



Universita Karlova
Matematicko-fyzikální fakulta
katedra fyziky materiálů

Ke Karlovu 5, 121 16 Praha 2
Tel: +420 221 911 358, Fax.: +420 221 911 490
E-mail: mfkfk@met.mff.cuni.cz

Oponentský posudek dizertační práce

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

Autor: ing. Lukáš Kadeřávek

Oponent: prof. RNDr. Miloš Janeček, CSc.

Cíl práce: Předložená práce se zabývá vlivem lokalizace deformace na únavu slitin s tvarovou pamětí na bázi intermetalika NiTi. Motivací práce bylo zjistit, jakým způsobem lze zlepšit únavové vlastnosti komerčních slitin NiTi používaných v celé řadě biomedicinských či strojírenských aplikací.

Aktuálnost: Zlepšení únavových vlastností slitin NiTi tak, aby bylo možné provádět cyklické termomechanické zatěžování komerčních prvků NiTi s velkou vratnou deformací při vysokém napětí po velký počet cyklů, patří mezi klíčové cíle současného výzkumu slitin NiTi. Vyřešení tohoto problému nepochybně otevře nové perspektivy pro technologie na bázi NiTi v mnoha oblastech, jako je např. aktuace, elastokalorika, seismická ochrana atd.

Metodika:

V rámci dizertační práce byla vyvinuta nová metoda „jednorozměrné“ digitální obrazové korelace, která byla následně použita pro sledování změn lokalizované deformace (časové a prostorové rozložení lokálních deformací) během monotónního a cyklického termomechanického zatěžování tenkých drátů NiTi s kontrolovanou mikrostrukturou.

Kromě této hlavní metodiky byla v práci použita řada standardních experimentálních metod, zejména tahová zkouška s optickým měřením deformace (DIC), DSC, elektrická rezistivita, rentgenová a neutronová difrakce, světelná metalografie, řádkovací a transmisní elektronová mikroskopie. Z práce je zřejmé, že se autorovi podařilo zvládnout všechny tyto náročné metody. Zejména pozitivně hodnotím využití

elektronové mikroskopie včetně pokročilých analytických metod (EDS, EBSD) a velmi vysokou kvalitou i interpretaci použitých snímků mikrostruktury.

Výsledky a vědecký přínos

Autor práce získal velké množství originálních výsledků popisujících lokalizaci deformace při monotónní i cyklické tahové deformaci tenkých drátů z komerční slitiny s tvarovou pamětí NiTi. Za nejvýznamnější považují zjištění, že tahová deformace superelastického NiTi drátu probíhající prostřednictvím napětím indukované martenzitické transformace vede ke komplexním jevům lokalizace deformace (vznik dlouhých napěťových plat způsobených lokalizací deformace do makroskopických Lüdersových pásů, lokalizovaná deformace v po sobě jdoucích vícenásobných platech, tvorbě krčku atd.). Autor dále zjistil, že kromě lokalizované deformace NiTi způsobené napětím vyvolanou martenzitickou transformací, může k lokalizaci plastické deformace dojít rovněž během plastické deformace drátu v martenzitické fázi. Autor ukázal, že lokalizace nastává dvěma mechanismy – buď v krčku, což vede k lomu při deformaci 13-15 %, nebo prostřednictvím šíření makroskopických Lüdersových pásů s neobvykle velkou lokalizovanou plastickou deformací (až ~ 40 %). Autor dále prokázal, že periodické přetěžování superelasticky cyklovaného NiTi drátu může vést k výraznému prodloužení únavové životnosti.

Velmi dlouhé únavové životnosti komerčního NiTi drátu bylo dosaženo při superelastickém cyklování v tahu za pomoci adaptivních limitů testu, při 10 °C ($N_c > 200\,000$ cyklů). Toto lze označit za průlomové zjištění.

Autorovi se podařilo získat originální a klíčové experimentální výsledky, které přesahující nejnovější poznatky v oblasti únavy NiTi.

Struktura práce:

Disertační práce je členěna standardním způsobem. Kapitoly Úvod a Literární rešerše obsahují ucelený a přehledný souhrn aktuálních poznatků. Výsledky práce jsou prezentovány a diskutovány ve čtyřech kapitolách (3-6). V kapitolách 3 a 4 autor představuje použité experimentální metody a doplňuje je o údaje o měřených vzorcích NiTi. V kapitole 5 autor popisuje jevy lokalizace deformace při monotónní tahové zkoušce drátů NiTi. Kapitola 6 obsahuje hlavní výsledky disertační práce týkající se lokalizace deformace při cyklickém termomechanickém zatěžování drátů NiTi. V poslední kapitole - Závěr – autor shrnuje získané výsledky dizertační práce.

Splnění cílů: (Cíle práce: str. ix)

Stanovené cíle práce autor beze zbytku splnil (viz závěr - str. 113)

Závěrečné hodnocení:

Předložená dizertační práce představuje ucelený a vysoce kvalitní soubor experimentech poznatků, z nichž celá řada představuje zcela zásadní přínos k aktuálnímu stavu poznání

v oblasti slitin s tvarovou pamětí obecně a intermetalika NiTi speciálně. Výsledky mají velký publikační potenciál v prestižních mezinárodních časopisech z oboru. Za nejvýznamnější výsledek považují zjištění, že tahová deformace superelastického NiTi drátu probíhající prostřednictvím napětím indukované martenzitické transformace vede ke komplexním jevům lokalizace deformace. Za zcela originální považují rovněž zjištění, že kromě lokalizované deformace NiTi prostřednictvím martenzitické transformace vyvolané napětím může docházet k lokalizované plastické deformaci rovněž během plastické deformace drátu v martenzitické fázi.

Formální stránka dizertace i její grafická úprava jsou na vysoké úrovni. V práci je vzhledem k jejímu rozsahu pouze malé množství gramatických nebo stylistických chyb a nepřesností. Chyby odborného charakteru, které by snižovaly vysokou úroveň práce, jsem žádné nenašel. V celé práci je správně a jednotně použita odborná terminologie. Práce je stylisticky napsána snadno čitelným a velmi srozumitelným způsobem.

Otázky k oponentuře:

- 1) V odstavci 5.3.3 autor zavádí deformaci mechanismem kombinovaného ohybu a dvojčatění, tzv. „kwinking“. Mohl by autor tento mechanismus blíže vysvětlit a komentovat?
- 2) Fig. 33 je v práci uveden bez dalších komentářů, za ním následuje přímo diskuse. Mohl by autor blíže okomentovat hlavní přínos a význam výsledků uvedených na tomto obrázku?

Závěr: Závěrem konstatuji, že předložená dizertační práce obsahuje originální výsledky a svou kvalitou jednoznačně splňuje všechny podmínky pro vypracování dizertačních prací, v mnoha ohledech tato kritéria významně převyšuje. Doktorand tedy jasně prokázal schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu. Bez nejmenších pochybností tedy doporučuji přijetí dizertace k obhajobě a po úspěšné obhajobě doporučuji udělit ing. Lukáši Kadeřávkovi akademický titul philosophie doctor (Ph.D.).

Prof. RNDr. Miloš Janeček, CSc.

V Praze, 9.5. 2023