



## Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

**APVV-0520-10**

**Vysokoteplotné nanokompozitné povlaky so zvýšenou oxidačnou odolnosťou a životnosťou.**

Zodpovedný riešiteľ **František Lofaj**

Príjemca **ÚMV SAV**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Ústav materiálového výskumu SAV
2. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského
3. Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV
- 4.
- 5.

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

1. AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland
2. Institute of Metallurgy and Materials Science of Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland
- 3.

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

1. Ferdinandy Milan, Dusza Ján, Lofaj František, Kottfer Daniel, Hegedúsová Lucia:  
Zariadenie na prípravu vrstiev karbidov, nitridov, silicidov, boridov W, Cr, Mo, Re, Os, Rh, Ru a multivrstvových a kompozitných štruktúr na vnútornej valcovej ploche elektricky vodivej rúry.  
Číslo patentu 288155 - udelený 16.12.2013
- 2.
- 3.

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

1. LOFAJ, F. - MOSKALEWICZ, T. - CEMPURA, G. - MIKULA, M. - DUSZA, J. - CZYRSKA-FILEMONOWICZ, A.: Nanohardness and tribological properties of nc-TiB<sub>2</sub> coatings. Journal of the European Ceramic Society, 33, 2013, s.2347-2353
2. DUSZOVÁ, A. – HALGAŠ, R. – BL'ANDA, M. - HVIZDOŠ, P. - LOFAJ, F. - DUSZA, J. -

MORGIEL, J.: Nanoindentation of WC-Co hardmetals. Journal of the European Ceramic Society, 33, 2013, s.2227-223

3. LOFAJ, F. - FERDINANDY, M. - CEMPURA, G. - HORŇÁK, P. - VNOUČEK, M.: Transfer film in a friction contact in the nanocomposite WC-C coatings. Journal of the Australian Ceramic Society, 49, 2013, 1, s.37-46

4. MIKULA, M. - GRANČIČ, B. - DRIENOVSKÝ, M. - SATRAPINSKY, L. - ROCH, T. - HÁJOVSKÁ, Z. - GREGOR, M. - PLECENÍK, T. - ČIČKA, R. - PLECENÍK, A. - KÚŠ, P.: Thermal stability and high-temperature oxidation behavior of Si-Cr-N coatings with high content of silicon. In Surface and coatings technology, 2013, vol.232, p.349-356.

5. B. GRANČIČ, M. MIKULA, T. ROCH, P. ZEMAN, L. SATRAPINSKY, M. GREGOR, T. PLECENIK, E. DOBROČKA, Z. HÁJOVSKÁ, M. MIČUŠÍK, A. ŠATKA, M. ZAHORAN, A. PLECENIK, P. KÚŠ,,: Effect of Si addition on mechanical properties and high temperature oxidation resistance of Ti-B-Si hard coatings. In Surface and coatings technology, 2013, [http://dx.doi.org/ 10.1016/j.surfcoat.2013.12.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.12.011)

2.

3.

4.

5.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Optimalizované parametre prípravy povlakov môžu slúžiť ako vstupné dáta pre aplikovaný výskum pre komerčné povlakovacie centrá vo viacerých smeroch. Najvyšší potenciál transferu do komerčnej praxe majú nové poznatky vedúce k vývoju nových viackomponentných systémov s výrazne vyššou oxidačnou odolnosťou (v niektorých prípadoch až do 1000°C) so špecifickými dopantmi (Ta, ale aj Cr a Si). Druhým mimoriadne dôležitým prínosom pre technickú prax je získanie súboru poznatkov na dosiahnutie dostatočnej adhézie tvrdých povlakov na ložiskových oceľiach s veľmi nízkymi relatívnymi popúšťacími teplotami. Tento problém doteraz nebol ani vo svete úplne vyriešený a má pre oblasť ložísk mimoriadny potenciál. Tretia oblasť priamych prínosov pre technickú prax je preukázaná priamou spoluprácou s firmou Staton, s.r.o., v oblasti aplikácie najnovšej technológie HiPIMS na vývoji moderných povlakov s výrazne zlepšenými vlastnosťami.

### **CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV**

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

Pri vývoji a optimalizácii postupov prípravy tvrdých teplotne stabilných nanoštruktúrnych vrstiev ternárnych a quarternárnych systémov boli optimalizované podmienky prípravy povlakov systémov W-C v s reaktívnymi plynmi C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>+SiH<sub>4</sub> z hľadiska dosiahnutia čo najvyššej tvrdosti a minimalizácie koeficientu trenia a podarilo sa dosiahnuť zvýšenia tvrdosti až na 28 GPa. Pridaním zmesi reaktívnych plynov N<sub>2</sub> + SiH<sub>4</sub> do magnetrónovo naprašovaných a PECVD W-C povlakov sa podarilo zvýšiť začiatok degradácie tvrdosti z cca 300°C na teploty okolo 500°C. Ďalej boli reaktívnym magnetrónovým naprašovaním pripravované amorfné Si-Cr-N s teplotnou stabilitou až do ~1000°C a tvrdosťou zvýšenou na 33 GPa.

V prípade quarternárnych systémov boli optimalizované systémy typu Ta-Al-Y-N s kubickou metastabilnou TaAlN fázou, ktorá bola oxidačne stabilná do teploty 860°C. V viacložkovom systéme Cr-Al-Y-Ta-N viedlo dopovanie Ta v intervale 0 – 10 at% k zvýšeniu teploty začiatku oxidácie z 860°C nad 900°C.

Práce na aplikácii HIPIMS technológie vedené v spolupráci s priemyselným partnerom

Staton, s.r.o., viedli k vývoju systému Ti-C-N s nízkym koeficientom trenia (COF = 0,35), a dostatočnou adhéziou bez prekročenia teploty popúšťania základného materiálu na úrovni 170oC.

Hlavný cieľ projektu, vrátane jeho základných čiastkových úloh a merateľných ukazovateľov, bol splnený.

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

During development and optimization of the deposition conditions of hard, thermally stable nanostructured coatings from ternary and quaternary systems, the deposition conditions for the preparation of W-C coatings with C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>+SiH<sub>4</sub> reactive gasses were optimized in order to achieve the maximum hardness and minimum coefficient of friction. An increase of hardness up to 28 GPa was achieved. The addition of the mixture of reactive gasses N<sub>2</sub> + SiH<sub>4</sub> into magnetron sputtered and PECVD W-C coatings resulted in the increase temperature of the onset hardness degradation from ~300oC up to ~500°C. Additionally, amorphous Si-Cr-N coatings thermally stable up to ~1000°C and hardness increased up to 33 GPa have been prepared by reactive magnetron sputtering.

In the case of quaternary systems, Ta-Al-Y-N system with a metastable cubic TaAlN phase has been optimized. It was stable against oxidation up to 860°C. Codoping by Ta within 0-10 at% in a multicomponent Cr-Al-Y-Ta-N resulted in the increase of the onset temperature of oxidation from 860oC up to 900°C.

The works on the application of HIPIMS technology carried out in collaboration with an industrial partner Staton, s.r.o., resulted in the development of Ti-C-N system with low coefficient of friction (COF = 0,35) and sufficient adhesion without exceeding the tempering temperature of the base material of around 170oC.

The main aim of the project, including all its partial tasks and deliverables, have been fulfilled.

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

**Zodpovedný riešiteľ**

František Lofaj

V Košiciach, 28.1.2014

**Štatutárny zástupca príjemcu**

RNDr. Peter Ševc, PhD.

V Košiciach 28.1.2014

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu