkových stran. Následný přehled použité literatury uvádí soupis 69 titulů včetně vlastních publikací. Rozsáhlá je vlastní publikační činnost s podílem na 50 titulech, s uvedením článků publikovaných v impaktovaných i neimpaktovaných časopisech, člancích presentovaných ve sbornících českých i mezinárodních konferencí i výzkumných zpráv pracoviště doktoranda. Impaktační faktory a nejsou zřejmé.

V teoretické části disertační práce v kapitolách 2 až 4 je rozsáhle prezentována metodika standardních zkoušek, což jsou základní, všeobecně známé poznatky a pro tuto část disertační práce tedy nadbytečně uváděné.

Také přesný popis metodiky zkoušek Small Punch testů, prezentovaný v kapitole 5, je dnes již dostatečně publikován a mohl by být stručnější.

Naopak do této teoretické části by jistě bylo vhodné zařadit i diskutabilní otázky stavu napjatosti, vliv rychlosti deformace a otázky vlivu velikostního faktoru zkoušených vzorků na obdržené výsledky a naměřené nejistoty měření.

V rozsáhlé experimentální části na str. 71 až 133 v kap. 7 jsou shrnuty početné zkoušky a jejich výsledky. Cenné je ověření metodiky přípravy zkušebních minivzorků a volba jejich geometrie včetně upínacích hlav. Tento rozsáhlý soubor výsledků je diskutovaný v kap. 8.

Pro tahové zkoušky Small Punch testů bylo možno pro široké spektrum ocelových vzorků stanovit jednotný korelační koeficient. Pro hliník a jeho slitiny bylo nemožné tyto korelace aplikovat, musely být stanoveny nové vlastní a to lze očekávat i v případě slitin titanu a niklu, tj. nových aplikačních materiálů v energetice. Také z podkladových prací doktoranda byly ve VZÚ Plzeň validovány výsledky SPT pro tah a Českým institutem pro akreditaci akreditována metodika zkoušky : Stanovení meze pevnosti Small Punch testem.

V případě creepových SPT testů, bohužel dosažené výsledky zatím nedávají validní hodnoty v porovnání s výsledky klasických creepových těles. Z naměřených hodnot sice lze definovat primární, sekundární a terciární stádia creepové deformace, ale nikoliv použitelné creepové charakteristiky při využití jednotného korelačního koeficientu pro žárovečné oceli.

Nadějnější pro další aplikace se jeví Small Fatigue Test i s konstatováním ekvivalence odběru vzorků vodním paprskem či klasickým způsobem obrábění.

V závěrečné kapitole č. 9 se bilancují výsledky předchozí diskusní části. Je zhodnoceno ustanovení 3 creepových standů pro SPT i výroba speciálních mechanických čelistí, jako užitého vzoru pro únavové zkoušky SPT. Zásadním přínosem disertační práce je vedle vyvinutých a odzkoušených metodik SPT získání rozsáhlé databáze korelačních vztahů pro standardní a minivzorky s aplikovatelností v energetice.

Oponent při studiu této disertační práce konstatoval dobrou kvalitu grafického provedení. Také textová část disertační práce je i přes zanedbatelné překlepy zpracována kvalitně. Následné připomínky uvádím jako podnět k případné diskuzi:

- a) V disertační práci není diskutována otázka hodnoty konstanty  $C$  v Larson – Millerově vztahu (9) a použití hodnoty  $C=20$  pro ocel 15 313 ns str. 28 a 29
- b) Chemická složení uváděných materiálů nejsou precizována, někdy zcela chybí (tabulka 9 – oceli 7 až 9).
- c) Ve smyslu platných norem pro Charpyho zkoušky není vhodné používání termínu vrubové houževnatosti.

Ze souboru prezentovaných poznatků, které jsou přínosné pro studijní obor Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie vyplývá, že :

- Doktorand splnil stanoveného cíle
- Problematika zkoušení minivzorků je v souvislosti s přestavbou vysokoparametrických energetických bloků a jejich reziduální životností celosvětově sledovaná
- Praktický přínos disertační práce je překračuje přínos teoretický
- Použité metody řešení se jeví vhodným experimentálním nástrojem, byť u creepových zkoušek zatím bez praktické aplikovatelnosti
- Poznatky disertační práce pomáhají validaci zkoušení miniaturních vzorků, odebraných z provozovaných celků
- Doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru
- Formální úroveň práce se mi jeví velmi dobrá

### **Závěrečné stanovisko :**

Předkládaná disertační práce obsahuje původní a uveřejněné výsledky. Vytyčené konkrétní cíle práce jsou vysoce aktuální a mají zásadní význam pro metodiku zkoušení minivzorků a pro určení korelací s výsledky standardních materiálových zkoušek. Práce odpovídá trendům řešené problematiky především na zahraničních vědecko-výzkumných pracovištích. Původní experimentální výsledky práce lze použít pro návrhy zkušební metodiky minitestů do připravovaných mezinárodních norem. Také aplikovatelnost metod akustické emise pro stanovení lokální degradace jako místa odběru minivzorků je pro praxi vysoce přínosná.

Na základě uvedených skutečností konstatuji, že práce splňuje požadavky kladené na doktorské disertační práce dané vysokoškolským zákonem č. 111/98 Sb.

Protože provedení a výsledky práce splňují potřebné náležitosti, doporučuji, aby za předpokladu úspěšné obhajoby této disertační práce byl

**Ing. Josefu Volákovi udělen titul Ph.D.**

**v oboru Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie.**

**Praha 30. 10. 2014**



## Oponentní posudek na disertační práci Ing. Josefa Voláka

### Hodnocení mechanických vlastností pomocí miniaturních zkušebních těles typu „Small Punch“ a včasná lokalizace provozních defektů pomocí akustické emise.

Rozsáhlá práce se zabývá metodikou hodnocení aktuálního stavu provozovaných konstrukcí včetně detekce případných poruch v jejich materiálu. Vzhledem k tomu, že provozovanou konstrukci nelze narušovat, jsou vyvíjeny nedestruktivní metody a semi-nedestruktivní metody, kdy jsou z konstrukce odebírána jen nepatrná množství materiálu pro analýzy v místech, která nejsou exponována. Jako semi-nedestruktivní metoda je vyvíjena metoda hodnocení vlastností materiálu na velmi malých vzorcích typu „small punch“, samotné měření se nazývá small punch test. Jako nedestruktivní metoda doplňující informace ke small punch testu (SPT) je zdokonalována metodika a interpretace měření pomocí akustické emise.

Samotným experimentům předchází teoretická část práce, ve které je velmi systematicky věnována pozornost zkouškám tahem, creepovým zkouškám a únavovým zkouškám prováděným jednak na vzorcích standardizovaných rozměrů a jednak na miniaturních vzorcích typu „small punch“. Pozornost je věnována rovněž hodnocení lomové houževnatosti a přechodové tepoty pomocí SPT. Dále je popsána metoda akustické emise jako nedestruktivní metoda, která doplňuje měření mechanických a případně mikrostrukturních parametrů o informace, zda jsou v materiálu přítomny nějaké nečistoty.

V experimentální části práce je nejdříve popsána příprava vzorků pro SPT, jedná se o náročný proces, na kterém kriticky závisí kvalita dalšího měření. Následují vlastní měření zkoušek tahem, creepových zkoušek a únavových zkoušek. Všechna měření byla prováděna na standardizovaných vzorcích a na miniaturních vzorcích typu „small punch“. Hlavním výstupem práce jsou korelační vztahy mezi napětěově deformačními charakteristikami získanými standartním měřením a měřením SPT. Tyto korelační vztahy mají umožnit výpočet základních parametrů statických a dynamických vlastností z křivek naměřených pomocí metody SPT.

Lze konstatovat, že byly nalezeny korelační vztahy, které skutečně umožňují na základě výsledků měření SPT věrohodně počítat některé parametry velmi blízké hodnotám naměřeným při standartním testu. U statických zkoušek se daří spolehlivě zjišťovat mez pevnosti, bohužel metodika zatím neumožňuje věrohodně naměřit pomocí SPT hodnoty meze kluzu a tažnosti.

Velice nadějně výsledky přináší měření únavových vlastností na malých vzorcích typu small punch – měření označované jako SFT (Small Fatigue Test), především na materiálu 15Ch2NMFA. Wöhelrovy křivky měřené metodami SFT a na standartních vzorcích jsou si velmi blízké a zjištěná hodnota meze únavy je po uvažování koncentrace napětí identická. Tato metoda, pokud bude ověřena větším souborem měření, má významnou aplikační hodnotu.

U měření creepových charakteristik nebyla nalezena mezi měřením SPT a standartním zkoušením přijatelná shoda ani při využití zjištěných korelačních koeficientů. V závěru autor konstatoval, že pro zjišťování creepového chování není metoda SPT vhodná.

Metodou akustické emise byly monitorovány zkoušky nízkocyklové únavy a je možné ji díky nově vyvinuté metodice využít pro odhalování počínajících změn v materiálu ještě před vznikem samotné trhliny. V tomto smyslu je metoda unikátní a využitelná k předcházení menších i velmi závažných havárií vzniklých prasknutím důležitých konstrukčních dílů.


Práce je přehledně sepsána a představuje velmi rozsáhlý soubor výsledků. Výsledky práce jsou použitelné pro hodnocení životnosti konstrukcí a hodnocení degradace materiálů. Představují významné kroky při vývoji metodiky měření na miniaturních vzorcích. Tato metodika je a bude nadále zkoumána na mnoha světových institucích a má v budoucnu velký potenciál využití například v energetickém průmyslu.

Doporučuji práci k obhajobě.

Dotaz:

Při hledání vhodných korelačních vztahů mezi měřením SPT a měřením standartní metodou byly zkoušky rovněž numericky modelovány. Popište význam výsledků modelování pro vývoj metodiky měření SPT.

V Dobřanech 31.10. 2014

  
Dr. Ing. Zbyšek Nový