

Oponentský posudek

Disertační práce: Ing. Eva Chyostová
Aplikace miniaturizovaných zkušebních těles při hodnocení mechanických vlastností a odolnosti proti křehkému lomu

Studijní obor: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie – 3911V016

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

Cíl předkládané disertační práce je jednoznačně stanoven na str. 9 této práce. Jde o stanovení mechanických charakteristik materiálů pomocí zkoušek miniaturních těles při využití minimálního objemu odebraného materiálu a porovnání takto stanovených charakteristik s výsledky standardních materiálových zkoušek.

Vlastní cíl práce představuje v současnosti preferované téma stanovení spolehlivých a bezpečných materiálových charakteristik, především mezi pevností a kluzu R_m a $R_{p0,2}$, přechodové teploty $FATT_{50}$, nárazové práce (rázové houževnatosti) KV , creepových a únavových charakteristik R_{mT} a σ_c , tak, aby byly ekonomicky únosné ale přitom dostatečně přesné. Bylo provedeno i posouzení s výsledky SPT, tj. používání semidestruktivních zkoušek s odběrem vzorků pomocí speciálních odběrových zařízení jako jsou SSam TM-2 firmy Rolls-Royce či modernějším elektrojiskrovým zařízením EDSE.

Jde o hledání materiálových charakteristik použitelných pro hodnocení provozní bezpečnosti a především zbytkových životností strojních zařízení dlouhodobě provozovaných, u kterých došlo k degračním procesům a odběr standardních zkušebních vzorků představuje značné finanční náklady, někdy dokonce je nemožný.

Pro ověřování materiálových charakteristik bylo použito 5 typických ocelových materiálů (v jednom případě jde o ocelový návar), používaných v klasické a jaderné energetice. Škoda, že se nepodařilo provést pro každý z těchto materiálů všechny zkoušky. Specifikace jednotlivých alternativ ocelí je prezentována na str. 60 – 75. U uvedených charakteristik chybí popis tepelného zpracování, u mikrostrukturálního rozboru pak analýzy precipitátů. Režim tepelného zpracování u návaru chápu jako konečné žhání na snížení zbytkových napětí, vhodné by bylo doplnění WPS či WPQR.

Disertační práce je napsána v širším rozsahu, zahrnujícím 158 textových, obrázkových a tabulkových stran. Následný přehled použité literatury uvádí rozsáhlý soubor 82 titulů, dokládající široký okruh prostudované problematiky. Vlastní publikační činnost charakterizuje 15 titulů, příspěvků na českých a mezinárodních konferencích, převážně ve spoluautorské formě. Seznam 46 uvedených výzkumných zpráv, aktivní účast v projektech COST a TAČR, přehled RIV hodnocení i podíl ve výuce svářečské školy dokládají odbornou způsobilost doktorandky pro potřeby technické praxe. Impaktační faktory a významné zahraniční publikace nejsou zřejmé.

Práce je napsána s logickou návazností, proto vložení seznamu obrázků a tabulek na konci práce se mi jeví nadbytečné.

Oponent konstatuje vysokou kvalitu grafického provedení i textové části, zpracované velmi dobrou češtinou. Proto mrzí dvojnásobné vložení kapitoly 12- Diskuze výsledků s původní, lektorsky opravenou verzí této kapitoly. Zanedbatelné překlepy nemají žádný podstatný vliv na obsahovou náplň disertační práce.

Výsledky disertační práce, vyplývající z bohatého souboru přes 600 odzkoušených vzorků z 5 materiálů jsou prezentované v závěrečných kap. 12 – Diskuze výsledků a kap. 13 Závěry. V této závěrečné kapitole, kde se bilancují výsledky disertační práce jsou opakovány některé popisné skutečnosti, uváděné v předchozí kapitole č. 12. Vhodnější by bylo provést bilanci výsledků ve smyslu plnění jednotlivých cílů práce dle úvodu v kap. 1.

Také jednotlivá doporučení, vyplývající z výsledků práce by bylo vhodné zařadit do konečné samostatné kapitoly.

Následně připomínky přikládám ve snaze pro bližší osvětlení následujících nejasností či jako podnět k případné diskuzi:

- a) V disertační práci není důsledně používána jednotná terminologie označování malých zkušebních vzorků (miniaturizované, miniaturní, mini či mikro vzorky).
- b) Prosím o vysvětlení důvodu nesymetrie mini Charpy tělesa na obr. č. 7 i na jeho double obr. 86. Obr. 85 ji nevykazuje. Dále, proč úhel rozevření se volí větší oproti Charpyho standardu. Proč při zkoušení minirázovek nebylo uvažováno jako u nových návrhů únavových a creepových minivzorků o volbě menších vzorků a posunutí teploty $FFAT_{50} = 60^{\circ}\text{C}$ nebylo diskutováno z hlediska velikostního faktoru
- c) Pro mez pevnosti v tečení důsledně používat označování R_{mT} oproti R_{m1} .
- d) Chybí definice a odkaz faktoru η_p a obr. 17 do textu, na str. 20 pak definice $K_{CH} = 0,5$ u vzorce (12).
- e) Ve smyslu platných norem pro Charpyho zkoušky není vhodné používání vrubové houževnatosti KCV.

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

- Doktorandka zcela splnila stanovené cíle
- Problematika používání malých vzorků je v současnosti vysoce aktuální a předmětem zpracování národních i mezinárodních normovacích komisí
- Praktický přínos disertační práce je významný především pro hodnocení zbytkových životností energetických zařízení, podobně jako přínos teoretický
- Použité metody používání zkušebních minivzorků se jeví vhodnějším experimentálním nástrojem než SPT
- Poznatky disertační práce jsou beze zbytku aplikovatelné pro oblast zkoušení materiálů, provedená porovnání mezi akreditovanými laboratořemi COMTES a VZU prokázala validitu tohoto procesu
- Doktorandka vykázala dlouholetou zkušenost a odpovídající znalosti v daném oboru
- K formální úrovni práce nemám zásadní připomínky

Závěrečné stanovisko :

Předkládaná disertační práce obsahuje původní a publikované výsledky. Stanovené cíle práce jsou konkrétní, vysoce potřebné a mají zásadní význam pro metodiku zkoušení minivzorků a pro určení přesných materiálových parametrů vzhledem k výsledkům standardních materiálových zkoušek.

Práce zcela odpovídá způsobu řešení problematiky především na zahraničních vědecko-výzkumných pracovištích a v normovacích komisích. Experimentální výsledky práce 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.137/2016 Sb. z 2. března 2016.

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

**Ing. Evě Chvostové udělen titul Ph.D.
v doktorském studijním programu P2301.**



Praha 17. 11. 2016

Oponentský posudek disertační práce

APLIKACE MINIATURIZOVANÝCH ZKUŠEBNÍCH TĚLES PŘI HODNOCENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ A ODOLNOSTI PROTI KŘEHKÉMU LOMU

Autor: Ing. Eva Chvostová
Školitel: doc. Ing. Ján Džugan Ph.D.
Studijní program: Doktorský studijní program P 2310
Studijní obor: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie – 3911V016

Předložená disertační práce měla čtyři cíle, jak je uvedeno na str. 9:

- Ověřit metodiku SPT (Small Punch Test) pro přepočítání výsledků zkoušky tahem, vyzkoušet vztah, který se zabývá korelací SPT hodnot na zkoušky tahem (vyjma tažnosti a kontrakce, které se ze SPT nevyhodnocují), ověřit možnost použití mikro vzorků pro zkoušku tahem a porovnat výsledky.
- Ověřit metodiku přepočtu přechodové teploty $FATT_{50}$ naměřené na mini Charpy vzorcích na přechodovou teplotu získanou na standardních zkušebních tělesech.
- Ověřit metodiku SFT (Small Fatigue Test), návrh geometrie zkušebního mini vzorku v oblasti zkoušek únavy a verifikace výsledků na nově navržených miniaturních vzorcích.
- Ověřit metodiku SPT a navrhnout mini vzorek v oblasti zkoušení tečení a verifikace výsledků na mini vzorcích s výsledky ze standardních vzorků.

Na celkem 172 stranách (včetně příloh) disertační práce je popsána činnost vedoucí k realizaci výše uvedených cílů.

V úvodu jsou stručně popsány důvody výhodnosti využití miniaturních zkušebních těles, metody jejich odběru (z uvedených metod odběru materiálu je v práci využívána metoda EDSE - Electrical Discharge Sampling Equipment), resp. odběr materiálu pro taková zkušební tělesa ze součástí, dále je uveden seznam plánovaných zkoušek a cíle práce. Následuje obecný popis zkoušek tahem, jednotlivých materiálových parametrů vyhodnocovaných z těchto zkoušek, dále je popsána zkouška rázem v ohybu metodou Charpy a vyhodnocení z ní získaných materiálových parametrů, následuje zkouška únavy včetně postupu vyhodnocení a jako poslední je popsána zkouška tečením. Jako poslední v rámci teoretické části práce je detailně popsána metoda SPT. Strana 59 je poslední stranou teoretické části a vše potřebné pro pochopení základních postupů od odběru materiálu pro zkušební tělesa, včetně mini zkušebních těles, podstaty jednotlivých zkoušek, základních zkušebních těles a vyhodnocení zkoušek je obsaženo a odkazy na použitou literaturu jsou relevantní.

Na stranách 60 až 152 je popsána celá experimentální část práce. Obsahuje obsáhlé testy a to pro několik vybraných materiálů a to i včetně jednoho svarového spoje. Odebraný materiál ze součástí (s uvedením volby odběru materiálu a jak bylo zvoleno umístění odběru a zkušebních těles), byl na začátku podroben kontrole chemického složení, analýze mikrostruktury a případně i zkouškám tvrdosti.

Následuje popis zkušebních těles zvolených pro tahové, SPT a mikro tahové zkoušky s uvedením vyhodnocených výsledků jednotlivých tahových zkoušek a to na dvou typech materiálu. Vzájemně porovnány jsou vždy meze pevnosti a smluvní meze kluzu. V následné diskusi na stránce 86 je provedeno shrnutí výsledků s uvedením rozptylu výsledků a zhodnocením s tím, že vychází i přes malý počet zkušebních těles velmi příznivě pro miniaturní tahové vzorky – tedy mikro tahová zkušební tělesa.

Jako další testy jsou uvedeny testy rázem v ohybu a to pro standardní a mini zkušební tělesa. Zvoleny jsou tři typy materiálu včetně svarového spoje. Výsledky z provedených testů včetně vyhodnocení přechodové teploty s hodnocením lomové plochy jsou na straně 103/104 diskutovány s konstatováním, že došlo k velmi dobré shodě (kromě části svarového spoje – návaru) a to s uvažováním v literatuře uváděným posunem přechodové teploty u mini zkušebních těles a to o $\Delta t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Následuje provedení únavových vysokocyklových zkoušek, kdy kromě standardních válcových zkušebních těles jsou použita i zkušební tělesa pro SFT testy spolu s nově navrženými malými zkušebními plochými tělesy s oboustranným vrubem. Na SFT i malých zkušebních tělesech byly provedeny únavové testy a to v kombinaci tří vybraných materiálů. Součástí příprav bylo i stanovení koncentrace napětí pomocí FEM a to u navržených malých plochých zkušebních těles a ověření míst koncentrace napětí u SFT vzorků. Výsledky velkého počtu provedených únavových zkoušek však vykazovaly vysoký rozptyl výsledků a tak byl navržen nový tvar malého zkušebního tělesa. Byla i řešena otázka vlivu způsobu výroby a drsnosti povrchu zkušebních těles na výsledky zkoušek – velký rozptyl výsledků – se závěre, že je nutno věnovat zvýšenou pozornost výrobě zkušebních těles. Nakonec byl navržen nový tvar zkušebního tělesa se značně malým průměrem testovací části ($\varnothing = 1,5\text{ mm}$) a spolu s upraveným standardním zkušebním tělesem v rámci jednoho typu materiálu došlo k provedení únavových zkoušek a sestrojení závislosti mezi napětím a počtem cyklů. V diskusi na straně 132 pak proběhlo vyhodnocení s tím, že pouze zkušební tělesa s malým průměrem ($\varnothing = 1,5\text{ mm}$) jsou použitelná pro výrobu zkušebních těles z malého objemu odebraného materiálu vzhledem k dobrému souladu výsledků a to i přes omezený počet provedených testů z časových důvodů.

Jako poslední jsou uvedeny popisy zkušebních těles a zkušební postupy i zařízení pro zkoušky tečení – creepové zkoušky. Provedené zkoušky na standardních, SPT a nově navržených mini zkušebních tělesech se realizovaly na třech materiálech a výsledky pro každý materiál jsou porovnány tabulkově i graficky vzhledem k teplotám, dobám do lomu, deformacím a v závislosti napětí na Larson – Miller parametru. Diskuse na straně 151/152 ukazuje na dobrou použitelnost a shodu se standardními zkušebními tělesy v případě nově navrženého mini zkušebního tělesa pro zkoušky tečením.

Shrnutí, diskuse a závěr uvedený v práci v posledních kapitolách na stránkách 153 až 158 hodnotí dosažené výsledky u všech provedených zkoušek. Uvedené výsledky jsou porovnávány s cíli disertační práce. Jako závěr lze považovat shrnutí, že i přes některé složitosti a náročnosti, lze spolu s dalšími testy a hodnoceními materiálů perspektivně využít možnosti malých zkušebních těles v oblasti zjišťování materiálových charakteristik – tedy bez nutnosti odběru velkého množství materiálu pro výrobu zkušebních těles.

Hlavní body hodnocení předložené disertační práce:

a) Přínosem pro obor je nepochybně souhrnná informace o problematice použití malých zkušebních těles vyrobených z malého objemu odebraného materiálu ze součásti nebo polotovaru,

kdy nedochází k takovému porušení v důsledku odběru materiálu, které by znamenalo velké provozní, technické a ekonomické ztráty. Navržená nová zkušební tělesa a jejich ověření/porovnání výsledků se standardními zkušebními tělesy, SPT, SFT a dalšími je přínosem pro oblast testování a umožňuje využití nově navržených zkušebních těles při stanovování materiálových charakteristik nových i provozovaných součástí a celků.

b) Zvolený postup je příkladem uceleného přístupu k tak obsáhlé problematice a použité metody vedly k zodpovězení všech cílů práce. I přes to, že se některé zkoušky nepodařilo provést v dostatečném počtu či variantách a to zejména vzhledem k jejich časové náročnosti – např. zkoušky tečením, byl zvolen vždy minimální a někdy více než dostatečný počet zkušebních těles a výsledek je tedy podložen dostatečným počtem testů, v rámci časových možností.

c) Výsledky obsahují vlastní přínos a to zejména v oblasti návrhu nových zkušebních těles, u kterých se podařilo ve většině případů porovnat výsledky se standardními zkušebními tělesy a i aktuálně v oblasti testování již delší dobu diskutovanými a používanými SPT a SFT zkušebními tělesy. Takový přínos do oblasti testování lze považovat za konkrétní a velmi cenný s tím, že dosažená shoda výsledků je věrohodná. Lze doporučit, aby v závěru disertační práce se objevilo více propojení do celé oblasti stanovování materiálových hodnot spolu s výhledem na budoucnost řešené oblasti.

d) Provedení představovaného počtu zkoušek a jejich vyhodnocení vyžaduje vysokou úroveň systematičnosti a také jsou přehledně uvedeny a porovnány jednotlivé výsledky. Několik chyb ve formální úpravě a ojedinělé chyby v textu nikterak nemění obsah a výklad a nezpůsobují problémy. Snad lze jen doporučit větší důraz na úplnost při popisu naměřených hodnot v grafech a také při vysvětlování použitých symbolů a uvádění jejich jednotek.

e) Soupis publikovaných prací (uvedeno celkem 15) a výzkumných prací (celkem 46) a zapojení do několika výzkumných projektů spolu s uvedenou pedagogickou činností dává dobrou představu o rozsáhlém zapojení do oblasti testování a hodnocení materiálů a spolu s předkládanou disertační prací svědčí o vysoké vědecké úrovni.

Vzhledem k cílům a jejich řešení v předkládané disertační práci, dovoluji si navrhnout následující dotazy pro diskusi v rámci prezentace:

- Jaký lze považovat vzorek za mini a jaký za mikro vzhledem k v práci řešeným materiálovým parametrům?
- Stručně zhodnotit jaký by byl odhadovaný vliv např. zvýšené/snížení teploty, velikosti zrna či jiné povrchové vrstvy na dosažené výsledky / použita – navržená zkušební tělesa?
- Porovnání napjatosti a jejího vlivu na výsledky u malých zkušebních těles vzhledem k napjatosti v reálné součásti?
- Existují i další zkoušky, kde by se mohlo využít malých zkušebních těles a které zkoušky by bylo ještě vhodné provést pro takové varianty?
- Návrhy/možnosti odběru malého množství materiálu pro výrobu malých zkušebních těles u kompozitních materiálů?

Na závěr konstatuji, že předloženou disertační práce s názvem „Aplikace miniaturizovaných zkušebních těles při hodnocení mechanických vlastností a odolnosti proti křehkému lomu“ doporučuji k obhajobě dle platných zákonných předpisů.

V Plzni, dne 15.11.2016.


Ing. Pavel Žlábek, Ph.D.