

Oponentský posudek

Disertační práce: Ing. Pavel Konopík
Kompatibilita výsledků hodnocení mechanických vlastností konstrukčních materiálů

Studijní obor: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie – 3911V016

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

Cílem předkládané práce je řešení materiálové problematiky stanovení mechanických charakteristik materiálů pomocí nestandardních zkoušek miniaturních těles při využití minimálního objemu odebraného materiálu a nalezení závislosti mezi takto stanovenými charakteristikami a výsledky standardních materiálových zkoušek.

Tento cíl disertační práce však není pregnantně v práci uveden, je součástí kap. 1 – Úvod.

Vlastní cíl práce představuje vysoce aktuální téma stanovení spolehlivých, bezpečných a ekonomicky únosných materiálových charakteristik, především mezi pevností a kluzu R_m a $R_{p0,2}$, přechodové teploty $FATT_{50}$ a lomových houževnatostí J_{Ic} a K_{Ic} . 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 EDSE.

Jde o hledání materiálových charakteristik použitelných 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 dokonce je nemožný.

Je zřejmé, že vzhledem k variabilitě materiálů a tím i jejich mechanických charakteristik, zvláště pak při jejich širokém intervalu, není možné očekávat a navíc definovat jednotný universální přístup. Proto součástí disertační práce bylo ověření možnosti pro řadu strukturálních stavů více materiálů vyhodnotit možné korelace mezi výsledky minitestů a standardních zkoušek.

Disertační práce je napsána ve standardním rozsahu, zahrnujícím 128 textových, obrázkových a tabulkových stran. Následný přehled použité literatury uvádí téměř rozsáhlý soubor 78 titulů, kde uvádění již neplatných norem a standardů není nezbytné. Hodnotná a rozsáhlá je vlastní publikační činnost s 34 tituly, převážně příspěvků na mezinárodních konferencích. Rozsáhlý je seznam 120 uvedených výzkumných zpráv, kde doktorand je autorem či spoluautorem, což dokazuje praktickou použitelnost řešeného úkolu a potřebu technické praxe. Impaktační faktory a významné zahraniční publikace nejsou zřejmé.

V teoretické části disertační práce v kapitolách 2 až 5 je rozsáhle prezentována metodika standardních a minizkoušek, což v případě odběru a vyhodnocování minivzorků je vysoce potřebné. Do této části by jistě bylo vhodné zařadit i otázky vlivu velikostního faktoru zkoušených vzorků na obdržené výsledky a problematiku aktuálního stavu přípravy standardu EN např. pro SPT.

V experimentální části (kap. 6) jsou shrnuty mnohačetné zkoušky a jejich výsledky. Jde o neobyčejně rozsáhlý komplex výsledků, analyzovaných z hlediska mechanických vlastností. Myslím, že v této experimentální části je značně rozsáhlý soubor 51 tabulek, běžně se vyskytující ve výzkumných zprávách.

Zásadní přínos disertační práce, vyplývající z bohatého souboru prezentovaných je diskuze výsledků, prezentovaná v kap. 7. Zde je především diskutována nemožnost obecně platné korelace a otázky platnosti korelačních koeficientů pro různé materiály, laboratoře a mechanické charakteristiky. Diskuze vlivu různých mikrostruktur na korelace provedena nebyla.

V závěrečné kapitole č. 8 se bilancují výsledky disertační práce pro materiálové charakteristiky, ve smyslu plnění jednotlivých cílů práce dle úvodu v kap. 1.

Oponent při studiu této disertační práce konstatoval vysokou kvalitu grafického provedení. Také textová část disertační práce je i přes zanedbatelné překlepy zpracována velmi slušnou češtinou. Překlepy nemají žádný podstatný vliv na obsahovou náplň disertační práce, a proto uvádím jen následné připomínky ve snaze pro bližší osvětlení následujících nejasností či jako podnět k případné diskuzi:

- a) V disertační práci nejsou důsledně používány symboly a jednotky lomových houževnatostí J_{Ic} a K_{Ic} , jak uvádí normy ČSN EN ISO 12737 a ASTM E 1820 nebo ISO Standard 12135.
- b) Prosím o vysvětlení důvodu nesymetrie mini Charpyho tělesa na obr. č. 8.
- c) Chybí obr. č. 46.
- d) Ve smyslu platných norem pro Charpyho zkoušky není vhodné používání vrubové houževnatosti KCV.
- e) Bylo hodnoceno 7 různých materiálů (6 ocelí a 1 slitina Ni) s alternativními postupy tepelného zpracování, takže bylo hodnoceno 19 různých stavů s různými mikrostrukturami m1 až m19. Ty však nejsou charakterizovány, dokumentovány ani diskutovány.
- f) U zajímavé aplikace mikrotahových zkoušek na různé oblasti svarového spoje a korelace s HV1 není uvedena charakteristika základního materiálu, přídavného materiálu geometrie a rozměry svaru ani svařovací technologie.
- g) Na str. 127 v závěrech (2. odstavec) nejsou dobře uvedeny jednotky J_{Ic} a KCV.

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

- Doktorand splnil stanoveného cíle
- Problematika je v posledních letech je vysoce aktuální a celosvětově zpracovávána
- Praktický přínos disertační práce je značný podobně jako přínos teoretický
- Použité metody řešení se jeví vhodným experimentálním nástrojem
- Poznatky disertační práce jsou beze zbytku aplikovatelné pro oblast zkoušení materiálů
- 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 mají obecnější platnost a přináší nové poznatky o aplikovatelnosti metod na možnost měření lokálních vlastností.

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. Pavlovi Konopíkovi udělen titul Ph.D.

v doktorském studijním programu P2301.

Praha 7. 5. 2014





OPONENTNÍ POSUDEK

doktorské disertační práce

Ing. Pavla Konopíka

KOMPATIBILITA VÝSLEDKŮ HODNOCENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

V Praze dne 12. 4. 2014

Vypracoval : **Prof. Ing. Milan Růžička, CSc.**

1.

K posouzení byla předložena disertační práce Ing. Pavla Konopíka, vypracovaná na Fakultě strojní ZČU v Plzni ve studijním oboru Materiálové inženýrství a strojírenská technologie. Téma práce je zaměřeno na možnosti využití výsledků zkoušek materiálů na miniaturních zkušebních tělesech. Práce obsahuje 144 stran textu a je rozdělena do osmi kapitol. Disertant sepsal svoji práci v českém jazyce.

Hlavní cíl předkládané disertační práce je popsán a zdůvodněn v úvodní kapitole práce. Cílem je: „...najít možnosti, jak určit věrohodným způsobem mechanické charakteristiky materiálů pomocí nestandardních zkoušek miniaturních těles, které využívají malého objemu experimentálního materiálu“. Kromě tohoto hlavního cíle je v úvodu stanovena řada cílů dílčích.

2. Aktuálnost tématu a komentář cílů habilitační práce

Vzhledem k tomu, že technická praxe stále častěji řeší problémy prodloužení životnosti konstrukcí a posuzování stavu jejich provozní degradace, je potřebné získávat informace o vlastnostech materiálů použitých v konstrukci v reálném provozu. To lze mnohdy realizovat odebráním části materiálu pro výrobu miniaturních zkušebních těles. Umět interpretovat takto získané výsledky je potom pro podobné analýzy klíčovou záležitostí. Proto lze výběr tématu práce hodnotit jako hledání odpovědi na velmi aktuální problém. Autor specifikuje tento obecný cíl do více oblastí zájmu, a to zejména na využití výsledků zkoušek typu Small Punch Test (SPT), porovnání zkoušek standardní Charpy zkoušky se zkouškami na mini Charpy tělesech. Zabývá se také návrhem metodiky pro realizaci mikrotahové zkoušky (M-TT). Lze říci, že cíle jsou poměrně rozsáhlé, což se projevilo i na nutnosti provádění velkého počtu experimentů. Autor tak navrhl zkoušení celkem 19 variant materiálových stavů, realizovaných

na 7 vybraných typech ocelí. Je třeba ocenit, že tento náročný úkol úspěšně naplnil a vytčené cíle splnil.

3. Vyjádření k obsahu práce, postupu řešení, použitým metodám a výsledkům práce

Práce má teoretickou popisnou část a část experimentální. Nejprve jsou v kapitole 2 a 3 popsány základní mechanické zkoušky, zkouška tahem a zkouška rázem v ohybu (metodou Charpy). I když se jedná o běžné zkušební metody, čtenář je seznámen s nejnovějším stavem platné standardizace a názvosloví, což je i vzhledem k instrumentovaným zkouškám a možnostem uplatnění nových hodnotících postupů velmi přínosné. Kap. 4 je věnována stručné rešerši problémů, postupů a zkoušení v oblasti lomové mechaniky. Zaměřuje se podrobněji na vyhodnocení zkoušek lomové houževnatosti, zejména tvárného lomu pomocí J-integrálu a J-R křivek. I zde je vhodně nastíněna odlišnost přístupů norem ASTM a ISO, a postupy určení J-R křivek z více těles nebo z jednoho tělesa ze změny jeho poddajnosti. V kap. 5 se již autor věnuje popisu odběru materiálu a návrhu miniaturních vzorků. Popisuje dva typy odběrných zařízení, výrobu diskových vzorků pro zkoušky SPT i samotný princip a způsoby vyhodnocování SPT zkoušky. I když zde trochu předbíhá, názorně ve výkladu problematiky využívá svých později uváděných výsledků zkoušek pro demonstraci vyhodnocení korelačních přepočtových vztahů nebo diskuse posuvu tranzitní teploty při vyhodnocení různými metodami (SPT versus Charpy). Čtenář tak získává kompaktní dojem a kapitola je velmi přehledná. V této části práce je také průběžně uváděna řada odkazů a citací, z nichž je patrné, že disertant provedl také širokou rešerši problematiky literatury nejen zahraniční, nýbrž využil i bohaté základny publikovaných výsledků tuzemských laboratoří.

Kapitolou 6 začíná experimentální část práce. Jak již bylo poznamenáno výše, doktorand sestavil systematický plán zkoušek celkem 19 variant materiálů. Podle předem definované „matice experimentálního programu“ provedl chemické rozbor, zkoušky tahem, zkoušky SPT, lomové houževnatosti, zkoušky Charpy, mini-Charpy, a zkoušky mikrotahové. Náročnost realizace zkoušek vyžadovala výběr a kombinaci variant, nicméně domnívám se, že plán byl dobře optimalizován a že získané soubory dat pro vyhodnocení v klíčových oblastech zájmu jsou dostatečně reprezentativní a statisticky vypovídající (až 6 zkoušek) z hlediska formulování závěrů, které z výzkumu byly učiněny. Výsledky jsou tabulkově i graficky přehledně zpracovány. Následně jsou v práci popsány metody vyhodnocování, analyzovány a diskutovány výsledky (Kap. 7). V souladu s cíli práce, se autor zaměřil zejména na vyhodnocování korelace mezi výsledky klasické tahové zkoušky a zkouškami na malých tělesech pomocí SPT metody. Autor doporučil využití korelace normalizovaných hodnot mezních sil (vztaženo na tloušťku, resp. posuv) a navrhl příslušné korelační závislosti. Dalším významným poznatkem práce je použitelnost korelace vrubové houževnatosti (resp. hodnot KV) pro tělesa různé velikosti průřezu. Z uspokojivé korelace pro houževnaté lomy se vyčleňují výsledky křehkých porušení, kde trend lineárního přepočtu není použitelný. Dalším užitečným poznatkem pro praxi je zřejmá materiálová závislost koeficientů pro určení lomové houževnatosti J_{IC} při tvárném porušení, kdy literární vztahy pracující s předpokladem neměnných konstant nedávají obecně platné výsledky. Pro praxi velmi důležitým výsledkem je možnost využití mikrotahových těles a výsledků tahových zkoušek na těchto tělesech pro určení základních tahových charakteristik materiálů. Z výzkumu vyplývá, že data jsou uspokojivě korelována s klasickou tahovou zkouškou a při použití metod digitální korelace obrazu pro vyhodnocení lokálních deformací, lze získat i dobré odhady tažnosti. Tyto nejvýznamnější poznatky i další získané výsledky autor (de facto ještě jednou) shrnuje v závěru práce v kap. 8.

4. Vyjádření k formální úpravě práce a k její jazykové úrovni

Práce má velmi dobrou formální úpravu i jazykovou úroveň a je zřejmé, že autor měl dobře rozmyšlenou její koncepci a finální verzi věnoval dostatek pozornosti.

5. Dotazy a připomínky

K práci mám následující dotazy a připomínky:

- str. 23: vztahy (10 až 13). **Nezabýval se autor vyhodnocením rozdílů nebo kvalitou korelace použití těchto vztahů na získaných experimentálních lomech? Nebylo by užitečné znát odpověď, který ze vztahů je „optimální“ k využití?**
- str. 31: vztah (21) je chybně
- str. 33: obr. 21, 22 – chybí kóty hloubky vrubu
- str. 51, v předaném výtisku chybí obr. 46
- str. 59: co představuje údaj Ag? Nenašel jsem ve vysvětlení.
- str. 76 a další: tab. 20, obr 69-73: Jednotky u KCV jsou chybné.
- str. 88: tab 25-28: Bylo by vhodné uvést tabelární shrnutí určené hodnoty J_Q pro zkoušené typy materiálů.
- str. 88-90: Proč byla zvolena následující konfigurace metod měření lom. houževnatosti metodou více tělesech (materiály typu m11, 12, 14, 15) versus na jednom tělese (m17, 18, 19)? **Jakou lze očekávat shodnost získaných výsledků KV, kdyby se provedly obě metody pro stejný materiál? Zkoušel jste takto obě metody porovnat?**
- str. 113: vztah (77): exponent x_p je v textu uveden s hodnotou 1,763, ale v následném grafu byl v log systému vyhodnocen regresí jako $x_p=1,8541$? Proč?

6. Stanovisko k původnímu přínosu doktoranda a významu práce pro praxi a rozvoj vědního oboru

Zpracováním rozsáhlého a reprezentativního souboru dat na ocelích široké škály mechanických charakteristik, jejich analýzou a vyhodnocením autor významně obohatil poznatky v oboru materiálového zkušebnictví, zejména v oblasti aplikace zkoušek na malých tělesech. Bylo již zdůrazněno, že možnost odebrání a zkoušení materiálových vzorků po degračních procesech je velmi aktuální a v praxi žádoucí. Nalezené a doktorandem publikované vztahy mohou významně napomoci při těchto analýzách.

7. Závěrečné hodnocení

Domnívám se, že předložená disertační práce ing. P. Konopíka splňuje všechna kritéria, jak je vymezuje zákon č. 111/1998 Sb. paragraf 47 odst. 4, že disertační práce musí obsahovat původní výsledky a že výsledky práce musí být uveřejněné nebo přijaté k uveřejnění. Autor v práci uvádí široký výčet autorských i spoluautorských publikací souvisejících s řešeným tématem. Domnívám se, že tak prokázal schopnosti pokročilých inženýrských přístupů v teorii i experimentu a samostatné vědecké práce. Proto doporučuji, aby v případě uspokojivých odpovědí na dotazy oponentů a úspěšné obhajoby mu byl přiznán titul Ph.D.



Milan Růžička