

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0834****Zvýšenie kvality výstrižkov a efektívnosti strihania elektroplechov**Zodpovedný riešiteľ **prof., Ing. Emil Spišák, CSc.**Príjemca **Technická univerzita v Košiciach - Strojnícka fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra strojárskych technológií a materiálov
2. Slovenská akadémia vied, Ústav materiálového výskumu.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Politechnika Rzeszow, Poľsko
2. Politechnika Lublin, Poľsko

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

1. KOVÁČ, František - PETRYSHYNETS, Ivan: Spôsob prípravy vysokopevnej elektrotechnickej ocele s kompozitnou mikroštruktúrou
Prihláška: 110-2015 / 21.12.2015 Číslo udelenia: Stav: v konaní MPT: C22C 38/00
Majiteľ: Ústav materiálového výskumu SAV ; Watsonova 47; 040 01 Košice; SK
2. KOVÁČ, František - PETRYSHYNETS, Ivan - STOYKA, Volodymyr - KVAČKAJ, Tibor - ŠKORVÁNEK, Ivan: Spôsob výroby izotropných elektrotechnických ocelí s nízkymi wattovými stratami.
Patent č. 288322. Banská Bystrica: ÚPV SR, 2015.
Majiteľ: Ústav materiálového výskumu SAV ; Watsonova 47; 040 01 Košice; SK
3. KOVÁČ, František - PETRYSHYNETS, Ivan. Spôsob prípravy vysokopevnej elektrotechnickej ocele s kompozitnou mikroštruktúrou.
Patentová prihláška č. 110-2015. Bratislava: ÚPV SR, 2015.
Majiteľ: Ústav materiálového výskumu SAV ; Watsonova 47; 040 01 Košice; SK
4. KOVÁČ, František - PETRYSHYNETS, Ivan.:Zrnovo orientovaná elektrotechnická ocel' mikrolegovaná vanádom a spôsob jej výroby.
Patent č. 288414. Banská Bystrica: Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2016.
Majiteľ: Ústav materiálového výskumu SAV ; Watsonova 47; 040 01 Košice; SK

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

1. SLOTA, Ján: Numerická simulácia lisovania plechov, 1. vyd., Košice: Technická univerzita, 2016, 194 s. ISBN 978-80-553-3007-5 (vedecká monografia)
2. SPIŠÁK, Emil - MAJERNÍKOVÁ, Janka: Tenké oceľové plechy – metódy hodnotenia ich vlastností, 1. vyd., Košice: Technická univerzita, 2016, 154 s. ISBN 978-80-553-2647-4 (vedecká monografia)
3. DŽUPON, Miroslav - KAŠČÁK, Ľuboš - SPIŠÁK, Emil - KUBÍK, René - MAJERNÍKOVÁ,

- Janka: Wear of Shaped Surfaces of PVD Coated Dies for Clinching. In: Metals. Vol. 7, no. 11 (2017), p. 1-21. - ISSN 2075-4701 (časopis v databáze CC)
4. SPIŠÁK, Emil - MAJERNÍKOVÁ, Janka - DUĽOVÁ SPIŠÁKOVÁ, Emília - KAŠČÁK, Ľuboš: Research into plastic deformation of double. In: Metals. Vol. 8, no. 2 (2018), p. 1-10. - ISSN 2075-4701 (časopis v databáze CC)
5. MULIDRÁN, Peter –ŠISER, Marek – SLOTA, Ján – SPIŠÁK, Emil – SLEZIAK, Tomáš: Numerical prediction of forming car body parts with emphasis on springback. In: Metals, Vol. 8, no. 6 (2018), p. 1-15. - ISSN 2075-4701 (časopis v databáze CC)
6. TOMÁŠ Miroslav, DŽUPON Miroslav, EVIN Emil, SPIŠÁK Emil: Surface Analysis of Uncoated and PVD Coated Punch at the Hole-Flanging Process. In: Metals, Vol. 8. No. 4, (2018), p. 1-15. ISSN 2075-4701 (časopis v databáze CC)
7. KAŠČÁK, Ľuboš - SPIŠÁK, Emil - KUBÍK, René - MAJERNÍKOVÁ, Janka: Clinching hot-dip galvanized steel combined with aluminium alloy. In: Acta Metallurgica Slovaca. Roč. 21, č. 4 (2015), s. 321-329. ISSN 1335-1532 (časopis v databáze SCOPUS)
8. SLOTA, Ján – JURČIŠIN, Miroslav – SPIŠÁK, Emil – ŠISER, Marek: Experimental FLC determination of high strength steel sheet metal. In: Acta Metallurgica Slovaca. Roč. 21, č. 4 (2015), s. 269-277. ISSN 1335-1532 (časopis v databáze SCOPUS)
9. SPIŠÁK, Emil - MAJERNÍKOVÁ, Janka - KAŠČÁK, Ľuboš - SLOTA, Ján: Influence of cutting on the properties of clippings from electrical sheets. In: Acta Metallurgica Slovaca. Roč. 21, č. 4 (2015), s. 302-310. ISSN 1335-1532 (časopis v databáze SCOPUS)
10. SPIŠÁK, Emil - MAJERNÍKOVÁ, Janka – DUĽOVÁ SPIŠÁKOVÁ Emília – KAŠČÁK Ľuboš: Analysis of plastic deformation of double reduced sheets. Acta Mechanica et Automatica, Roč. 10, č. 4 (2016), s. 271-274. ISSN 2300-5319 (časopis v databáze SCOPUS)
11. TOMÁŠ, Miroslav - HUDÁK, Juraj: The numerical simulation of the deep drawing process and its verification by the adaptation of the laminated tooling concept. Materials Science Forum, Roč. 862 (2016), s. 222-229. ISSN 0255-5476 (časopis v databáze SCOPUS)
12. KAŠČÁK, Ľuboš - SPIŠÁK, Emil – MAJERNÍKOVÁ, Jana: Joining three car body steel sheets by clinching method. Open Engineering, Roč. 2016, č. 6 (2016), s. 566-573. ISSN 2391-5439 (časopis v databáze SCOPUS)
13. KAŠČÁK, Ľuboš - SPIŠÁK, Emil - KUBÍK, René – MUCHA, Jacek: FEM Analysis of Clinching Tool Load in a Joint of Dual-Phase Steels. Strength of Materials, Roč. 48, č. 4 (2016), s. 533-539. ISSN 0039-2316 (časopis v databáze SCOPUS)
14. SPIŠÁK, Emil - KAŠČÁK, Ľuboš - MAJERNÍKOVÁ, Janka - DŽUPON, Miroslav: Analysis of cutting surface during cutting of electric sheets/. In: Strength of Materials. Vol. 49, no. 4 (2017), p. 605-611. - ISSN 0039-2316 (časopis v databáze WoS, resp. SCOPUS)
15. MAJERNÍKOVÁ, Janka - SPIŠÁK, Emil: Increasing Durability of Cutting Tools. In: Advances in Science and Technology Research Journal. Vol. 11, no. 4 (2017), p. 141-146. - ISSN 2299-8624 (časopis v databáze WoS, resp. SCOPUS)
16. DŽUPON, Miroslav - KAŠČÁK, Ľuboš - NÉMETH, Dušan - KUBÍK, René: Failure of physical vapour deposition coating zirconium nitride on the punch of clinching tool / Miroslav Džupon ... [et al.] - 2017. In: Acta Mechanica et Automatica. Vol. 11, no. 2 (2017), p. 143-149. - ISSN 1898-4088 (časopis v databáze WoS, resp. SCOPUS)
17. KAŠČÁK, Ľuboš - SPIŠÁK, Emil - KUBÍK, René - MUCHA, Jacek: Finite element calculation of clinching with rigid die of three steel sheets. In: Strength of Materials. Vol. 49, no. 4 (2017), p. 488-499. - ISSN 0039-2316 (časopis v databáze WoS, resp. SCOPUS)
18. SPIŠÁK, Emil - MAJERNÍKOVÁ, Janka - MULIDRÁN, Peter - KAŠČÁK, Ľuboš - SLOTA, Ján: Forming analysis of continuously annealed, double reduced steel sheets. In: Advances in Science and Technology: Research Journal, Vol. 12, No. 3, 2018, p. 162-170. - ISSN 2080-4075 (časopis v databáze WoS)
19. MAJERNÍKOVÁ, Janka - SPIŠÁK, Emil - KAŠČÁK, Ľuboš - SLOTA, Ján: Analysis of the change in thickness of the thin double reduced steel sheets by drawing of cups. In: Advances in Science and Technology: Research Journal, (akceptovaný, v tlači). - ISSN 2080-4075 (časopis v databáze WoS)
20. SLOTA, Ján – ŠISER, Marek – GAJDOŠ, Ivan: Failure prediction of axi-symmetric cup in deep drawing and expansion processes. In: Open Engineering, Vol. 8, 2018, pp. 1-9. - ISSN 2391-5439 (časopis v databáze WoS)

Uplatnenie výsledkov projektu

Na základe realizovaného aplikovaného výskumu sú stanovené aplikačné odporúčania pre transfer získaných poznatkov pre spracovateľov elektroplechov.

Z hľadiska zlepšenia kvality výstrižkov pre statorové a rotorové zväzky elektromotorov ako aj transformátory je kľúčové zvládnuť technológiu strihania v lisovacom nástroji tak, aby strižná plocha po obvode výstrižkov bola minimálne ovplyvnená týmto procesom. Tým sa zníži úroveň energetických strát v motoroch elektrických zariadení ako dôsledku procesu strihania. Zmenou strižnej medzery je možné meniť hodnotu finálnych magnetických vlastností pre individuálne technologické procesy strihania segmentov elektromotorov v závislosti od ich aplikácie.

Segmenty, ktoré nebudú ďalej tepelne spracované je potrebné strihať s najmenšou možnou strižnou medzerou (na základe experimentov odporúčame strižné medzery 1% až 3% hrúbky strihaného plechu). V prípade segmentov, ktoré budú následne tepelne spracované, zväčšenie strižnej medzery kladne ovplyvňuje ich finálne magnetické vlastností (na základe experimentov odporúčame strižné medzery 7% hrúbky strihaného plechu). Táto skutočnosť bude viesť k značným energetickým úsporám.

Pri otupení nástroja dochádza pri všetkých strižných medzerách k zhoršeniu kvality strižnej plochy. Najväčšie zmeny v kvalite strižnej plochy boli namerané pri najväčšej strižnej medzere (7%). Rovnako dochádza k väčšej distribúcií napätí smerom od strižnej plochy do materiálu, čo spôsobuje zväčšenie wattových strát a zhoršenie magnetických vlastností vystrihovaných segmentov.

Všetky dosiahnuté výsledky projektu môžu byť využité u spracovateľov elektrotechnických plechov (výroba elektromotorov, transformátorov a pod.), aplikáciou ktorých sa zníži energetická náročnosť pri výrobe elektrotechnických zariadení (nie je potrebné žižhanie) a zvýši sa účinnosť finálnych produktov (znížením wattových strát).

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

Výsledky riešenia projektu vychádzajú zo systémového a komplexného prístupu riešenia problematiky strihania v lisovacom nástroji. Boli identifikované najdôležitejšie procesné parametre procesu strihania v nadväznosti na dosiahnutie optimálnej kvality strižnej plochy, ktorá má značný vplyv na energetické straty v elektromotoroch.

V rámci dosiahnutých výsledkov projektu bola navrhnutá a odskúšaná metodika testovania vplyvu strižnej medzery na kvalitu strižnej plochy i spevnenia v jej okolí. Navrhnutá metodika pozostáva z:

- experimentálneho postupového strižného nástroja s rovnakými strižnými medzerami na vonkajšom a vnútornom priemere výstrižku tvaru toroid (medzikružie),
- FEM analýzy pre identifikáciu rozloženia ťahových a tlakových napätí vo výstrižku,
- analýzy zvyškových napätí a deformácií v závislosti na strižnej medzere a otupení strižnej hrany nástroja,
- experimentálnych meraní intenzity spevnenia v zóne strihania a merania magnetických vlastností a wattových strát vo vzťahu k procesným podmienkam strihania.

Taktiež bol hodnotený vplyv PVD povlaku deponovaného na činné časti strižného nástroja pre zvýšenie kvality strižnej plochy s identifikáciou spevnenia v jej okolí. Pre zvýšenie životnosti činných častí strižného nástroja musí mať PVD povlak vysokú hodnotu indentačnej tvrdosti a vysokú hodnotu indentačného modulu pružnosti. Bolo zistené, že intenzita vzniku adhézných nálepkov je limitovaná celistvosťou povlaku v oblasti strižnej hrany a textúrou povrchu PVD povlaku.

Všetky plánované ciele projektu, tak ako boli definované v návrhu projektu, považujeme za splnené a dosiahnuté výsledky ako uplatniteľné v praxi.

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

The results of the project solution are based on a systemic and comprehensive approach to solving the shear cutting problems in the cutting tool. The most important parameters of the shear cutting process were identified, following the achievement of the optimal quality of the cutting surface, which has a significant impact on the power loss in electric motors.

Within the achieved results of the project, a methodology for testing the impact of the cutting clearance on the quality of the cutting surface and the hardening in its surroundings was

proposed and tested. The proposed methodology consists of:

- an experimental progressive cutting tool with the same cutting clearance on the outer and inner diameters of the toroid-shaped sheared workpieces,
- FEM analysis to identify the distribution of tensile and compressive stresses in the sheared workpieces,
- analysis of residual stresses and deformations in relation to the cutting clearance and worn cutting edge of the tool,
- experimental measurements of the hardening intensity in the zone affected by shear cutting and the measurement of the magnetic properties and the power (watt) losses in relation to the process conditions of the shear cutting.

The effect of the PVD coating deposited on the active parts of the shear cutting tool to enhance the quality of the cutting surface with the identification of the hardening in its surroundings was evaluated as well. In order to increase the lifetime of the active parts of the shear cutting tool, the PVD coating must have a high value of indentation hardness and a high value of the indentation modulus of elasticity. It has been found that the intensity of adhesion is limited by the coating integrity in the area of the zone affected by shear cutting and the surface texture of the PVD coating.

All the planned project objectives, as defined in the project proposal, are considered to be met and the results achieved as applicable in practice.

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

Zodpovedný riešiteľ
prof., Ing. Emil Spišák, CSc.

Štatutárny zástupca príjemcu
prof., Ing. Stanislav Kmeť, CSc.

V dňa

V dňa

.....
Podpis zodpovedného riešiteľa

.....
Podpis štatutárneho zástupcu príjemcu