

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0096**

Aplikácia experimentálneho a numerického prístupu pri výskume vlastností zvaraných spojov vysokopevných ocelí

Zodpovedný riešiteľ **prof. Dr. Ing. Milan Sága**
Príjemca **Žilinská univerzita v Žiline - Strojnícka fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Zodpovedný riešiteľ: Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline
Spoluriešiteľ: PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s. Bratislava

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Warsaw University of Technology, Poľsko
Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poľsko
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Poľsko
Vysoké učení technické v Brně, Česká republika
VŠB-TU Ostrava, Česká republika
ZČU Plzeň, Česká republika
Institute of Structronics, Ottawa, Kanada

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

Patent: Systém pre akumuláciu mechanickej energie pre pohon mobilných prostriedkov,
Autori: I. Kuric, M. Sága

Prihláška: 58-2019 / 24.05.2019, Stav: v konaní, MPT: B62B 1/00, Majiteľ: Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina; SK

Úžitkový vzor: Systém pre akumuláciu mechanickej energie pre pohon mobilných prostriedkov,

Autori: I. Kuric, M. Sága

Prihláška: 68-2019 / 24.05.2019, Stav: v konaní, MPT: B62B 1/00, Majiteľ: Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina; SK

Úžitkový vzor: Mechanizmus na vytváranie uzlov,

Autori: M. Sapieta, A. Sapietová, M. Sága, P. Kopas

Prihláška: 93-2019 / 26.06.2019, Stav: v konaní, Majiteľ: Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina; SK

Úžitkový vzor: Prídavné žeriavové zariadenie,

Autori: V. Baniari, M. Vaško, P. Kopas,

Prihláška: 50070-2016 / 27.05.2016, Číslo zápisu: 7786, Stav: platný, MPT: B66C 23/42, B66C 23/62, E02F 9/14, Majiteľ: Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina; SK

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

Karenty:

Lago, J., Guagliano, M., Bokůvka, O., Trško, L., Řidký, O., Nový, F., Závodská, D.: Improvement of fatigue endurance of welded S355 J2 structural steel by severe shot peening. In: Surface Engineering, Vol. 33, iss. 9 (2017), pp. 715-720, ISSN 0267-0844 (CC)
Pastorek, F., Borko, K., Fintová, S., Kajánek, D., Hadzima, B: Effect of Surface Pretreatment on Quality and Electrochemical Corrosion Properties of Manganese Phosphate on S355J2 HSLA Steel. In.: Coatings 2016, Vol. 6, Issue (4), Article No. 46., p.9, MDPI AG, Basel, Switzerland, doi:10.3390/coatings6040046. CC

Zapoměl, J., Dekýš, V., Ferfecki, P., Sapietová, A., Sága, M., Žmindák, M.: Identification of Material Damping of a Carbon Composite Bar and Study of Its Effect on Attenuation of Its Transient Lateral Vibrations. In.: International Journal of Applied Mechanics, Vol. 7, No. 6 (2015), p. 18, ISSN 1758-8251 (SCOPUS), CC

Sapietová, A., Sága, M., Kuric, I., Václav, Š.: Application of optimization algorithms for robot systems designing. In: International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 15, No 1 (2018), pp. 1-10, ISSN 1729-8806 (CC)

VŠ knihy, monografie

Moravec, J., Kopas, P., Jakubovičová, L.: Úvod do technickej plasticity. EDIS – vydavateľské centrum ŽU, 2019, 163 s., AH 12,02, ISBN 978-80-554-1553-6.

Kopas, P., Nový, F.: Únavová životnosť konštrukčných ocelí zo zvýšenou medzou pevnosti. EDIS – vydavateľské centrum ŽU, 2018, 137 s., AH 8,31, v tlači.

Sága, M., Vaško, M., Kopas, P.: Pružnosť a pevnosť pre bakalárov. EDIS – vydavateľské centrum ŽU, 2017, 199 s., AH 12,07, ISBN 978-80-554-1401-0.

Milan Sága, Milan Vaško, Nadežda Čuboňová, Wiesława Piekarska: Optimisation algorithms in Mechanical Engineering Applications. Pearson Education Limited, Great Britain, 2016, p. 1-291, ISBN 978-1-78449-135-2.

Diplomové práce:

Bc. Martin Jurák – Nízkokytklová únava zvariteľných vysokopevných ocelí. 05.06.2018, Ing. Peter Kopas, PhD.

Bc. Juraj Bukovan – Únavová životnosť zvarovaných vysokopevných ocelí v oblasti nízkokytklovej únavy. 07.06.2018, Ing. Peter Kopas, PhD.

Bc. Tomáš Spodník – Matematické modelovanie testovacej vzorky pri kombinovanom namáhaní ohyb-kрутenie, 07.06.2018, doc. Ing. Milan Vaško, PhD.

Bc. Jaroslav Majko – Analýza únavového procesu s použitím infračervenej kamery, 07.06.2018, doc. Ing. Vladimír Dekýš, PhD.

Bc. Matej Janega – Zvyšovanie únavovej odolnosti zvarových spojov konštrukčnej ocele S355, Vplyv deformačného spevnenia povrchu tryskaním na únavovú odolnosť konštrukčnej ocele S355, 22.05.2017, doc. Ing. František Nový, PhD.

Bc. Pavol Sučanský – Hodnotenie únavovej životnosti zvarovaných vysokopevných ocelí v oblasti nízkokytklovej únavy, 22.05.2017, Ing. Peter Kopas, PhD.

PhD. práce:

Ing. Kamil Borko – Hodnotenie koróznej odolnosti povrchovo upravených vysokopevných ocelí. 01.09.2015 – 31.08.2018, doc. Ing. Branislav Hadzima, PhD., člen RK - doktorand

Ing. Vladislav Baniari – Multiaxiálne kritériá na odhad únavovej životnosti konštrukcie. 01.09.2015 – 30.06.2018, doc. Ing. Milan Vaško, PhD., člen RK - doktorand

Ing. Mária Blatnická – Hodnotenie mechanických vlastností zvarových spojov vysokopevnej ocele S960QL aplikáciou experimentálnych a numerických metód. 01.09.2016 – 30.06.2019, prof. Dr. Ing. Milan Sága, člen RK - doktorand

Organizovanie konferencie:

Slovensko - Poľská medzinárodná vedecká konferencia "Machine Modelling and Simulations 2017

Elektronické dokumenty:

elektronický dokument „Vybrané prístupy pri odhade únavovej životnosti zvarovaných vysokopevných ocelí

elektronický dokument „Vybrané prístupy pri odhade únavovej životnosti zvarovaných vysokopevných ocelí 2"

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky riešeného projektu sa uplatnia v oblasti širokého spektra nielen aplikovanej mechaniky, ale aj príbuzných odborov ako sú technologické a materiálové inžinierstvo a predovšetkým v inžinierskej praxi. Ide hlavne o využitie získaných vedeckých poznatkov z pohľadu rozdelenia súčasne používaných vysokopevných ocelí a metodických prístupov pre riešenie a vyhodnocovanie únavy materiálu, ako aj únavy zvarových spojov. Výsledky prepočtov záťažových stupňov únavového testovacieho zariadenia boli uvedené v ucelenej prehľadnej forme vhodnej pre ďalšiu aplikáciu MKP analýzy pre hodnotenie napäťovo deformačných vzťahov v materiáli. Tieto poznatky budú slúžiť na jednoduchšie a rýchlejšie vytvorenie Manson-Coffinových kriviek materiálov testovaných na vybudovanom únavovom testovacom zariadení s riadenou amplitúdou deformácie. Prezentované použité parametre zvarovania spolu s vyhodnotením tvrdosti a zvyškových napätí budú slúžiť pre prípadnú optimalizáciu zvaracích parametrov navrhovaných strojárskych zariadení v budúcnosti. Nakoľko sú výsledkom projektu aj experimentálne získané cenné dáta z pohľadu korózneho poškodzovania, spolu s ich analýzou nájdu veľké uplatnenie v technickej praxi. Ide o poznatky z oblasti ťahových skúšok, rozloženia tvrdosti a zvyškových napätí v materiáli po zvaraní v nadväznosti na použité technológie a parametre zvarovania a tým ovplyvneniu prítomnosti výsledných mikroštruktúrnych parametrov v konštrukčných materiáloch. Pretože výsledkom projektu je aj popis súčasných trendov v oblasti používaných vysokopevných ocelí a pojednáva sa tu o problémoch, na ktoré treba dbať pri aplikáciách, ktoré vyžadujú poznatky zo zvarovania a najmä teórie únavy materiálu ohľadom vyhotovených zvarových spojov, je možné hovoriť aj o uplatnení týchto ucelených poznatkov nielen v aplikáciách, ale aj v oblasti univerzitného vzdelávania. Teoretické poznatky môžu poslúžiť v procese výučby ako ucelený prehľad o súčasnom stave používaných vysokopevných ocelí, prístupov pri riešení únavy materiálu a únavy zvarových spojov. Experimentálne získané dáta prinesú pohľad na zmenu mechanických vlastností, tvrdosti a hodnôt zvyškových napätí po zvaraní na reálne vykonanom zvarovom spoji. Ak k tomu priradíme praktické ukážky vykonávania ťahových skúšok spolu s ich vyhodnocovaním, ich reálne použitie v MKP analýze a vykonávanie únavových skúšok a ich vyhodnocovanie pomocou dát získaných z MKP analýzy budú to cenné informácie, ktoré je možné v plnej miere zahrnúť do inžinierskej praxe.

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

Projekt sa zaoberal skúmaním mechanických vlastností, únavových vlastností a vybraných korózných vlastností troch vysokopevných ocelí Domex 700MC, Weldox 960 a Hardox 450, na ktorých boli zrealizované zvarové spoje pomocou troch technológií - metódou oblúkového zvarovania, plazmovým zvarovaním a zvarovaním elektrónovým lúčom. Jadrom realizovaného projektu bolo vykonanie série únavových skúšok na vzorkách zo základného materiálu a tiež z materiálu zvarovaného spomínanými technológiami, ktoré boli vystavené zaťažovaniu prostredníctvom cyklického ohybu a cyklického krutu na vybudovanom únavovom testovacom zariadení na Katedre aplikovanej mechaniky. Okrem toho bola zrealizovaná séria ťahových skúšok na základnom materiáli a na zvarovanom materiáli technológiami MAG, elektrónového a laserového lúča, na základe ktorých boli vytvorené materiálové modely slúžiace ako vstupné údaje potrebné na vykonanie nasledovných MKP analýz únavových testovacích vzoriek. Medzi ďalšie nemenej dôležité vykonané testy patrilo meranie tvrdosti a zvyškových napätí zvarovaného materiálu pomocou röntgenového žiarenia a korózne skúšky. Nakoľko hlavným cieľom projektu bola formulácia a implementácia numerických metód pre analýzu metalurgických transformácií procesov zvarovania a únavu zvarovaných spojov, tejto problematika sa venovala značná časť výskumnej kapacity riešiteľov. Prvoradým cieľom projektu bolo vytvorenie vierohodných a spoľahlivých numerických modelov, ktorý používajú ako vstupy principiálne ľahko identifikovateľné a merateľné veličiny, čo sa nám aj podarilo zrealizovať. Výsledky získané z termo-metalurgických analýz vrátane reziduálnych napätí boli porovnávané s experimentálnymi výsledkami čím sa potvrdila zhoda experimentálne získaných poznatkov vs. platnosť odvodených simulačných postupov.

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

The project investigated the mechanical properties, fatigue properties and selected corrosion properties of the three high strength Domex 700MC, Weldox 960 and Hardox 450 steels, on which welded joints were realized using three technologies - arc welding, plasma welding and electron beam welding. The aim of the project was to carry out a series of fatigue tests on samples from the base material and also from the material welded by the above-mentioned technologies, which were subjected to cyclic bending and cyclic torsion loading on a fatigue testing device at the Department of Applied Mechanics. In addition, a series of tensile tests on the base material and on the welded material using MAG, electron and laser beams were developed, based on which material models were used as input data to perform the following FEM analysis of fatigue test samples. Other equally important tests performed included measuring the hardness and residual stresses of the welded material by X-ray and corrosion testing. Since the main objective of the project was to formulate and implement numerical methods for the analysis of metallurgical transformations of welding processes and fatigue of welded joints, a considerable part of the research capacity of the researchers was devoted to this issue. The primary goal of the project was to create credible and reliable numerical models, which are used as inputs to easily identifiable and measurable quantities, which we have realized. The results obtained from thermo-metallurgical analyzes, including residual stresses, were compared to experimental results to confirm the experimental results knowledge vs. validity of derived simulation procedures.