

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0259**

Vývoj nekonvenčnej technológie finálneho spracovania izotrópných elektrotechnických ocelí

Zodpovedný riešiteľ **RNDr. František Kováč, CSc.**

Príjemca **Ústav materiálového výskumu SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Ústav materiálového výskumu SAV
2. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach - Prírodovedecká fakulta

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Ústav Fotoniky a Elektroniky AV ČR , Praha, Česká Republika

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

Neboli podané patentové prihlášky.

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

- 1) PUCHÝ, Viktor - FALAT, Ladislav - KOVÁČ, František - PETRYSHYNETS, Ivan - DŽUNDA, Róbert - ŠEBEK, Martin. The influence of fiber laser pulse processing on coercivity and nanohardness of Fe-3.2Si grain-oriented electrical steel in relation with its surface changes and magnetic domains modifications. In Acta Physica Polonica A, 2017, vol. 131, no. 6, p. 1445-1449. (0.469 - IF2016). (2017 - Current Contents, WOS, SCOPUS). ISSN 1898-794X. Typ: ADCA
- 2) PETRYSHYNETS, Ivan - PUCHÝ, Viktor - KOVÁČ, František - ŠEBEK, Martin. Effect of laser scribing on soft magnetic properties of conventional grain-oriented silicon steel. In Acta Physica Polonica A, 2017, vol. 131, no. 4, p. 777-779. (0.469 - IF2016). (2017 - Current Contents, WOS, SCOPUS). ISSN 1898-794X.(CSMAG '16 : Czech and Slovak Conference on Magnetism). Typ: ADCA
- 3) PETRYSHYNETS, Ivan - KOVÁČ, František - MARCIN, Jozef - ŠKORVÁNEK, Ivan. Influence of Thermal Processing in High Magnetic Field on Soft Magnetic Properties and Crystallographic Texture of Non-Oriented Fe-Si Steels. In Acta Physica Polonica A, 2017, vol. 131, no. 4, p. 783-785. (0.469 - IF2016). (2017 - Current Contents, WOS, SCOPUS). ISSN 1898-794X.(CSMAG '16 : Czech and Slovak Conference on Magnetism). Typ: ADCA
- 4) PETRYSHYNETS, Ivan - KOVÁČ, František - PUCHÝ, Viktor - ŠEBEK, Martin - FÜZER, J. - KOLLÁR, P. Magnetic losses reduction in grain oriented silicon steel by pulse and continuous fiber laser processing. In AIP Advances, 2018, vol. 8, iss. 4, art. no. 047604. (1.653 - IF2017). (2018 - Current Contents, WOS, SCOPUS). ISSN 2158-3226. Typ: ADCA
- 5) PETRYSHYNETS, Ivan - KOVÁČ, František - FALAT, Ladislav - PUCHÝ, Viktor -

ŠEBEK, Martin. Magnetic losses evolution of ferritic Fe-Si steel subjected to temper rolling at elevated temperature. In Acta Physica Polonica A, 2018, vol. 133, no. 4, p. 1065-1068. (0.857 - IF2017). (2018 - Current Contents, WOS, SCOPUS). ISSN 1898-794X. Typ: ADCA
6) PETRYSHYNETS, Ivan - KOVÁČ, František – BRANISLAV, Petrov - FALAT, Ladislav - PUCHÝ, Viktor. Improving the magnetic properties of non-oriented electrical steels by secondary recrystallization using dynamic heating conditions. In Materials, 2019, 12(12), 1914. (2.972 - IF2019). (2019 - Current Contents, WOS, SCOPUS). ISSN 1898-794X. Typ: ADCA

7) PETRYSHYNETS, Ivan - KOVÁČ, František – FÜZER, Ján - FALAT, Ladislav - PUCHÝ, Viktor – KOLLÁR, Peter. Evolution of power losses in bending rolled fully finished non-oriented electrical steel treated under unconventional annealing conditions. In Materials, 2019, 12(13), 2200. (2.972 - IF2019). (2019 - Current Contents, WOS, SCOPUS). ISSN 1898-794X. Typ: ADCA

Uplatnenie výsledkov projektu

Uplatnenie získaných výsledkov z realizovaných aktivít projektu, má potenciál pre výrazné energetické úspory pri samotnom tepelnom spracovaní izotrópných elektrotechnických ocelí typu „semi-finish“ a ocelí typu „fully –finish“ u výrobcov točivých elektrických strojov a taktiež pre energetické úspory pri prevádzke samotných elektromotorov u ich užívateľov. Výsledky projektu umožňujú aplikáciu technologických postupov finálneho deformačne-termického spracovania izotrópných elektrotechnických ocelí, ktoré zabezpečia lepšie mikroštruktúrne a textúrne parametre materiálu v porovnaní s konvenčným postupom. Experimentálne údaje preukázali, že takto spracované elektrotechnické plechy vykazujú zlepšenie finálnych magnetických vlastností až o 17% v porovnaní s konvenčným postupom. Okrem zlepšenia elektromagnetických vlastností, postup umožní pre jednotlivé akostné triedy zníženie obsahu legúr Si a Al s pozitívnym dopadom na strihateľnosť a tepelnú vodivosť plechov. Navrhnutý postup spracovania je založený na využití deformačne indukovaného rastu feritových zŕn pod vplyvom gradientu vnútorných deformačných napätí a termickej expozície pri finálnom tepelnom spracovaní pásov a segmentov elektromotorov. Aplikáciou dodatočného postupu na zjemnenie magnetických domén metódou laser scribing je možné znížiť wattové straty až o 30 % ..

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

Výsledky z deformačne indukovaného rastu feritových zŕn na izotrópných elektrotechnických oceliach typu „semi.finish“ s obsahom Si od 0,6 do 3,5 hm % preukázali, že maximálny rozmer zŕn je možné dosiahnuť pri dynamickom ohreve na teplotu 950 oC po použití temperrolling úberu 4 – 2 %, pričom dosiahnutá veľkosť zrna klesá so zvyšujúcim sa obsahom Si. Analýza kryštalografickej prednostnej orientácie preukázala pozitívny vplyv dynamického ohrevu na intenzitu kubickej textúrnej zložky na úkor nežiadúcej deformačnej textúry . Pozitívny vplyv dynamického postupu tepelného spracovania na veľkosť a homogenitu mikroštruktúry a súčasne vplyv na zvýšenie intenzity kubickej textúrnej orientácie sa prejavil na znížení wattových strát / zvlášť výrazne pri nižších obsahoch Si/ v porovnaní s konvenčným statickým tepelným spracovaním.

Získané výsledky z mikroštruktúrnych, subštruktúrnych a textúrnych analýz na izotrópných elektrotechnických oceliach typu „fully – finish“ preukázali, že ,v procese rovnania plechu na ťahovej rovnačke je možné pripraviť deformačné stavy s takým rozložením intenzity deformácie a zbytkových napätí po hrúbke plechu, ktoré umožňujú vyvolať deformačne indukovaný abnormálny rast feritových zŕn počas následného žihania plechu. Rozhodujúcim faktorom pri abnormálnom raste zŕn nie je celková kumulovaná deformácia, ale gradient vnútorných napätí po hrúbke plechu. Pozitívny vplyv abnormálneho rastu zŕn sa prejavil aj na podstatnom zvýšení intenzity kubickej a Gossovej textúrnej zložky v rovine plechu, čo má za následok zníženie wattových strát, zvlášť pri poliach s vyššou frekvenciou.

Aplikáciou postupu na zjemnenie magnetických domén metódou laser scribing bolo možné znížiť wattové straty až o 30 %. Parametre laserovej expozície sú definované tak, aby v mieste expozície nedošlo k zmene mikroštruktúry, ale aby boli vyvolané optimálne termické pnutia.

Uvedené fakty a dokumentované parametre výstupov a prínosov projektu potvrdzujú, že boli dosiahnuté hlavné ciele projektu.

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

The results, related to the strain-induced of ferrite grains growth on the isotropic “semi-finish” electro technical steels with a Si content of 0.6 to 3.5 wt%, clearly showed that the maximum grain size can be achieved by dynamic heating to 950 °C on the samples after temper rolling with 4 - 2% of deformation. It should be noted, that the obtained grain size achieved decreases with increasing the Si content. The analysis of the crystallographic orientation showed a positive effect of dynamic heating on the intensity of the cubic texture component at the expense of the undesirable deformation texture. The positive effect of the dynamic heat treatment process on the size and homogeneity of the microstructure as well as the effect on the increase of the cubic crystallographic orientation intensity, provides the reduction of watt losses (particularly significantly at lower Si contents) in comparison with the conventional static heat treatment technique.

The results obtained from microstructural, substructural and texture analyzes on the “fully-finish” isotropic electrical steels have shown that it is possible to prepare the deformation states during the sheet straightening process on the tensile straightener. These material states are characterized by distribution of deformation intensity and residual stresses through the sheet thickness which leads to achieve the strain-induced abnormal growth of ferrite grains during subsequent annealing of the sheet. The decisive factor in abnormal grain growth is not the total cumulative deformation, but the gradient of internal stresses over the sheet thickness. The positive effect of abnormal grain growth was also obtained in a substantial increase in the intensity of the cubic and Goss texture components in the sheet plane, resulting in a reduction in watt losses, especially in higher frequency fields.

The refine magnetic domains was carried out by application of laser scribing method which was allowed to reduce wattage losses by up to 30%. The laser beam parameters were defined so that the microstructure does not change at the area of interaction of beam with the surface but that optimal thermal stresses are induced.

The presented facts and the documented parameters of the project outputs and benefits confirm that the main objectives of the project have been achieved.