



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0116

Výskum progresívnych metód zvarovania a spájkovania koróziivzdorných ocelí a medi

Zodpovedný riešiteľ **Ing. Beáta Šimeková, PhD.**

Príjemca

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

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Slovenská technická univerzita v Bratislave - Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v
Trnave
PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s. Bratislava

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Nebolo

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

Patenty:

AGJ01 MARTINKOVIČ, Maroš - KOVAČÓCY, Pavel - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig] - ŠIMEKOVÁ, Beáta - HODÚLOVÁ, Erika. Zariadenie a spôsob merania mechanických vlastností na vopred stanovenom mieste zvarového spoja : prihláška patentu č. 50008-2022, dátum podania prihlášky: 19.02.2022, stav: zverejnená patentová prihláška, dátum zverejnenia prihlášky: 15.06.2022, Vestník ÚPV SR č. 11/2022. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2022. 11 s.

AGJ02 MARTINKOVIČ, Maroš - KOVAČÓCY, Pavel. Prípravok na meranie mechanických vlastností zvarového spoja v trhácom stroji : prihláška patentu č. 143-2020, dátum podania prihlášky: 23.12.2020, stav: zverejnená patentová prihláška, dátum zverejnenia prihlášky: 13.07.2022, Vestník ÚPV SR č. 13/2022. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2022. 9 s.

Úžitkový vzor:

AGJ02 MARTINKOVIČ, Maroš - KOVAČÓCY, Pavel - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig] - ŠIMEKOVÁ, Beáta - HODÚLOVÁ, Erika. Zariadenie a spôsob merania mechanických vlastností na vopred stanovenom mieste zvarového spoja : prihláška úžitkového vzoru č. 50015-2022, dátum podania prihlášky: 23.02.2022, dátum zverejnenia prihlášky: 25.05.2022, stav: platný, zapísaný úžitkový vzor č. 9593, dátum oznámenia o zápise úžitkového vzoru: 28.09.2022, Vestník ÚPV SR č. 18/2022. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2022. 10 s.

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

HNILICA, Martin - HODÚLOVÁ, Erika - SAHUL, Miroslav - KOVAČÓCY, Pavel - ŠIMEKOVÁ, Beáta - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig]. Numerical simulation of laser

beam welding of stainless steel and copper butt joint. In Vehicle and Automotive Engineering 4 : 4th International Conference on Vehicle and Automotive Engineering, VAE 2022, 8-9 September 2022, Miskolc, Hungary. 1. vyd. Cham : Springer, 2023, S. 933-945. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-031-152-10-8. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-031-15211-5_78 ; SCOPUS: 2-s2.0-85138756831 ; WOS: 000926145500078.

HNILICA, Martin - HODÚLOVÁ, Erika - SAHUL, Miroslav - KOVAČÓCY, Pavel - ŠIMEKOVÁ, Beáta - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig]. Numerická simulácia zvárania tupého spoja nehrdzavejúcej ocele a medi laserovým lúčom. In Technológia zvárania 2022 - Technológia rozvoja priemyslu Európskej únie. 1. vyd. Trnava : AlumniPress, 2022, S. 1-15. ISBN 978-80-8096-294-4.

KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig] - KOVAČÓCY, Pavel - SAHUL, Miroslav - ŠIMEKOVÁ, Beáta - MARTINKOVIČ, Maroš - HODÚLOVÁ, Erika. Laser beam welding of overlapped joints copper - stainless steel. In Vehicle and Automotive Engineering 4 : 4th International Conference on Vehicle and Automotive Engineering, VAE 2022, 8-9 September 2022, Miskolc, Hungary. 1. vyd. Cham : Springer, 2023, S. 957-965. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-031-152-10-8. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-031-15211-5_80 ; SCOPUS: 2-s2.0-85138758661 ; WOS: 000926145500080.

ŠIMEKOVÁ, Beáta - KOVAČÓCY, Pavel - SAHUL, Miroslav - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig] - MARTINKOVIČ, Maroš - HODÚLOVÁ, Erika. Electron beam welding of overlapped joints copper - stainless steel. In Vehicle and Automotive Engineering 4 : 4th International Conference on Vehicle and Automotive Engineering, VAE 2022, 8-9 September 2022, Miskolc, Hungary. 1. vyd. Cham : Springer, 2023, S. 946-956. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-031-152-10-8. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-031-15211-5_79 ; SCOPUS: 2-s2.0-85138816209 ; WOS: 000926145500079.

HNILICA, Martin - HODÚLOVÁ, Erika. Návrh simulácie zvárania tupého spoja vyhotoveného z nehrdzavejúcej ocele a medi laserovým lúčom. In Zvárač - profesionál. Roč. 17, č. 4 (2020), s. 8-13. ISSN 1336-5045.

HODÚLOVÁ, Erika - LI, Hong - SAHUL, Miroslav - ŠIMEKOVÁ, Beáta - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig]. Electron beam brazing of AISI 304 and copper dissimilar materials. In Welding in the World. Vol. 66, iss. 1 (2022), s. 1-11. ISSN 0043-2288 (2021: 1.984 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.528 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1007/s40194-021-01206-z ; SCOPUS: 2-s2.0-85119247288 ; WOS: 000720224300001.

KOVAČÓCY, Pavel - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig] - SAHUL, Miroslav - ŠIMEKOVÁ, Beáta - MARTINKOVIČ, Maroš. Zváranie preplátovaných spojov med' - koróziivzdorná oceľ laserovým lúčom. In Zvárač - profesionál. Roč. 18, č. 4 (2021), s. 11-14. ISSN 1336-5045.

KOVAČÓCY, Pavel - KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig] - SAHUL, Miroslav - ŠIMEKOVÁ, Beáta - MARTINKOVIČ, Maroš. Vlastnosti preplátovaných spojov med' - koróziivzdorná oceľ vytvorených elektrónovým lúčom. In Zvárač - profesionál. Roč. 19, č. 1 (2022), s. 3-6. ISSN 1336-5045.

KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid [Sukubová, Indrig] - HODÚLOVÁ, Erika - ŠIMEKOVÁ, Beáta - SAHUL, Miroslav - KOVAČÓCY, Pavel. Výskum spájkovania kombinácie materiálov med' - koróziivzdorná oceľ elektrónovým lúčom. In Zvárač - profesionál. Roč. 19, č. 3 (2022), s. 12-15. ISSN 1336-5045.

PAVLÍK, Marián - SAHUL, Miroslav - SAHUL, Martin - NAGY - TREMBOŠOVÁ, Veronika - PAŠÁK, Matej - HODÚLOVÁ, Erika - ENZINGER, Norbert - PIXNER, Florian - KOLAŘÍK, Ladislav. Influence of Electron Beam Welding Parameters on the Properties of Dissimilar Copper-Stainless Steel Overlapped Joints. In Journal of Materials Engineering and Performance. November, 02 (2022), s. 1-21. ISSN 1059-9495 (2021: 2.036 - IF, Q4 - JCR Best Q, 0.465 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1007/s11665-022-07585-8 ; SCOPUS: 2-s2.0-85141204342 ; WOS: 000878023600004.

SAHUL, Miroslav - TOMČÍKOVÁ, Ema - SAHUL, Martin - PAŠÁK, Matej - LUDROVCOVÁ, Barbora - HODÚLOVÁ, Erika. Effect of Disk Laser Beam Offset on the Microstructure and Mechanical Properties of Copper-AISI 304 Stainless Steel Dissimilar Metals Joints. In Metals. Vol. 10, iss. 10 (2020), s. 1-22. ISSN 2075-4701 (2020: 2.351 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.570 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/met10101294 ; SCOPUS: 2-s2.0-85091636611 ; WOS: 000585280800001 ; CC: 000585280800001.

URMINSKÝ, Ján - ŠIMEKOVÁ, Beáta. Zváranie nehrdzavejúcej ocele AISI 304 s med'ou. In Zvárač - profesionál. Roč. 20, č. 2 (2023), s. 9-13. ISSN 1336-5045.

Uplatnenie výsledkov projektu

Intenzita využívania spájania kombinovaných materiálov v rôznych odvetviach priemyslu má neustále stúpajúcu tendenciu a to nielen pre ich vhodné mechanické, fyzikálne, ale najmä chemické vlastnosti. V súčasnej dobe je veľký záujem o základný výskum spájania koróziivzdorných ocelí a medi, pričom problematika spájania je založená vo veľkom rozdielne tepelnej vodivosti materiálov, čo si aj v našom prípade vyžadovalo širokospektrálny výskum. Išlo o získanie poznatkov a možnosti porovnania výsledkov zo zvarovania a spájkovania pomocou laserového a elektrónového lúča a CMT procesu pri dodržaní rovnakých metodických postupov a laboratórnych skúšok. Informácie, vedomosti a výsledky, ktoré sa nadobudli počas riešenia projektu sú vo vedeckej komunite i technickej praxi potrebné hlavne z hľadiska vplyvu procesu spájania na tieto materiály a taktiež údaje o vhodných parametroch spájania pri použitých technológiách. Výsledky projektu je preto možné považovať za originálne.

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

V rámci stanovených cieľov projektu bolo vyhotovenie kvalitných zvarových a spájkovaných spojov z kombinovaných materiálov AISI 304 a AISI 321 s Cu-ETP pomocou využitia progresívnych metód spájania, pričom tieto spoje museli spĺňať požiadavky na štruktúrnú celistvosť a mechanické vlastnosti. Počas doby riešenia projektu bolo potrebné splniť nasledovné čiastkové ciele:

- stanovenie vhodných parametrov zvarovania laserovým lúčom, elektrónovým lúčom a CMT na dosiahnutie štruktúrnej celistvosti zvarových spojov,
- stanovenie vhodných parametrov spájkovania na dosiahnutie kvalitatívne vyhovujúcich spájkovaných spojov,
- analýza vplyvu použitých procesných parametrov na mechanické vlastnosti vyhotovených spojov.

Ciele stanovené v jednotlivých etapách projektu boli splnené. Počas riešenia projektu bola vypracovaná overená technológia pre laserové zvarovanie vo forme pracovného postupu pre riešenie materiálovú kombináciu. Overená technológia – pracovný postup bol vypracovaný na technológiu 521 podľa normy EN ISO 4063. Zvary boli vyhotovené na zváracom zariadení PZ 1208 Lasertech IPG YLS 5000, systém prenosu lúča bol realizovaný cez optické vlákno D 0,1 mm a fokusačný systém cez šošovku, f 250 mm. Hrúbka materiálov bola 1 mm. Realizovali sa tupé spoje vo zvaracej polohe PA podľa STN EN ISO 6947. Druhá overená technológia bola vypracovaná pre zvarovanie elektrónového lúča vo forme pracovného postupu pre riešenie materiálovú kombináciu. Overená technológia – pracovný postup bol vypracovaný na technológiu zvarovania elektrónovým lúčom podľa normy EN ISO 4063. Zvary boli vyhotovené na zváracom zariadení PZ EZ 30 STU s maximálnym výkonom 30kW, vo vákuovej komore s objemom približne 15 m³. Hrúbka materiálov bola 1 mm. Realizovali sa preplátované spoje vo zvaracej polohe PA podľa STN EN ISO 6947. Riešiteľský kolektív získal nové poznatky z oblasti zvarovania a zvariteľnosti koróziivzdorných ocelí s medou lúčovými technológiami, vplyve parametrov zvarovania na geometrické, štruktúrne a mechanické vlastnosti vyhotovených zvarových spojov. Ako významné a originálne poznatky je možné označiť návrh prípravku s názvom „Prípravok na meranie mechanických vlastností zvarového spoja v trhacom stroji“ zaevidovaný na Úrade priemyselného vlastníctva SR ako úžitkový vzor, ktorý bol neskôr schválený ako patent. Výsledky riešenia projektu boli publikované na domácich i zahraničných vedeckých konferenciách a seminároch ako aj v domácich a zahraničných časopisoch. S riešeným projektom súvisí pätnásť diplomových a jedna doktorandská práca.

Riešenie projektu bolo ovplyvnené rôznymi faktormi v podobe pretrvávania pandemickej situácie Covid19 od roku 2020 – 2021. Ďalším negatívnym faktorom bola zmena zodpovedného riešiteľa projektu a pokles počtu výskumných pracovníkov RK zo strany MTF STU v poslednej etape riešenia projektu. Táto zmena projektu bola zo strany vedenia fakulty, čo novému zodpovednému riešiteľovi sťažilo situáciu v ukončení jednotlivých častí.

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

Within the set objectives of the project was the creation of high-quality welded and soldered joints from the combined materials AISI 304 and AISI 321 with Cu-ETP using progressive joining methods, while these joints had to meet the requirements for structural integrity and mechanical properties. During the time of the project, it was necessary to fulfill the following sub-goals:

- determination of suitable parameters of laser beam, electron beam and CMT welding to achieve structural integrity of welded joints,
- determination of suitable soldering parameters to achieve qualitatively satisfactory soldered joints,
- analysis of the influence of the used process parameters on the mechanical properties of the joints.

The goals set in the individual stages of the project were fulfilled. During the solution of the project, a proven technology for laser welding was developed in the form of a work procedure for the solved material combination. Proven technology - the work process was developed on technology 521 according to the EN ISO 4063 standard. The welds were made on the welding device PZ 1208 Lasertech IPG YLS 5000, the beam transmission system was realized through an optical fiber D 0.1 mm and the focusing system through a lens, f 250 mm. The thickness of the materials was 1 mm. Butt joints were realized in the PA welding position according to STN EN ISO 6947. The second proven technology was developed for electron beam welding in the form of a work procedure for the solved material combination. Proven technology - the work procedure was developed using electron beam welding technology according to the EN ISO 4063 standard. The welds were made on a PZ EZ 30 STU welding device with a maximum power of 30 kW, in a vacuum chamber with a volume of approximately 15 m³. The thickness of the materials was 1 mm. Lap joints were made in the PA welding position according to STN EN ISO 6947.

The research team gained new knowledge in the field of welding and weldability of corrosion-resistant steels with copper beam technologies, the influence of welding parameters on the geometric, structural and mechanical properties of the welded joints. As significant and original knowledge, it is possible to mark the proposal of a preparation called "Preparation for measuring the mechanical properties of a weld joint in a blasting machine" registered at the Slovak Industrial Property Office as a utility model, which was later approved as a patent.

The results of the project were published at domestic and foreign scientific conferences and seminars, as well as in domestic and foreign magazines. Fifteen diploma theses and one doctoral theses are related to the solved project.

The solution of the project was influenced by various factors in the form of the persistence of the Covid19 pandemic situation from 2020-2021. Another negative factor was the change of the responsible project manager and the decrease in the number of RK researchers from the MTF STU in the last stage of the project solution. This project change was made by the faculty management, which made it difficult for the new responsible researcher to complete the individual parts.