

Záverečná karta projektu

Názov projektu **Nové vysokoteplotné kompozitné materiály pre turbodúchadlá** Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0660**

Zodpovedný riešiteľ **Ing. Juraj Lapin, DrSc.**
Príjemca **Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

žiadny

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. Patent č. 288792. 04.02.2020.

Majiteľ/spolujemajiteľ: Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, Bratislava, SK; Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava-Poruba, CZ. 2020.

Názov vynálezu: Spôsob kontrolovaného legovania intermetalických zliatin γ -TiAl uhlíkom v priebehu vákuového indukčného tavenia v grafitových téglikoch.

Mená autorov: Juraj Lapin, Tomáš Čegan, Ivo Szurman, Miroslav Kursá.

2. Medzinárodná prihláška patentu PCT/SK2019/000002. 08.07.2019.

Majiteľ/spolujemajiteľ: Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, Bratislava, SK; Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava-Poruba, CZ. 2019.

Názov vynálezu: Method of controlled alloying of intermetallic γ -TiAl alloys with carbon during vacuum induction melting in graphite crucibles.

Mená autorov: Juraj Lapin, Tomáš Čegan, Ivo Szurman, Miroslav Kursá.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

[1] LAPIN, Juraj – KLIMOVÁ, Alena – GABALCOVÁ, Zuzana – PELACHOVÁ, Tatiana – BAJANA, Otto. – ŠTAMBORSKÁ, Michaela: Microstructure and mechanical properties of cast in-situ TiAl matrix composites reinforced with (Ti,Nb)₂AlC particles. In MATER DESIGN, 2017, vol. 133, pp. 404-415. ISSN 0264-1275. (4,364 - IF2016).
doi:10.1016/j.matdes.2017.08.012

[2] LAPIN, Juraj – MAREK, Katarína: Effect of continuous cooling on solid phase transformations in TiAl-based alloy during Jominy end-quench test. In J ALLOY COMPD, 2018, vol. 735, pp. 338-348. ISSN 0925-8388. (3,779 - IF2017).
doi:10.1016/j.jallcom.2017.11.076

[3] LAPIN, Juraj – PELACHOVÁ, Tatiana – DOMÁNKOVÁ, Mária: Long-term creep behaviour of TiAl-Ta alloy. In INTERMETALLICS, 2018, vol. 95, pp. 24-32. ISSN 0966-9795. (3,420 - IF2017). doi:10.1016/j.intermet.2018.01.013

- [4] LAPIN, Juraj – ŠTAMBORSKÁ, Michaela – PELACHOVÁ, Tatiana – BAJANA, Otto: Fracture behaviour of cast in-situ TiAl matrix composite reinforced with carbide particles. In *MAT SCI ENG A-STRUCT*, 2018, vol. 721, pp. 1-7. ISSN 0921-5093. (3,414 - IF2017). doi:10.1016/j.msea.2018.02.077
- [5] KAMYSHNYKOVA, Kateryna – LAPIN, Juraj: Vacuum induction melting and solidification of TiAl-based alloy in graphite crucibles. In *VACUUM*, 2018, vol. 154, pp. 218-226. ISSN 0042-207X. (2,067 - IF2017). doi:10.1016/j.vacuum.2018.05.017
- [6] LAPIN, Juraj – KAMYSHNYKOVA, Kateryna: Processing, microstructure and mechanical properties of in-situ Ti₃Al+TiAl matrix composite reinforced with Ti₂AlC particles prepared by centrifugal casting. In *INTERMETALLICS*, 2018, vol. 98, pp. 34-44. ISSN 0966-9795. (3,420 - IF2017). doi:10.1016/j.intermet.2018.04.012
- [7] LAPIN, Juraj – ŠTAMBORSKÁ, Michaela – KAMYSHNYKOVA Kateryna – PELACHOVÁ, Tatiana – KLIMOVÁ, Alena – BAJANA, Otto: Room temperature mechanical behaviour of cast in-situ TiAl matrix composite reinforced with carbide particles. In *INTERMETALLICS*, 2019, vol. 105, pp. 113-123. ISSN 0966-9795. (3,353 - IF2018). doi:10.1016/j.intermet.2018.11.007
- [8] LAPIN, Juraj – PELACHOVÁ, Tatiana – BAJANA, Otto: High temperature deformation behaviour and microstructure of cast in-situ TiAl matrix composite reinforced with carbide particles. In *J ALLOY COMPD*, 2019, vol. 797, pp. 754-765. ISSN 0925-8388. (4,175 - IF2018). doi:10.1016/j.jallcom.2019.05.136
- [9] LAPIN, Juraj – KLIMOVÁ, Alena: Vacuum induction melting and casting of TiAl-based matrix in-situ composites reinforced by carbide particles using graphite crucibles and moulds. In *VACUUM*, 2019, vol. 169, no. 108930. (2,515 - IF2018). ISSN 0042-207X. doi:10.1016/j.vacuum.2019.108930
- [10] LAPIN, Juraj – KAMYSHNYKOVA, Kateryna – KLIMOVÁ, Alena: Comparative study of microstructure and mechanical properties of two TiAl-based alloys reinforced with carbide particles. In *MOLECULES*, 2020, vol. 25, Article No.: 3423. ISSN 1420-3049. (3,267 - IF2019). doi:10.3390/molecules25153423
- [11] LAPIN, Juraj – PELACHOVÁ, Tatiana – ŠTAMBORSKÁ, Michaela – ČEGAN, Tomáš – VOLODARSKAJA, Anastasia: Hot deformation behaviour and microstructure evolution of TiAl-based alloy reinforced with carbide particles. In *INTERMETALLICS*, 2020, vol. 127, pp. 1-12. ISSN 0966-9795. (3,398 - IF2019). doi:10.1016/j.intermet.2020.106962
- [12] KAMYSHNYKOVA, Kateryna – LAPIN, Juraj: Grain refinement of cast peritectic TiAl-based alloy by solid-state phase transformations. In *KOVOVE MATER*, 2018, vol. 56, pp. 277-287. ISSN 0023-432X. (0,636 - IF2017). doi:10.4149/km_2018_5_277
- [13] ŠTAMBORSKÁ, Michaela – LAPIN, Juraj – BAJANA, Otto: Effect of carbon on the room temperature compressive behaviour of Ti-44.5Al-8Nb-0.8Mo-xC alloys prepared by vacuum induction melting. In *KOVOVE MATER*, 2018, vol. 56, pp. 349-356. ISSN 0023-432X. (0,636 - IF2017). doi:10.4149/km_2018_6_349
- [14] KLIMOVÁ, Alena – LAPIN, Juraj: Effects of C and N additions on primary MAX phase particles in intermetallic Ti-Al-Nb-Mo matrix in-situ composites prepared by vacuum induction melting. In *KOVOVE MATER*, 2019, vol. 57, pp. 151-157. ISSN 0023-432X. (0,593 - IF2018). doi:10.4149/km_2019_3_151
- [15] KLIMOVÁ, Alena – LAPIN, Juraj: Effect of Al content on microstructure of Ti-Al-Nb-C-Mo composites reinforced with carbide particles. In *KOVOVE MATER*, 2019, vol. 57, pp. 377-387. ISSN 0023-432X. (0,593 - IF2018). doi:10.4149/km_2019_6_377
- [16] KLIMOVÁ, Alena – LAPIN, Juraj: The effect of heat treatment on microstructure and hardness of in-situ Ti-38Al-7.5Nb-5C-0.9Mo composite. In *KOVOVE MATER*, 2020, vol. 58, pp. 433-443. ISSN 0023-432X. (0,765 - IF2019). doi: 10.4149/km_2020_6_433

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu boli začlenené do vzdelávacieho procesu študentov vysokých škôl na všetkých stupňoch štúdia a tvorili základ medzinárodnej spolupráce s Regionálnym materiálno-technologickým výskumným centrom VŠB v Ostrave. Zároveň výsledky projektu boli publikované v 16 impaktovaných karentovaných článkoch, 3 články v nekarentovaných vedeckých časopisoch a 12 príspevkoch publikovaných v zborníkoch z medzinárodných vedeckých konferencií.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku

(max. 20 riadkov)

Vytýčené ciele projektu, ktoré boli zamerané na výskum a vývoj technológie prípravy, objasnenie formovania spevňujúcej fázy a stanovenie vzájomných vzťahov medzi štruktúrou a vlastnosťami nových kompozitov typu TiAl-MAX, sme splnili v plnom rozsahu. Pri dizajne kompozitov sme obsah legujúcich prvkov menili v rozsahu (40-53)Ti, (37-47)Al, (4-10)Nb, (0-0,8)Mo, (0-4)Ta, (0,5-7)C a (0-5)N (v at.%), aby sme získali systémy s rôznym typom intermetallickej matrice a rôznym objemovým podielom spevňujúcej fázy MAX. V rámci riešenia projektu sme vyvinuli relatívne lacnú technológiu prípravy kompozitov. Objasnili sme formovanie mikroštruktúry v priebehu kryštalizácie a fázových transformácií v tuhom stave. Morfológia primárnych častíc MAX fázy tvoriacich sa počas kryštalizácie závisí od rýchlosti ochladzovania a obsahu uhlíka a dusíka. Dusík substituuje uhlík v primárnej kryštalizačnej MAX fáze. Určili sme vplyv mikroštruktúry matrice a objemového podielu MAX fázy na mechanické vlastnosti pri izbovej teplote. Aplikovali sme metódu konečných prvkov (MKP) na výpočet distribúcie napätí v okolí koreňa vrubu. Vypočítali sme a experimentálne overili kritické napätie potrebné na iniciáciu trhliny vo vrube skúšaných vzoriek počas skúšok v trojbodovom ohybe. Definovali sme vplyv teploty a rýchlosti deformácie na deformačné správanie kompozitov. Navrhli sme a experimentálne overili konštitutívny model na predikciu tlakových deformačných kriviek pri vysokých teplotách. Kompozity s lamelárnou maticou spevnenou malým objemovým podielom MAX fázy, ktoré boli vyvinuté v rámci tohto projektu, majú výrazne lepšiu odolnosť voči vysokoteplotnému creepu ako všetky doteraz publikované zliatiny typu TiAl.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The set objectives of the project focused on research and development of technology, description of the strengthening phase formation and determination of mutual relationships between the microstructure and properties of new TiAl-MAX type composites have been fully met. In the design of new composites, the content of alloying elements was varied in the range of (40-53) Ti, (37-47) Al, (4-10) Nb, (0-0.8) Mo, (0-4) Ta, (0.5-7) C and (0-5) N (in at.%) to obtain systems with different types of intermetallic matrix and different volume fraction of the strengthening MAX phase. Cost-effective technology for the preparation of composites was developed. The microstructure formation during solidification and solid-state phase transformations was elucidated. The morphology of the primary MAX phase formed during solidification depends on cooling rate and content of carbon and nitrogen. Nitrogen substitutes carbon in the primary solidification MAX phase. The effect of the matrix and volume fraction of the MAX phase on room temperature mechanical properties was determined. The finite element method (FEM) was applied to calculate stress distribution around notch tip during 3-point bend testing. The critical stress required to initiate a crack in the notch was numerically calculated and experimentally verified. The effect of temperature and strain rate on the deformation behaviour was defined. A constitutive model for the prediction of compression deformation curves was proposed and experimentally verified. Composites with a lamellar matrix reinforced with a small volume fraction of the MAX phase developed within this project have significantly improved high-temperature creep resistance compared to that of all previously published TiAl type alloys.