

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0319****Výskum technologického procesu tvárnenia pri výrobe rúr s tvarovočleneným vnútorným povrchom**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Maroš Martinkovič, 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
Železiarne Podbrezová Výskumno-vývojové centrum s.r.o.**Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení**

Nebol.

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

Patenty:

Prípravok na úpravu koncov rúr pred ťahaním

142-2018 06.12.2018 zverejnená (PP)

Inštrumentovaný prípravok na experimentálny výskum ťahania rúr

73-2019 25.06.2019 v konaní (PP)

Plávajúci trň pre výrobu rúr so skrutkovicovo zatočeným tvarovo členitým vnútorným
povrchom 50-2020 15.05.2020 v konaní (PP)

Úžitkové vzory:

Prípravok na úpravu koncov rúr pred ťahaním

223-2018 8536 06.12.2018 zapísaná (PUV) platný

Inštrumentovaný prípravok na experimentálny výskum ťahania rúr

92-2019 8756 25.06.2019 zapísaná (PUV) platný

Plávajúci trň na výrobu rúr so skrutkovicovo zatočeným tvarovo členitým vnútorným
povrchom 86-2020 15.05.2020 zverejnená (PUV)**Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače**

MARTINKOVIČ, Maroš - MINÁRIK, Stanislav. Modelling and Analysis of Morphological Anisotropy of Polycrystalline Materials. In Polycrystalline Materials : Synthesis, Performance and Applications. 1. vyd. New York : Nova Science Publishers, Inc., 2018, S. 65-98. ISBN 978-1-53613-864-1. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85058518048. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113 ; 26220220179 268.

MARTINKOVIČ, Maroš. Estimation and utilization of structure anisotropy in forming pieces.

In Ceramics - Silikáty. Vol. 61, iss. 2 (2017), s. 141-146. ISSN 0862-5468 (2017: 0.680 - IF, Q3 - JCR Best Q, 0.238 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: DOI: 10.13168/cs.2017.0009 ; SCOPUS ; WOS ; MLJ: CCC:000400721800009. Projekt: 1/0122/16 113 ; APVV-15-0319 122.

MINÁRIK, Stanislav - MARTINKOVIČ, Maroš. On the Applicability of Stereological Methods for the Modelling of a Local Plastic Deformation in Grained Structure: Mathematical Principles. In Crystals. Vol. 10, iss. 8 (2020), s. 1-28. ISSN 2073-4352 (2019: 2.404 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.594 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/cryst10080697 ; SCOPUS: 2-s2.0-85090255953 ; WOS: 000567304000001 ; CC: 000567304000001. Projekt: APVV-15-0319 122.

VYSKOČ, Maroš - SAHUL, Miroslav - DOMÁNKOVÁ, Mária - JURČI, Peter - SAHUL, Martin - VYSKOČOVÁ, Monika - MARTINKOVIČ, Maroš. The Effect of Process Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of AW5083 Aluminum Laser Weld Joints. In Metals. Vol. 10, iss. 11 (2020), s. 1-22. ISSN 2075-4701 (2019: 2.117 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.567 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/met10111443. Projekt: 313011W085 530 ; APVV-15-0319 122.

BURANSKÝ, Ivan - BURANSKÁ, Eva. Comparison of measurement methods to acquire the steel tubes characteristics. In Novel Trends in Production Devices and Systems IV (NTPDS IV) : Special topic volume with invited peer reviewed papers only. 1. vyd. Zurich : Trans Tech Publications, 2018, S. 411-419. ISSN 0255-5476. ISBN 978-3-0357-1265-0. V databáze: DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.919.411 ; SCOPUS: 2-s2.0-85045462610. Projekt: APVV-15-0319 122.

GÖRÖG, Augustín - GÖRÖGOVÁ, Ingrid - MARTINKOVIČ, Maroš. Geometric reconstruction of the drawn tube shape. In Novel Trends in Production Devices and Systems V (NTPDS V) : Special topic volume with invited peer reviewed papers only. 1. vyd. Zurich : Trans Tech Publications, 2019, S. 13-21. ISSN 0255-5476. ISBN 978-3-0357-1515-6. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85066259090. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

GÖRÖG, Augustín - GÖRÖGOVÁ, Ingrid - MARTINKOVIČ, Maroš. Analysis of the Surface Roughness of a Tube Drawn by a Fixed Mandrel. In Novel Trends in Production Devices and Systems VI. NTPDS VI. 1. vyd. Zürich : Trans Tech Publications, 2020, S. 70-77. ISSN 1662-9752. ISBN 978-3-0357-1726-6. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85086759997 ; DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.994.70. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

KAPUSTOVÁ, Mária - SOBOTA, Róbert. The research of influence of strain rate in steel tube cold drawing processes using FEM simulation. In Novel Trends in Production Devices and Systems V (NTPDS V) : Special topic volume with invited peer reviewed papers only. 1. vyd. Zurich : Trans Tech Publications, 2019, S. 235-242. ISSN 0255-5476. ISBN 978-3-0357-1515-6. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85066269008. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

BELLA, Peter - BUČEK, Pavol - RIDZOŇ, Martin - MOJŽIŠ, Milan - PARILÁK, Ľudovít. On numerical modelling of multi-rifled tube drawing. In Procedia Engineering. Vol. 207, International Conference on the Technology of Plasticity, ICTP 2017, 17-22 September 2017, Cambridge, United Kingdom (2017), s. 2382-2387. ISSN 1877-7058 (2017: 0.282 - SJR). V databáze: SCOPUS: DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.1012. Projekt: APVV-15-0319 122.

KAPUSTOVÁ, Mária - SOBOTA, Róbert. The design of drawing process of cylindrical cup with oval bottom using computer simulation. In MATEC Web of Conferences [elektronický zdroj]. Vol. 95. the 3rd International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering (ICMME 2016), 21. - 23. 10. 2016, Shanghai, China, (2017), online, [4] s. ISSN 2261-236X (2017: 0.151 - SJR). V databáze: DOI: 10.1051/mateconf/20179510008 ; SCOPUS: 2-s2.0-85013413521 ; WOS: 000406705800119. Projekt: 1/0669/15 113 ; FormTool MANUNET-2014-11283 309 ; APVV-15-0319 122.

KAPUSTOVÁ, Mária - SOBOTA, Róbert - NECPAL, Martin. The influence of technological parameters on drawing force at cold drawing of steel tubes using FEM simulation. In Functional Materials and Metallurgy II : 3rd International Conference on Functional Materials and Metallurgy (ICFMM 2018), 10. - 12. November 2018, Wuhan, China. 1. vyd. Zürich : Trans Tech Publications, 2019, S. 124-128. ISBN 978-3-0357-1438-8. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85071864303. Projekt: APVV-15-0319 122.

MINÁRIK, Stanislav - MARTINKOVIČ, Maroš. An estimating the local deformation

parameters in grained structures via stereological methods. In *Materials Science and Engineering*. Vol. 465, iss. 1 (2019), s. 1-11. ISSN 1757-8981. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/465/1/012005 ; SCOPUS: 2-s2.0-85062526669 ; WOS: 000471165300005. Projekt: 1/0122/16 113 ; APVV-15-0319 122 ; 26220220179 268.

MOJŽIŠ, Milan - RIDZOŇ, Martin - BÍLIK, Jozef - PARILÁK, Ľudovít. The geometrical stability of the multi rifled tubes by the production. In *Metal 2017 [elektronický zdroj]* : conference proceedings of the 26th International Conference on Metallurgy and Materials. Brno, Czech Republic, 24.-26.5.2017. 1. vyd. Ostrava : Tanger, 2018, CD-ROM s. 351-356. ISBN 978-80-87294-79-6. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85043382690 ; WOS: 000434346900051. Projekt: APVV-15-0319 122.

NECPAL, Martin - MARTINKOVIČ, Maroš - BURANSKÝ, Ivan. Deformation prediction and finite element analyses of precision seamless tubes during cold drawing. In *MATEC Web of Conferences*, Vol. 137, (2017),. ISSN 2261-236X (2017: 0.151 - SJR). V databáze: SCOPUS: DOI: 10.1051/mateconf/201713705005 ; WOS. Projekt: APVV-15-0319 122.

NECPAL, Martin - MARTINKOVIČ, Maroš. Evaluation of material deformation during process of precise carbon steel tube cold draw forming. In *Materials Science and Engineering*. Vol. 465, iss. 1 (2019), s. 1-6. ISSN 1757-8981. V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/465/1/012007 ; SCOPUS: 2-s2.0-85062520900 ; WOS: 000471165300007. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

NECPAL, Martin - MARTINKOVIČ, Maroš. Finite element modelling of cold drawing inner finned tube. In *Annals of DAAAM International Symposium 2019 [USB]* : Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 20. - 27. 10. 2019, Zadar, Croatia. 1. vyd. Viedeň : DAAAM International, 2019, S. 1-6. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-23-5. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85077870542. Projekt: 1/0122/16 113 ; APVV-15-0319 122.

NECPAL, Martin - KAPUSTOVÁ, Mária - MARTINKOVIČ, Maroš. Using 2D/3D FEM simulation to determine drawing force in cold drawing of steel tubes with straight internal rifling. In *Solid State Phenomena*. Vol. 304, (2020), s.121-125. ISSN 1012-0394 (2019: 0.198 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.304.121 ; SCOPUS: 2-s2.0-85087030774. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

NECPAL, Martin - HODÚLOVÁ, Erika - MARTINKOVIČ, Maroš. Numerical simulation of material plastic deformation using the drawing forming process of contoured internal surface tubes. In *Key Engineering Materials*. Vol. 841, (2020), s. 54-58. ISSN 1013-9826 (2019: 0.182 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.841.54. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

MINÁRIK, Stanislav - MARTINKOVIČ, Maroš. A novel approach to quantitative analysis of the local deformation in grained structure. In *Materials Science and Engineering*. Vol. 266. (2017), ISSN 1757-8981 (2017: 0.201 - SJR). V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/266/1/012012 ; SCOPUS: 2-s2.0-85037732370 ; WOS: 000419228900012. Projekt: 1/0122/16 113 ; APVV-15-0319 122 ; 003STU-2-3/2016 325.

MINÁRIK, Stanislav - MARTINKOVIČ, Maroš. On the problem of processing data from a cross-sectional image of grained structure. In *Materials Science and Engineering*. Vol. 726, (2020), s. 1-5. ISSN 1757-8981 (2019: 0.198 - SJR). V databáze: DOI: 10.1088/1757-899X/726/1/012010 ; SCOPUS: 2-s2.0-85079069382 ; WOS: 000539289000010. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

BELLA, Peter - RIDZOŇ, Martin - MOJŽIŠ, Milan - PARILÁK, Ľudovít. The technology of cold drawing of seamless steel tubes using numerical simulation. In *Hutnik- Wiadomości Hutnicze*. Vol. 84, iss. 8 (2017), s. 356-358. ISSN 1230-3534. Projekt: APVV-15-0319 122.

BÍLIK, Jozef - MARTINKOVIČ, Maroš - KAPUSTOVÁ, Mária - MOJŽIŠ, Milan - PARILÁK, Ľudovít - RIDZOŇ, Martin. Theoretical analysis of tube drawing process. In *Hutnik- Wiadomości Hutnicze*. Vol. 86, iss. 8 (2019), s. 233-237. ISSN 1230-3534. Projekt: APVV-15-0319 122 ; 1/0122/16 113.

KÁN, Michal - RIDZOŇ, Martin - MOJŽIŠ, Milan - TURŇA, Ján - PETERKA, Jozef - PARILÁK, Ľudovít. The influence of technological parameters for the manufacture of precision seamless tubes for automotive industry. In *Hutnik- Wiadomości Hutnicze*. Vol. 86, iss. 8 (2019), s. 250-252. ISSN 1230-3534. Projekt: APVV-18-0418 122 ; APVV-15-0319 122.

MARTINKOVIČ, Maroš - MINÁRIK, Stanislav. Modelling of plastic deformation in polycrystalline material. In *Hutnik- Wiadomości Hutnicze*. Vol. 84, iss. 8 (2017), s. 371-373.

Uplatnenie výsledkov projektu

Verifikácia dosiahnutých výsledky a aplikácia overených výsledkov na finálnych produktoch (rúrach s tvarovočleneným vnútorným povrchom) v reálnych prevádzkových podmienkach Železiareň Podbrezová.

Stanovenie reálnych hodnôt koeficientu trenia pri procese ťahania rúr, ťažnej sily a sily na trňovej tyči sa uplatňuje pri verifikácii numerických modelov takýchto procesov.

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

Vývoj a optimalizácia technológie výroby nových produktov – rúr s tvarovočleneným vnútorným povrchom. Za tým účelom bol vytvorený model pre stanovenie lokálnej plastickej deformácie výtvarku z merania orientácie hraníc zrna. Na proces ťahania boli aplikované a optimalizované moderné simulačné prostriedky schopné predikovať priebeh procesov tvárnenia a optimalizovať procesy tvárnenia s experimentálnou validáciou výsledných vlastností výtvarkov. Bola vypracovaná metodika stanovenia koeficientu trenia pri procese ťahania súčasťou aplikáciou výsledkov numerického modelu a experimentálnych meraní na príslušnom experimentálnom zariadení. Takéto zariadenie bolo navrhnuté a vybudované. Umožňuje merať ťažnú silu pomocou trhacieho stroja, do ktorého sa upína, merať silu na trňovej tyči, umožňuje nastavovanie polohy pevného trňa voči prievlaku, sklon osi prievlaku a jeho polohy voči osi ťahania, disponuje možnosťou rotačného vyrovnania prípadnej nestability procesu ťahania, umožňuje rotáciu drážkovaného trňa v prípade ťahania rúr s vnútornými špirálovými drážkami, umožňuje vymieňať prievlaky a trne. Pri prevádzkových podmienkach je možnosť viacerých chýb geometrie technologického zariadenia v procese ťahania – najčastejšie súosovosti a rovnobežnosti medzi osou ťahania a prievlakom. Bol zistený vplyv na tvarovú nepresnosť výtvarku a možnosť ich eliminácie.

Bol optimalizovaný proces bezdotykového a dotykového 3D merania vnútorných i vonkajších rozmerov ťahaných rúr. Toto všetko umožnilo verifikácia dosiahnutých výsledky a aplikácia overených výsledkov na finálnych produktoch (rúrach) v reálnych prevádzkových podmienkach.

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

Development and optimization of technology for the production of new products - pipes with a shaped inner surface. For this purpose, a model was created to determine the local plastic deformation of the forming pieces by measuring the orientation of the grain boundaries. Modern simulation tools capable of predicting the course of forming processes and optimizing forming processes with experimental validation of the resulting properties of shapes were applied and optimized to the drawing process. A methodology for determining the coefficient of friction during the drawing process was developed by simultaneous application of the results of the numerical model and experimental measurements on the appropriate experimental equipment. Such a device was designed and built. It allows to measure the pulling force by means of a tearing machine into which it is clamped, to measure the force on the mandrel rod, allows to adjust the position of the fixed mandrel relative to the die, inclination of the die axis and its position relative to the pull axis, has the possibility of rotational compensation in case of pulling pipes with internal spiral grooves, allows to replace dies and mandrels. All this Under operating conditions, there is the possibility of several errors in the geometry of the technological equipment in the drawing process - most often roundness and parallelism between the drawing axis and the die. The influence on the shape inaccuracy of the forming piece and the possibility of their elimination was found.

The process of non-contact and contact 3D measurement of internal and external dimensions of drawn pipes was optimized. All this enabled the verification of the achieved results and the application of verified results on the final products (pipes) in real operating conditions.

