

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: Ing. Lukáš KADERÁVEK

Název práce: **Multiscale strain localization in thermomechanical fatigue of NiTi shape memory alloys**

Oponent: prof. Dr. RNDr. Miroslav KARLÍK
ČVUT - FJFI, katedra materiálů

Motivací této disertační práce bylo navrhnout způsoby zlepšení únavových vlastností tenkých drátů a plechů z komerční slitiny s tvarovou pamětí NiTi, a to na základě výsledků experimentů zaměřených na roli makroskopické lokalizace deformace při cyklické tahové deformaci. Jedná se o ambiciózní cíl, protože problematika únavy slitin s tvarovou pamětí, ve kterých dochází k teplotně či napětově indukované martenzitické transformaci, je velmi složitá. V době zahájení kandidátova doktorského studia byl vliv lokalizace deformace na únavu NiTi zcela neznámý, téma práce je tedy nové a aktuální.

Předložená práce má 124 stran textu a je rozčleněna do 7 kapitol. Po krátkém úvodu a komentáři k obsahu kapitol 2 až 6 následuje literární rešerše (14 stran), popis studovaných materiálů (dráty, kruhové tyče, pruhy) a experimentálních metod, kterými byly: diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC), tahová zkouška s optickým měřením lokalizované deformace metodou digitální korelace obrazu (DIC), měření elektrické rezistivity, světelná metalografie a rastrovací i transmisní elektronová mikroskopie. Další krátká kapitola věnuje speciální pozornost tenkým drátům NiTi #1, na kterých byla naměřena většina výsledků. Jsou zde popsány jejich napětově-deformační charakteristiky v superelastickém cyklu po různém tepelném zpracování v peci i přímým žíháním pulsem elektrického proudu a odpovídající transformační teploty.

V kapitole 5 (31 stran) jsou uvedeny výsledky studia lokalizace deformace při monotónním tahovém zatěžování pomocí DIC, a to v závislosti na teplotě (v rozmezí 20 až 400 °C) a počáteční rychlosti deformace (0,002 a 0,08 s⁻¹). Samostatný odstavec je pak věnován lokalizaci deformace na makroskopické úrovni v podobě pohybu Lüdersových pásů a na mezoskopické úrovni uvnitř zrn v podobě deformačních pásů martenzitu B19', pozorovaných pomocí difrakce zpětně odražených elektronů (EBSD) ve skenovacím elektronovém mikroskopu.

Kapitola 6 (44 stran), zaměřená na studium únavy slitin NiTi při tahovém namáhání, obsahuje klíčové experimentální výsledky, popisující zejména vliv střední hodnoty a amplitudy deformace, vliv rychlosti zatěžování, vliv teploty cyklování v rozmezí -10 až 120 °C a jevy lokalizace deformace. Dále je popsána únava NiTi drátů s adaptivními mezními hodnotami deformace, lokalizace deformace v tenkých pruzích NiTi u koncentrátorů napětí a únava při termomechanickém aktuátorovém cyklování.

V každé kapitole je v posledním odstavci uvedena dílčí diskuse výsledků. Závěrečná kapitola 7 pak shrnuje získané metodické i vědecké výsledky práce, vyjádření ke splnění cílů práce a návrh témat dalšího výzkumu.

Práce napsaná v angličtině je přehledná a graficky dobře zpracovaná. Zřejmě by se daly vynechat proklamativní odstavce či věty, které jen čtenáře zdržují a odkazují na budoucí kapitoly, jako např. „1.1 Overview of chapters 2 to 6“, nebo na začátku kapitoly 5: „Some results will be shown ...“, „Strain localization phenomena ... are dealt with in Chapter 6“. Celkový dobrý dojem kazí poměrně velké množství překlepů, ojediněle se vyskytují i nesprávné výrazy (například „temper“ namísto „taper“) nebo nesprávná označení v legendách u obrázků (např. totožný text v legendě Fig. 21 a Fig. 22, str. 41 a 43). Jinak jsem nenalezl žádné závažnější nedostatky či chyby.

Hlavním přínosem disertační práce je získání velmi rozsáhlého souboru experimentálních dat charakterizujících lokalizaci deformace při monotónním zatěžování i při únavě tenkých drátů z komerční slitiny s tvarovou pamětí NiTi. Uvedené výsledky představují nové vědecké poznatky, které je třeba ještě publikovat. Kromě toho byla vyvinuta a aplikována metodika 1D digitální obrazové korelace (DIC) s aplikací vysokorychlostních kamer pro použití při monotónním i dynamickém zatěžování v rozmezí teplot -100 až 500 °C.

Závěr

Doktorská disertační práce Ing. Lukáše Kadeřávka je zpracována na velmi aktuální téma vlivu lokalizace deformace na únavu tenkých drátů ze slitiny s tvarovou pamětí NiTi. Práce obsahuje velké množství originálních experimentálních vědeckých výsledků. Všechny stanovené cíle byly splněny. Doktorand prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat a dosažené výsledky prezentovat. Práci proto doporučuji k obhajobě.

V Praze, dne 19. května 2023

K diskusi při obhajobě mám následující otázky:

- 1) Jaké struktury odpovídají světle modré kroužky s indexy (-111), (022) a (113) ve Fig. 29 + Fig. 30?
- 2) Obrázek Fig. 55 (str. 84, PDF 103): můžete, prosím, okomentovat, jaký je rozdíl mezi stavy O2, O3 a O4?
- 3) Jak se nastavují v praxi v experimentu adaptivní limity deformace při únavě? Dají se tyto adaptivní limity použít „v provozu“ u nějaké součástky?