

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0337**

**Výskum zvárania progresívnych ľahkých zliatin lúčovými technológiami**

Zodpovedný riešiteľ **prof. Milan Marônek, PhD.**

Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave -  
Materiálovotechnologická fakulta, Trnava**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave Slovenskej technickej univerzity v Bratislave  
Prvá zväračská, a. s.

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

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

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

BÁRTA, Jozef - MARÔNEK, Milan - ŠIMEKOVÁ, Beáta - MARIČ, D. Analysis of weld joints made of titanium alloy grade 2 produced by electron beam welding. In Metalurgija. Metallurgy. Vol. 58, 3-4 (2019), s. 255-258. ISSN 0543-5846 (2018: 0.388 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: WOS: 000485124000020 ; SCOPUS: 2-s2.0-85073327590.

SAHUL, Miroslav - SAHUL, Martin - PAŠÁK, Matej - MARÔNEK, Milan. Analysis of the properties of AW2099 aluminium-lithium alloy welded by laser beam with AW5087 aluminium-magnesium filler material. In Acta Polytechnica. Vol. 59, iss. 6 (2019), s. 580-586. ISSN 1210-2709 (2018: 0.200 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.14311/AP.2019.59.0580.

DRIMAL, D., KASENCAK, M., KOLENIC, F., KRAMARCIK, A., KOVAC, L.: Peculiarities of electron beam welding of hot-rolled aluminium-lithium alloys. The Paton Welding Journal, No. 11, 2019. s.38-44. ISSN 0957-798X

URMINSKÝ, Ján – MARÔNEK, Milan – BÁRTA, Jozef – SAHUL, Martin – JURINA, František – PAŠÁK, Matej. Electron beam welding of aluminium alloy AW2099. In Novel Trends in Production Devices and Systems VI (NTPDS VI): Novel Trends in Production Devices and Systems VI, ISSN Print: 0255-5476, ISSN Web: 1662-9752, Materials Science Forum, Trans Tech Publications.

URMINSKÝ, Ján – MARÔNEK, Milan – BÁRTA, Jozef – LOPATKOVÁ, Michaela – HRUŠECKÝ, Robert. Influence of electron beam technological movements on aluminium alloy AW2099 welded joints properties. In Novel Trends in Production Devices and Systems

VI (NTPDS VI): Špeciálne číslo: Novel Trends in Production Devices and Systems VI, ISSN Print: 0255-5476, ISSN Web: 1662-9752, Materials Science Forum, Trans Tech Publications.

BÁRTA, Jozef - MARÔNEK, Milan - SAHUL, Miroslav. Welding of aluminium components in automotive industry. In Proceedings of full paper [elektronický zdroj] : 9. international scientific-professional conference SBW 2017 : Engineering technologies in manufacturing of welded constructions and products, SBW 2017, Slavonski Brod, Chorvátsko, 25.-27.10.2017. 1. vyd. Slavonski Brod : Mechanical Engineering Faculty, 2017, s. 5-11. ISBN 978-953-6048-89-2.

BÁRTA, Jozef - ŠIMEKOVÁ, Beáta - MARÔNEK, Milan - SAHUL, Miroslav. Welding of 2099-T83 aluminium-lithium alloy by electron beam. In TEAM 2018 : 9th International Scientific and Expert Conference : 10 - 12th October 2018, Novi Sad, Serbia. 1. vyd. Novi Sad : University of Novi Sad, 2018, S. 181-184. ISBN 978-86-6022-098-3.

MARÔNEK, Milan - BÁRTA, Jozef - LOPATKOVÁ, Michaela - BÁRTOVÁ, Katarína - PAŠÁK, Matej - SAHUL, Miroslav - URMINSKÝ, Ján. Mechanical properties of laser beam welded AW2099 alloy joints. In Zbornik Radova : 10. International Scientific-Professional Conference, SBW 2019 „Engineering Technologies in Manufacturing of Welded Constructions and Products, SBW 2019" : Slavonski Brod, 16. - 18.10.2019. Slavonski Brod : Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, 2019, S. 17-26. ISBN 978-953-6048-95-3.

SAHUL, Martin - SAHUL, Miroslav - MARÔNEK, Milan - BÁRTA, Jozef. Study of the properties of Ti6Al4V titanium alloy disk laser weld joints. In JOM-19 - International Conference on Joining Materials [elektronický zdroj] : Helsingor, Denmark, May 07 - 10, 2017. 1. vyd, 2017, [12]s. ISSN 2246-0160.

SAHUL, Miroslav - SAHUL, Martin - BÁRTA, Jozef - MARÔNEK, Milan. Laser Welding of AW2099 Al-Li alloy with Al-Mg filler metal. In TEAM 2018 : 9th International Scientific and Expert Conference : 10 - 12th October 2018, Novi Sad, Serbia. 1. vyd. Novi Sad : University of Novi Sad, 2018, S. 185-189. ISBN 978-86-6022-098-3.

SAHUL, Miroslav - SAHUL, Martin - HARŠÁNI, Marián - MARÔNEK, Milan - BÁRTA, Jozef. Investigation of the microstructure and mechanical properties of electron beam welded AW2099 aluminium lithium alloy. In Zbornik Radova : 10. International Scientific-Professional Conference, SBW 2019 „Engineering Technologies in Manufacturing of Welded Constructions and Products, SBW 2019" : Slavonski Brod, 16. - 18.10.2019. Slavonski Brod : Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, 2019, S. 89-97. ISBN 978-953-6048-95-3.

SAHUL, Miroslav - SAHUL, Martin - BÁRTA, Jozef - MARÔNEK, Milan. Microstructure and mechanical properties of laser beam welded Al-Li alloy AW2099 with Al-Mg filler wire. In The 71st IIW Annual Assembly & International Conference [elektronický zdroj] : IIW 2018 - International Conference on Advanced Welding and Smart Fabrication Technologies , Bali, Indonesia, 15 - 20 July 2018. 1. vyd. Bali, Indonesia : Indonesia Welding Society, 2018, USB, [5] s. ISSN 2261-236X.

SAHUL, Miroslav - SAHUL, Martin - DOMÁNKOVÁ, Mária - MARÔNEK, Milan - BÁRTA, Jozef. Analysis of the microstructure of electron beam welded AW2099 aluminium lithium alloy. In 72nd IIW Annual Assembly and International Conference : Proceedings of International Conference, 7-12 July 2019, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Welding Research Institute, 2019, S. 1-7. ISBN 978-80-907442-1-9.

URMINSKÝ, Ján - MARÔNEK, Milan - BÁRTA, Jozef - SAHUL, Miroslav - LOPATKOVÁ, Michaela. Determination of the influence of electron beam technological movements on geometrical characteristics of bead on plate welded joints. In 72nd IIW Annual Assembly and International Conference : Proceedings of International Conference, 7-12 July 2019, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Welding Research Institute, 2019, S. 1-5. ISBN 978-80-907442-1-9.

URMINSKÝ, Ján - MARÔNEK, Milan - SAHUL, Martin. Vplyv parametrov zvarania na vlastnosti zvarových spojov zliatiny AW 2099 vyhotovených elektrónovým lúčom. In Zvárač - profesionál. Roč. 16, č. 4 (2019), s. 3-6. ISSN 1336-5045.

BÁRTA, Jozef - ŠIMEKOVÁ, Beáta - MARÔNEK, Milan - SAHUL, Miroslav - DŘÍMAL, Daniel. Zváranie hliník-lítiovej zliatiny 2099-T83 elektrónovým lúčom. In Zvárač - profesionál. Roč. 15, č. 3 (2018), s. 9-12. ISSN 1336-5045.

DOMÁNKOVÁ, Mária - ADAMECH, Marek - PETZOVÁ, Jana - BÁRTOVÁ, Katarína -

PINKE, Peter. Microstructure characteristics of borated austenitic stainless steel welds. In Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava. Vol. 26, no. 43 (2018), s. 45-54. ISSN 1336-1589. V databáze: INSPEC ; DOI: 10.2478/rput-2018-0029.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Výsledky projektu je možné uplatniť pri vyhotovovaní zváraných konštrukcií so zliatin Al-Li AW 2099, Titán Grade 2 a Grade 5 pevnolátkovým laserom a elektrónovým lúčom. Ako príklad je možné uviesť výrobu obežných kolies turbokompresorov vyhotovených z týchto zliatin, pre ktoré boli v rámci projektu overené technológie ich zvárania laserovým a elektrónovým lúčom.

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

Ciele stanovené v jednotlivých etapách a výstupy projektu boli splnené v súlade s plánovaným harmonogramom projektu. Riešiteľský kolektív navrhol a realizoval technologický postup redukcie hrúbky Al-Li zliatiny 2099 z 25,4 mm na 2, 3 a 4 mm určenej na zváranie laserovým lúčom. Boli stanovené mechanické vlastnosti základných materiálov i zvarových spojov zliatin Ti Grade 2, Ti Grade 5 a Al-Li 2099 vyhotovených zváraním pevnolátkovým laserom a elektrónovým lúčom a určené odporúčané parametre zvárania v závislosti od typu ľahkej zliatiny, jej hrúbky a type zvarového spoja. Makroskopickou analýzou a počítačovou tomografiou sa stanovil vplyv použitých ochranných plynov (argón, hélium) a parametrov zvárania na charakteristické rozmery zvarov a tvorbu defektov. Pre všetky typy zvarových spojov a zváraných materiálov bola vykonaná detailná makroštruktúrna a mikroštruktúrna analýza, pričom svetelnou a elektrónovou mikroskopiou boli identifikované jednotlivé fázy v zvarovom kove, teplom ovplyvnenej oblasti a v základnom materiáli zvarových spojov. Pri štúdiu vplyvu riadenia množstva energie prostredníctvom aplikácie technologických pohybov elektrónového lúča, (napr. kružnica, elipsa, priečne kmitanie) na geometrické charakteristiky zvarových spojov boli ako štatisticky významné veličiny identifikované veľkosť vychýľovacieho napätia a frekvencia vychýľovania. Naopak, vplyv týchto veličín na pórovitosť vo zvarovom kove bol štatisticky nesignifikantný. Ako významné a originálne poznatky je možné označiť tiež dosiahnuté výsledky v oblasti tepelného spracovania zvarových spojov za účelom eliminácie negatívnych dôsledkov aplikácie teplotného cyklu zvárania a zlepšenia mechanických vlastností zvarových spojov.

Výsledky riešenia projektu boli publikované na domácich i zahraničných vedeckých konferenciách a seminároch ako aj v domácich a zahraničných časopisoch.

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

The objectives set for each project stage and the project outputs were met in accordance with the planned project schedule. The research team designed and implemented a technological procedure for reducing the thickness of Al-Li 2099 alloy from 25.4 mm to 2, 3 and 4 mm intended for laser beam welding. The mechanical properties of the base materials as well as weld joints of Ti Grade 2, Ti Grade 5 and Al-Li 2099 alloys by solid-state laser and electron beam welding were determined. Consequently, the recommended welding parameters were determined depending on the type of light alloy, its thickness and type of weld joint. The influence of shielding gases (argon, helium) and welding parameters on the characteristic dimensions of the welds and the formation of defects was determined by macroscopic analysis and computed tomography. For all types of welded joints and welded materials, detailed macrostructural and microstructural analysis was performed, individual phases in the weld metal, the heat affected zone and the base material of the welded joints were identified by light and transmission electron microscopy. In the study of the influence of the amount of energy controlled by the application of technological movements of the electron beam (e.g. circle, ellipse, transverse oscillation) on the geometrical characteristics of welded joints, the deflection voltage and deflection frequency were identified as statistically significant variables. On the contrary, the influence of these variables on porosity in the weld metal was statistically insignificant. The results achieved in the field of heat treatment of welded joints in order to eliminate the negative consequences of the application

of the thermal welding cycle and to improve the mechanical properties of the welded joints can also be considered as significant and original knowledge. The results of the project were published at domestic and foreign scientific conferences and seminars as well as in domestic and foreign journals. Eight graduates and two PhD students participated in the project during its solution.