

## Formulár ZK - Záverečná karta projektu

Riešiteľ: prof. Ing. Milan Marônek, PhD.	Evidenčné číslo projektu: <b>APVV -0057-07</b>
Názov projektu: <b>Výskum zvarovania a tvárnenia nitrooxidačne povrchovo upravených oceľových plechov</b>	

Na ktorých pracoviskách bol projekt riešený:	Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave
	Prvá zvaračská a.s. Bratislava
Ktoré zahraničné pracoviská spolupracovali pri riešení (názov, štát):	

Udelené patenty alebo podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory vychádzajúce z výsledkov projektu:	
<b>Publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu (uvedte i publikácie prijaté do tlače):</b>  <i>Uvádzajte maximálne päť najvýznamnejších publikácií.</i>	Marônek, M., Bárta, J., Dománková, M., Ulrich, K., Kolenic, F.: Electron beam welding of steel sheets treated by nitrooxidation", Doc. IIW-2019, published in Welding in the World, 2011, vol. 55, no. 5/6, pp. 10-18.
	Marônek, Milan - Bárta, Jozef - Bárťová, Katarína - Drimal, D.: Welding of steel sheets treated by nitrooxidation. In: JOM-16 : 16-th International Conference On the Joining of Materials & 7-th International Conference on Education in Welding ICEW-7. May 10 - May 13, 2011. Tisvildeleje, Denmark. - : JOM, 2011. - ISBN 87-89582-19-5
	Marônek, Milan - Bárta, Jozef - Dománková, Mária - Kolenič, František: Comparison of laser and electron beam welding of steel sheets treated by nitrooxidation. In: Congresso da ABM (CD-ROM). - ISSN 1516-392X. - 65th ABM international congress. 18th IFHTSE congress. 1st TMS/ABM : Brazil, Rio de Janeiro, 2010 July 26th to 30th. - Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2010, s. 4925-4937
	Marônek, Milan - Bárta, Jozef - Bárťová, Katarína - Hodúlová, Erika - Ulrich, Koloman - Kolenič, František: CMT Welding of Steel Sheets Treated by Nitrooxidation. In: Proceedings of the International Conference on Advances in Welding Science & Technology for Construction, Energy & Transportation. AWST-2010 : 63rd Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding. Swissôtel The Bosphorus, Istanbul/ Turkey, 11 - 17 July, 2010. - Istanbul : IIW, 2010. - ISBN 978-605-61419-1-1. - S. 773-777
	Marônek, Milan - Bárta, Jozef - Lazar, Roman - Dománková, Mária - Kovaříková rod. Sukubová, Ingrid: Laser beam welding of steel sheets treated by nitrooxidation. In: 61st Annual Assembly and International Conference of the International Institute of Welding : Graz, Austria, 6-11 July 2008. - Graz, 2008. - S. 1-8
V čom vidíte uplatnenie výsledkov projektu:	Výsledky projektu je možné uplatniť v prípade, ak nie je možné aplikovať proces zvarovania pred procesom nitrooxidácie, napr. z dôvodu limitovaných rozmerov nitridačných pecí. Výsledky je možné ďalej uplatniť pri konštrukcii zariadení pracujúcich v koróznom prostredí vodnej pary a pri náhrade procesu nitrooxidácie v soľných kúpeľoch.

## Charakteristika výsledkov

### Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu (max. 20 riadkov) - slovensky:

Z výsledkov riešenia 1. etapy projektu vyplýva, že za vhodné parametre nitrooxidácie pre tenké oceľové plechy DC 01 EN 10130/91 s hrúbkou 1 mm je možné pokladať: nitridácia 580°C/45 min, oxidácia 350°C/5 min. Pri nižšej teplote nitridácie nedochádza k tvorbe súvislej povrchovej vrstvy. Uvedené parametre chemicko-tepelného spracovania výrazným spôsobom zvyšujú mechanické vlastnosti materiálu. Dochádza k výraznému nárastu medze klzu (o 52-54 %), pevnosti (o 34-42 %), pri súčasnom znížení ťažnosti (o 7,5 %). V tejto etape riešenia projektu boli metódami štruktúrnych analýz identifikované jednotlivé fázy nitrooxidačne upraveného materiálu. Výsledky 2. etapy riešenia projektu priniesli poznatky o možnostiach zvárania nitrooxidačne upravených materiálov metódami MIG, laserového zvárania (CO<sub>2</sub> laserom a pevnolátkovým laserom), hybridným zváraním CO<sub>2</sub> laser – TIG, hybridným spájkovaním CO<sub>2</sub> laser-CMT, zváraním elektrónovým lúčom a oblúkovým zváraním a spájkovaním CMT. Z rozsiahlych výsledkov vyplýva, že najvhodnejšou technológiou zvárania je zváranie pevnolátkovým laserom. Vhodné parametre zvárania sú: výkon 1 kW, rýchlosť zvárania 20 až 25 mm/s, fokusácia na povrch a priemer stopy lúča 600 μm. Výsledky získané v 3. etape riešenia projektu preukázali dosiahnutie najvyššieho stupňa koróznej odolnosti nitrooxidovaných materiálov, ale zároveň nutnosť dodatočnej ochrany zvarových spojov v mieste porušenia povrchovej vrstvy procesom zvárania. Erichsenove skúšky zvarových spojov vyhotovených zváraním laserom odhalili zníženie hĺbky vtláčku o 14 % v porovnaní s nitrooxidačne upraveným materiálom bez zvaru. Zo zistených S-N kriviek a hodnôt medze vysokofrekvenčnej únavy vyplýva, že únavová životnosť  $\sigma_{c10}^8$  sa po nitrooxidácii zvýšila z 90 na 160 MPa, t. j. o 78 %. Prítomnosť zvaru v nitrooxidačne upravenom plechu znižuje jeho únavovú životnosť o 37,5 % ( $\sigma_{c10}^8=100$  MPa).

### Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu (max. 20 riadkov) - anglicky:

The results of first project period showed, that the suitable nitrooxidation parameters for thin steel sheets DC 01 EN 10130/91 with 1 mm of thickness were: nitridation 580°C/45 min, oxidation 350°C/5 min. In the case of lower temperature, the continuous surface layer was not created. The mentioned parameters of thermochemical treatment significantly increased the mechanical properties of the material. Noticeable increase of the yield point (up to 52-54 %), tensile strength (up to 34-42 %) and ductility drop of 7.5 % were observed. In this period of the project, the microstructural phases of nitrooxidized material were identified by the methods of structural analysis as well. The results of the second period of the project involve knowledge about welding of steel sheets treated by nitrooxidation by the different welding methods: GMAW welding, laser welding (CO<sub>2</sub> and solid-state), hybrid CO<sub>2</sub> laser – TIG welding, hybrid CO<sub>2</sub> laser-CMT brazing, electron beam welding and CMT arc welding and brazing. Based on the these results, it can be stated, that the most suitable welding method was solid-state welding. The suitable parameters were: 1 kW of power, welding speed in range of 20 – 25 mm/s, focusing on the surface, beam spot diameter 600 μm. The results obtained in the third period proved that nitrooxidized material had the maximum level of corrosion resistance. Nevertheless, the additional protection of joints in the area of the surface layer destroyed by the welding process is required. Erichsen cupping test of the joints made by laser beam welding revealed that the depth of the indent dropped by 14 % in comparison to nitrooxidized material without weld. The results of high-frequency based on obtained S-N curves and fatigue strength showed, that the fatigue life  $\sigma_{c10}^8$  after the process of nitrooxidation raised from 90 MPa to 160 MPa, i. e. by 78 % . The presence of the weld in nitrooxidized material decreases the fatigue life by 37.5 % ( $\sigma_{c10}^8=100$  MPa).

**Podpisom záverečnej karty riešiteľ vyjadruje svoj súhlas so zverejnením údajov v nej uvedených.**

Podpis zodp. riešiteľa: .....

Dátum: 15. 7. 2011

Podpis štatutárneho zástupcu: .....

Pečiatka: