

Oponentský posudek dizertační práce

„Možnosti indentačních zkoušek tvrdosti pro stanovení mechanických vlastností materiálů“

Autor práce: Mgr. Maxim Puchnin
Školitel: doc. Ing. Jiří Cejp, CSc.
Školící pracoviště: Ústav materiálového inženýrství FS ČVUT v Praze
Studijní program: Strojní inženýrství, obor Materiálové inženýrství
Oponent: prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.
Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95, 532 10 Pardubice

Práce je věnována řešení velmi aktuálního problému – umožnění spolehlivého nedestruktivního, navíc mobilního měření lokálních statických mechanických parametrů materiálů. Cílem bylo vyvinout nový systém zkoušení mechanických vlastností, včetně kompletní realizace měřicího systému.

1. Postup řešení, použité metody

Úvodní kapitoly teoretické část práce obsahují přehled indentačních metodik, následuje přehled dostupných teorií kontaktu těles s odpovídající geometrií a výpočtů především metodou konečných prvků. Rešerše je velice rozsáhlá, ale logicky uspořádaná. Poskytuje ucelenou informaci jak o již klasických teoriích tak i aktuálních problémech a limitech nejnovějších řešení, což autor logicky vyzdvihuje jako motivaci k hledanému novému řešení.

Práce má jasně definované cíle, pro jejich dosažení pak autor v souslednosti navrhl postup a metody řešení. Důležitým momentem je validace celé koncepce řešení porovnávacím měřením s použitím standardních metod.

Ověření metodologie výpočtu, označené autorem jako „primární“ bylo provedeno na sadě laboratorně vyhotovených slitin hliníku. Celkem se jednalo o několik variant hliníkových slitin, z toho vybraná série byla podrobena tepelnému zpracování. Do práce bylo zařazeno vyhodnocení tohoto vlivu na mikrostrukturu, spolu s vlivem na lomové chování. Tato část analýz se jeví jako částečně mimo hlavní cíl práce, poskytuje ale autorovi experimentální materiál pro ověření citlivosti navrženého postupu měření.

Samostatná sada vzorků byla tvořena 4-mi variantami neželezných kovů, resp. jejich slitinami a 4-mi variantami ocelí. Výběr tak prezentuje materiály s různou schopností deformační odezvy i mechanismu zpevnění, a byl tedy zodpovědně volen pro korektní ověření. Vzhledem k potřebám experimentu jsou uvedeny nejenom deklarované

materiálové vlastnosti u celé série, autor provedl kompletní rozbor mechanických vlastností.

Diskutabilní je pouze kontrola chemického složení. Autor použil EDS analýzu, měření je provedeno precizně, vč. uvedení všech parametrů. Pro kontrolní rozbor chemického složení zejména ocelí, kde je potřeba přesně stanovit obsahu uhlíku, nutno ale tuto metodu považovat pouze za semikvantitativní. Autor sám správně konstatuje, že tuto analýzu lze „charakterizovat jako orientační“.

Vyhodnocení mikrostruktury u celé sady materiálu je komentováno z hlediska homogenity struktury, zejména tendence k řádkovitosti a nerovnoměrnosti velikosti zrna. Tyto strukturní parametry jsou vzhledem k řešenému problému klíčové. Provedeno bylo rovněž měření mikro a nanotvrdosti, opět pro popis anizotropie materiálů v návaznosti na provedené strukturní rozborů. Toto měření posloužilo rovněž pro demonstraci flexibility navržené metodiky.

Lze jednoznačně konstatovat, že sortiment i způsob použití metod řešení byly vhodně zvoleny pro řešení daného problému.

2. Výsledky a přínos disertační práce

Stěžejní částí práce je vlastní návrh výpočtu mechanických parametrů z odezvy materiálu při indentační zkoušce kulovým indentorem. Teoretický přínos práce je zde podtržen kritickým studiem teoretické podstaty plasticity v kontaktu, resp. studiem dostupných teorií řešení. Autor prokázal velice dobrou orientaci v problému i daném oboru. Tomu odpovídá i sortiment studované (a citované) literatury, rovněž vlastní publikace autora.

Nesporný je velký praktický přínos práce, spočívající v ověření metody a realizaci zařízení, které umožní mobilní nedestruktivní měření klíčových statických mechanických parametrů materiálů. Autor v rámci celého výběru experimentálních materiálů prokázal dobrou shodu se standardními metodami měření ve všech hodnocených parametrech.

Přínosný je celkový přístup k řešení, opírající se o fyzikální hledisko principu měření materiálových vlastností s důrazem na identifikaci plastické zóny pod vtiskem indentoru. Zviditelnění oblasti plastické deformace je „spojovacím momentem“ všech provedených analýz.

Chci vyzvednout vlastní realizaci zařízení, která je předmětem několika patentů. Autor se musel vypořádat s velice složitou problematikou snímačů zejména deformace, s otázkou vlivu celé soustavy, kterou kriticky diskutuje jako omezující u jiných dostupných systémů. Druhým bodem je omezení rozsahů zatížení, navrhované zařízení má podstatně větší rozsah než dostupná zařízení.

3. Formální úroveň práce

Práce má velice dobrou formální úroveň, s precisním zpracováním značného sortimentu výsledků. Mezi formální chyby lze zařadit kupř. označení parametru „K“ - v seznamu použitých symbolů se uvádí jako „faktor intenzity napětí“ v MPa (ne MPa.m^{1/2}), dále je symbol použit jako označení „koeficientu deformačního zpevnění“ v souladu s normou. Drobné formální chyby, kupř. chyby formátování (tabulka.6) jsou zanedbatelné.

Teze disertační práce jsou přehledně zpracované a obsahují všechny zásadní informace práce.

4. Dotazy a připomínky k práci

Výsledky zkoušek jsou v práci prezentovány srozumitelně, v logické návaznosti jednotlivých sad zkoušek. Bylo by vhodné uvést informaci o souvislostech výběru variant hliníkových slitin. Kupř. na obr.55 (str.94) je vyhodnocení provedeno „párováním“ identačních křivek. Z textu není zřejmý režim, ve kterém jsou srovnávány, evidentně se jednalo o nějaký motiv využít provedené hodnocení k další související analýze.

Pro zviditelnění skutečného dosahu plastické deformace byla použita metalografická analýza vybrané hliníkové slitiny. Problematická je dle mého názoru skutečnost, že k přípravě příčného řezu došlo již před zatěžováním. Vyvozen byl totiž odlišný stav napjatosti (resp. deformace). Na hodnoceném povrchu byla tak potlačena prostorová napjatost (a rovinná deformace), což principiálně mění tvar deformační zóny a celkově „podporuje“ plastickou odezvu.

V práci je precizně provedeno značné množství standardních mechanických zkoušek. Při rozdílech výsledků měření použitím zařízení Instron a LabTest je vyjádření průměrné hodnoty (tab.15, str.132) problematické. U měření tvrdosti by bylo vhodné uvést počet měření, popř. rozptyl (předpoklad vlivu hodnocené mikrostruktury). K ujasnění navržené metody by kupř. pomohl bližší popis výpočtu koeficientu stlačení „C“.

K obhajobě práce mám následující dotazy a náměty do diskuse:

1. Pro jakou oblast homogenní plastické deformace byl stanovován koeficient zpevnění? V záznamech není evidována oblast na mezi pevnosti, tj. je zřejmé že se jedná o stanovení v definovaném intervalu deformace.
2. V práci je uvedeno, že tahová zkouška zařízením LabTest umožňuje i průběžnou evidenci změny průřezu. Skutečná křivka materiálové odezvy byla tedy stanovena propočtem z prodloužení nebo přímým měřením? Jak byly stanoveny meze pevnosti pro finální srovnání hodnot?
3. V práci se rozlišuje metodika primárního vs. upřesněného výpočtu. Jaká jsou omezení při použití pouze prvního kroku?
4. Závěrem je konstatováno, že navrhované řešení odstraňuje všechny nedostatky, které jsou v práci zmiňovány v rámci analýzy stávajících systémů. Jaké jsou dle autora další možnosti optimalizace?

5. Závěr

Závěrem možno konstatovat, že disertační práce Mgr. Maxima Puchnina splňuje všechny požadavky kladené na práce tohoto druhu. Stanovené cíle práce byly splněny v plném rozsahu. Práce je aktuální, systematicky zpracovaná, přináší konkrétní a původní výsledky.

Na základě výše uvedeného doporučuji práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit Mgr. Maximu Puchninovi titul Ph.D. v daném studijním oboru.

V Pardubicích, 16.7. 2018