



## Oponentský posudok habilitačnej práce

Oponentský posudok habilitačnej práce s názvom „*Únavové charakteristiky niklovej superzliatiny IN 718*“.

**Autor práce:** Ing. Juraj Belan, PhD.

**Oponent:** prof. Ing. František Nový, PhD.

Oponentský posudok habilitačnej práce Ing. Juraja Belana, PhD., bol vypracovaný na základe vymenovania za oponenta predsedom vedeckej rady a dekanom Sjf UNIZA prof. Dr. Ing. Milanom Ságom, v súlade s vyhláškou MŠVVaŠ SR č. 246/2019 Z. z. o postupe získavania vedecko-pedagogických titulov a umelecko-pedagogických titulov docent a profesor, na základe súhlasu VR Sjf UNIZA zo dňa 15.03.2023 (uznesenie č. 02/2023).

Habilitant v predloženej monotematicky spracovanej habilitačnej práci prezentuje výsledky svojej vedecko-výskumnej činnosti, ktoré dosiahol počas svojho pôsobenia na KMI, Sjf, UNIZA v oblasti skúmania niklových superzliatin.

Zisťovanie únavových charakteristík konštrukčných materiálov umožňuje správnu voľbu konštrukčných materiálov a ich povrchových úprav v aplikáciách, pri ktorých sú strojné súčiastky vystavené cyklickému namáhaniu. Schopnosť niklových superzliatin prenášať mechanické namáhanie aj v agresívnych korózných prostrediach, extrémne nízkych aj vysokých teplotách ich predurčuje pre špeciálne aplikácie. Únavová odolnosť niklových superzliatin je v extrémnych podmienkach ovplyvňovaná množstvom externých a interných faktorov, ktoré sú intenzívne skúmané už od polovice minulého storočia a v dôsledku potreby vyvíjania nových zariadení so súčiastkami cyklicky zaťažovanými pri čoraz vyšších teplotách je určovanie ich únavových charakteristík stále naliehavším problémom. Zvolená téma habilitačnej práce je aktuálna a zodpovedá odboru habilitačného konania a inauguračného konania Strojárske technológie a materiály.

Habilitačná práca je z vedeckého aj pedagogického hľadiska dobre spracovaná v rozsahu plne zodpovedajúcom prácam tohto druhu, pričom je optimálne obsahovo a rozsahovo vyvážená. Štylisticky je napísaná ľahko čitateľným a zrozumiteľným spôsobom. Habilitant používa správnu odbornú terminológiu. Miestami sa vyskytujú drobné gramatické chyby, vzniknuté z nepozornosti, a rovnako formuláciám niektorých viet mohla byť po odbornej stránke venovaná väčšia pozornosť.

Jej teoretická časť je zameraná na rozbor súčasného stavu poznatkov v oblasti základnej charakterizácie niklových superzliatin, ich vývojových trendov, základných mechanizmov spevnenia, vzniku žiadúcich a nežiadúcich fáz, ovplyvňovania ich mikroštruktúry pridávaním legujúcich prvkov a tepelným spracovaním, ako i vplyvom mikroštruktúrnych parametrov a podmienok skúšania na ich únavové vlastnosti. Habilitant má v danej oblasti veľmi dobrý prehľad, o čom svedčia aj referencie na vlastné práce, publikované v renomovaných vedeckých časopisoch a zborníkoch z medzinárodných konferencií.

Nosná časť habilitačnej práce je zameraná na praktické štúdium štruktúrnych parametrov a ich vplyvu na únavové charakteristiky tvárnenej niklovej superzliatiny IN 718. Autor v nej popisuje získané experimentálne výsledky, podáva ich fyzikálnu interpretáciu a porovnáva ich s výsledkami iných autorov. Použité literárne citácie svedčia o širokom prehľade autora v oblasti spracovanej problematiky.



V práci sa vyskytli menšie nejasnosti, vyplývajúce pravdepodobne z nepozornosti a nie vždy správneho prekladu zahraničnej literatúry, ktoré iniciujú zaujímavé otázky, z ktorých aspoň na nasledovné by mal habilitant v rámci vedeckej rozpravy k predloženej práci reagovať:

1. V úvode na str. 6, a v kap. 2.3 na str. 31 sa píše o schopnosti precipitačného vytvrdenia unikátnymi spevňujúcimi fázami. Čím sú tieto fázy unikátne, v porovnaní s inými spevňujúcimi fázami v iných precipitačne vytvrditeľných konštrukčných materiáloch?
2. Z pedagogického hľadiska by bolo vhodné k schematickým obrázkom uvádzať aj slovný popis vystihujúci základné princípy funkcie, pretože zdanlivo jednoduchý obrázok popisujúci nejaké deje, nemusí byť každému dostatočne zrozumiteľný. Skúste vysvetliť napr. technologické postupy demonštrované na obr. 6, str. 24 a obr. 9 a,b; str. 28.
3. Prečo by mala iniciácia únavových trhlín na povrchu materiálu prebiehať len mechanizmom tvorby PSBs; str. 51?
4. Čím je vysvetlený fakt, že bolo zistené, že pri vyšších amplitúdach napätia dochádza k viacnásobnej iniciácii trhliny a naopak, pri malých amplitúdach napätia sa trhlina iniciovala len na jednom mieste; str. 52?
5. Pedagogicky vysvetlite mechanizmy graficky znázornené v modeli iniciácie únavovej trhliny na obr. 15; str. 52.
6. Prečo je charakter iniciácie únavovej trhliny v niklových zliatinách závislý od asymetrie zaťažovacieho cyklu; str. 53?
7. Vysvetlite ako „Iniciácia únavovej trhliny v dôsledku kumulácie zaťaženia kontinuálne prechádza do tretieho štádia, šírenia únavovej trhliny končiace statickým dolomením.“; str. 54.
8. Vysvetlite fyzikálny mechanizmus, o ktorý sa opiera tvrdenie: „ Zistil, že medza únavy, rovnako ako aj pevnosti v ťahu a dohovorovaná medza klzu superzliatiny IN 718 s klesajúcou teplotou paradoxne narastá, obr. 20. Takéto správanie pripisuje kontrole veľkosti a distribúcie karbidov s vysokým obsahom Nb. Inými slovami, zjemnením karbidov a znížením ich objemového podielu je možné zvýšiť únavovú životnosť v oblasti vysokocyklovej únavy pri kryogénnych teplotách.“; str 61.
9. Podľa akej normy boli robené skúšky tečenia pri teplote 649 °C, ktorých výsledky sú uvedené v Tab. 7 na str. 68 a prečo práve pri teplote 649 °C ? S akou presnosťou bola riadená teplota pri daných skúškach?
10. Vysvetlite fyzikálny mechanizmus, ktorý sa uplatňuje pri dejoch popisovaných vo vete „Chladenie drieku vzorky bolo nevyhnutné aby trenie, ktoré vznikalo vo vnútri materiálu prechodom ultrazvukových vln, nezvýšilo teplotu a nenatavilo hranice zrn.“; str. 72.
11. Aký zmysel má znamienko – pri exponente  $b$  krivky únavovej životnosti vo vete; str. 73?
12. Čo je to „Basquinov princíp, ktorý bol použitý aj pri ostatných skúškach únavovej životnosti“; str. 73?
13. Nesprávne formulované súvetia, napr.: „Ako je uvedené v prácach viacerých autorov (Cetel et al. 1988, Ghorbanpour et al. 2021 a Kim et al. 2021) veľkosť karbidických fáz je dôležitá z hľadiska iniciácie únavovej trhliny. Ich veľkosť a morfológia môžu pôsobiť ako koncentrátoři napätia (najmä v prípade TiC ostrohranných karbidov) a potenciálne miesta vzniku únavovej trhliny“; str. 79 a 80.



14. Kde je možné na obr. 32 a,b vidieť to, čo sa píše vo vete: „V okolí vylúčenej  $\delta$ - fázy bola vo východiskovom stave pozorovaná veľmi tenká, tzv. denudovaná oblasť, ktorá je charakteristická zníženým obsahom Nb, obr. 33b.“; str. 81?
15. Popíšte javy na obr. 34 c; str. 83.
16. Vysvetlite fyzikálny mechanizmus, ktorým vysvetľujete deje popísané vo vete: „Pokles SFE zliatiny tým pádom zjednoduší disociáciu dislokácií v matrici  $\gamma$  (obr. 36 a), podporí proces mikro-dvojčatenia  $\gamma'$ -fázy a tým zvýši odolnosť voči tečeniu a zlepši vlastnosti zliatiny pri tečení; str. 85.
17. Aký zmysel a výpovednú hodnotu má Tab. 11; str. 89?
18. Odkiaľ pochádza Smithov diagram na obr. 38; str. 90?
19. Kde na obr. 39 a 40 je možné vidieť oblasť zodpovedajúcu zmenám mechanických vlastností, o ktorej sa píše na str. 94?
20. Fyzikálne vysvetlite Vaše tvrdenie: „Znížený počet miest iniciácie súvisí pravdepodobne so zvýšeným objemovým podielom acikulárnej  $\delta$ -fázy v štruktúre, ktorá v podpovrchových oblastiach pôsobí ako indikátor lomu a predstavuje hlavnú fázu pre šírenie únavovej trhliny (Ling et al. 2019 a Rafiei et al. 2021). Na obr. 39 h sú viditeľné štiepne fazety transkrystalického porušenia s riečkovou morfológiou, ktoré sa nachádzali tesne pod povrchom, v mieste iniciácie únavovej trhliny. Iniciácia bola vždy realizovaná na povrchu vzorky alebo tesne pod povrchom na karbidických časticách, obr. 39 b,f v prípade skúšok pri teplote okolia, resp. na oxidoch, ktoré obklopovali primárne karbidy NbC tesne pod povrchom, obr. 39 d. Dôvodom, prečo únavové trhliny iniciujú na voľnom povrchu vzorky sú dislokácie, ktoré sú na voľnom povrchu materiálu pohyblivejšie v porovnaní s vnútorným objemom, povrch je preferenčným miestom nukleácie dislokácií a povrch je vystavený účinkom agresívneho prostredia (Forsyth 1972).“; str. 96.
21. Kde na obr. 40 f je možné vidieť „PSB (klasický mechanizmus iniciácie únavovej trhliny), o ktorom sa píše v texte a čo reprezentuje červený rámik na tomto obrázku; str. 98?
22. Pre aké typy konštrukčných materiálov je možné použiť vzťah, ktorým predikujete počet cyklov potrebný na vytvorenie trhliny na str. 100? Je jeho použiteľnosť naozaj limitovaná len veľkosťou zrna?
23. Vysvetlite mechanizmus, ktorým by bolo možné vysvetliť časť vety: „ ... často spojená s tvorbou sekundárnych trhlín, ktoré sa postupne spájajú do jednej hlavnej (magistrálnej) trhliny.“; str. 103.
24. Kde na obr. 42c je možné vidieť „pozorovaný interkrystalický charakter šírenia únavovej trhliny s výraznými štiepnymi fazetami“, o ktorom sa píše na str. 103?
25. Vysvetlite prečo je v prípade zliatiny IN 718-3 tvorba sekundárnych trhlín intenzívnejšia v dôsledku kombinácie vysokoteplotnej únavy, oxidácie a tečenia materiálu; str. 106?

Záverečné hodnotenie:

Predložená habilitačná práca veľmi dobre prezentuje súčasný stav poznatkov v študijnom odbore Strojárstvo a prináša nové originálne poznatky týkajúce sa únavových charakteristík niklových superzliatin. Spĺňa kritériá kladené na práce tohto druhu a ako celok je ju možné považovať za dostatočný podklad pre posúdenie spôsobilosti uchádzača z pohľadu nárokov na odbornú erudíciu vysokoškolského docenta v odbore habilitačného konania a inauguračného konania Strojárske technológie a materiály.



Výsledky publikačnej činnosti habilitanta a citačný ohlas na jeho práce svedčia o tom, že Ing. Juraj Belan, PhD., je známou osobnosťou vo vedeckej komunite nielen na Slovensku, ale aj v zahraničí. Rovnako prezentácie jeho výsledkov na konferenciách sa vyznačujú veľmi dobrým didaktickým prístupom s jasnou formuláciou problému, s dôrazom na jeho podstatu a vysvetlenie.

Habilitant dlhodobo systematicky vedecky pracuje v oblasti štúdia súvislostí medzi štruktúrou a vlastnosťami niklových a titánových zliatin a bol zodpovedným riešiteľom a spoluriešiteľom viacerých vedeckých grantových projektov.

Na základe preštudovania predloženej habilitačnej práce, zaslaných materiálov potrebných pre začatie habilitačného konania a osobných skúseností s menovaným konštatujem, že Ing. Juraj Belan, PhD., preukazuje vysokú vedeckú aj pedagogickú erudovanosť a na svojom pracovisku rozvíja systematicky vlastnú vedeckú školu v oblasti, ktorá bola prezentovaná v predloženej habilitačnej práci.

Komplexným posúdením jeho pedagogických, vedecko-výskumných, publikačných, organizačných a iných aktivít:

**odporúčam pokračovať v habilitačnom konaní**

a po úspešnej habilitácii mu

**udelit' vedecko-pedagogický titul docent v odbore habilitačného konania  
a inauguračného konania Strojárske technológie a materiály.**

V Žiline, 28.4.2023

prof. Ing. František Nový, PhD.