

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-0556-12****Kompozity na báze ľahkých kovov pripravené in situ reakčnou syntézou**Zodpovedný riešiteľ **Ing. Martin Balog, PhD.**Príjemca **Ústav materiálov a mechaniky strojov, Slovenská akadémia vied**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Ústav materiálov a mechaniky strojov, Slovenská akadémia vied
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9.500 (8400) Bariloche, Río Negro, Argentina
2. Department of Chemical Engineering and Materials Science, University of California, Davis, CA 95616, USA
- 3.

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

1. Podacie číslo: 1000017650  
Číslo prihlášky: PP50046-2016  
Dátum podania: 13 júl 2016  
Prihlasovateľ: ÚSTAV MATERIÁLOV A MECHANIKY STROJOV SAV  
Názov: Kompozitný materiál na implantáty, jeho použitie a spôsob výroby  
Pôvodcovia: Balog M., Catic A., Krizik P., Schauperl Z.

2. Submission Number: 054220  
Application Number: PCT/IB2016/054220  
Date of Receipt: 14 July 2016  
Receiving Office: International Bureau of the World Intellectual Property Organization  
Applicant: ÚSTAV MATERIÁLOV A MECHANIKY STROJOV SAV  
Title: COMPOSITE MATERIAL FOR IMPLANTS, ITS USE AND METHOD OF

ITS PRODUCTION

Inventors: Balog M., Catic A., Krizik P., Schauperl Z.

3. Číslo PV: 559-03/2-15-001

Mená autorov: Balog Martin, Krížik Peter, Amir Čatić, Zdravko Schauperl

Názov vynálezu: BIOAKTIVNI KOMPOZITNI METAL

Majiteľ / spolumajiteľ:

Krajina: Chorvátsko

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

1. Ultrafine-grained Al composites reinforced with in-situ Al<sub>3</sub>Ti filaments, Krizik P., Balog M., Nosko M., Riglos M.V.C., Dvorak J., Bajana O., Mater. Sci. Eng., A 657 (2016) 6-14.
2. On the thermal stability of ultrafine-grained Al stabilized by in-situ amorphous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> network, Balog M., Hu T., Krížik P., Riglos M.V.C., Saller B.D., Yang H., Schoenung J.M., Lavernia E.J., Mater. Sci. Eng. A 648 (2015) 61-71.
3. The effect of a particle-matrix interface on the Young's modulus of Al/SiC composites, Krizik P., Balog M., Matko I., Svec Sr. P., Cavojsky M., Simancik F., J. Compos. Mater. 50 (2016) 99-108.
4. Forged HITEMAL: Al-based MMCs strengthened with nanometric thick Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> skeleton , Balog M., Krizik P., Nosko M., Hajovska Z., Riglos M.V.C., Rajner W., Liu D.-S., Simancik F , Mater. Sci. Eng., A 613 (2014) 82–90.
5. The effect of atmosphere on reactions in Ni-Al green compacts subjected to thermal treatment in argon and air, Opálek A., Štefánik P., Iždinský K., Kúdela S. Jr., Zemánková M., Švec P.Jr., Kovove mater. 5 (2014) 279 - 285.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Vyvinuté kompozity majú dobrý aplikačný potenciál najmä pre ľahké konštrukčné súčiastky, od ktorých sa očakávajú zlepšené mechanické vlastnosti a creepová odolnosť pri vyšších teplotách. Niektoré študované kompozity už boli vyrobené v pilotnej prevádzke pre konkrétne aplikácie v spolupráci s priemyselným partnerom, napr. Al-AlN pre energetický priemysel, a Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a Ni/Al+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pre vetnily spaľovacích motorov. Od kompozitných materiálov na báze Mg spevnených/vystužených kontinuálnymi C vláknami sa očakávajú špičkové aplikácie vo vesmírnom programe a to konkrétne pre aplikáciu nosného ramena satelitu s požadovanou vysokou mernou pevnosťou a tuhosťou, a odolnosťou voči kozmickému žiareniu. Tento materiál sa v súčasnosti na tento účel vyvíja v rámci vyvolaného projektu ESA. Okrem toho sú materiály na báze Mg veľmi výhodné pre medicínske aplikácie, kde sa využíva ich výborná biokompatibilita a možnosť riadenej degradácie.

### **CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV**

#### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Výskum sa venoval viacerým kompozitným systémom s maticou z ľahkých kovov (najmä Al a Mg), u ktorých spevňujúca zložka vzniká v samotnom procese prípravy in situ a vznik asociovanej pórovitosti je potlačený pôsobením tlaku. Študovali sa tri principiálne odlišné technologické postupy: i/ lisovanie práškových zmesí na báze Al práškov v tuhom stave, pričom spevňujúcou zložkou vo výslednom kompozite bol reakčnou syntézou transformovaný pôvodný oxid z povrchu použitých Al práškov, intermetalická Al<sub>3</sub>Ti fáza z pôvodných Al a Ti práškov resp. AlN vytvorený reakčnou nitridáciou povrchu Al práškov pred následným prietlačným lisovaním; ii/ tlaková infiltrácia lisovanej zmesi práškov Ni a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> roztaveným hliníkom, s cieľom prípravy kompozitu s NiAl maticou spevnenou časticami Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; iii/

tlaková infiltrácia uhlíkových vlákien roztaveným horčikom s prísadami karbidotvorných prvkov, pričom tieto reagovali počas infiltrácie s uhlíkovým vláknom s cieľom vytvoriť pevné a stabilné rozhranie.

Vo všetkých prípadoch sa podarilo pripraviť nové kompozitné materiály s výnimočnými vlastnosťami, popísať spôsob tvorby ich finálnej mikroštruktúry pomocou reakcií prebiehajúcich počas syntézy a charakterizovať ich najdôležitejšie vlastnosti. Ukázalo sa, že reakčná syntéza využívajúca tlak počas tvorby spevňujúcich fáz je výhodným nástrojom na ekonomicky prijateľnú prípravu kompozitov so špičkovými vlastnosťami, často presahujúcimi možnosti materiálov komerčne využívaných v súčasnosti. Za najväčší prínos projektu možno považovať najmä nové poznatky objasňujúce tvorbu mikroštruktúry počas reakčnej syntézy v rôznych podmienkach a popis postupu optimálneho postupu pri jej realizácii.

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

The research was devoted to various composite system with a light metals matrix (especially Al), in which the reinforcement forms in situ during fabrication and associated porosity is suppressed by pressure. Were studied, three fundamentally different technological processes: i/ pressing of powder mixtures based on Al powders in solid state, with strengtening component in the resulting composite, which arose due to the reaction synthesis from transformed native  $Al_2O_3$  on a surface of used Al powder or an intermetallic  $Al_3Ti$  phase which stemmed from Al and Ti powders.  $AlN$  formed by surface nitriding reaction on Al powder surface before then extruding; ii/ pressure infiltration pressed mixture of powders of Ni and  $Al_2O_3$  by molten Al, to prepare NiAl matrix composites reinforced with  $Al_2O_3$  particles; iii/ pressure infiltration of C fibers with molten Mg alloyed with carbide forming elements, while these reacted during infiltration with a carbon fiber to form a solid and stable interface.

In all cases, we were able to provide new composite materials with exceptional properties, to describe the method of fabrication of final microstructure by the reactions taking place during the synthesis and characterization of their most important properties. It was found that reaction synthesis accompanied by extrenal pressure during the formation of the reinforcing phase is the preferred instrument for preparing an acceptably composites with excellent properties, often exceeding the possibility of the materials commercially used at present. The greatest benefits of the project can be considered particularly new information clarifying the formation of microstructures during the synthesis reaction in different circumstances and description of the optimal procedure for its implementation.

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

**Zodpovedný riešiteľ**

Balog Martin

V Bratislave 30.01.2017

**Štatutárny zástupca príjemcu**

Iždinský Karol

V Bratislave 30.01.2017

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu